

ESTUDIOS SOBRE LA CIENCIA



JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

MIGUEL CATALÁN. SU OBRA Y SU MUNDO

Fundación Ramón Menéndez Pidal
Consejo Superior de Investigaciones Científicas

MIGUEL CATALÁN.
SU OBRA Y SU MUNDO

ESTUDIOS SOBRE LA CIENCIA : 21

JOSÉ MANUEL SÁNCHEZ RON

MIGUEL CATALÁN. SU OBRA Y SU MUNDO

FUNDACIÓN RAMÓN MENÉNDEZ PIDAL
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS
MADRID, 1994

Quedan rigurosamente prohibidas, sin la autorización escrita de los titulares del «Copyright», bajo las sanciones establecidas en las leyes, la reproducción total o parcial de esta obra por cualquier medio o procedimiento, comprendidos la reprografía y el tratamiento informático, y la distribución de ejemplares de ella mediante alquiler o préstamo público.



© Fundación Ramón Menéndez Pidal

© C. S. I. C.

© José M. Sánchez Ron

ISBN : 84-00-07418-1

Depósito Legal: M. 18497-1994

Impreso en España. *Printed in Spain*

EBCOMP, S. A., Bergantín, 1 - 28042 MADRID

ÍNDICE

Página

AGRADECIMIENTOS	XI
-----------------------	----

1. ESCENARIOS DE JUVENTUD: ESTUDIANTE EN ZARAGOZA Y TRASLADO A MADRID	1
1.1. PRIMEROS AÑOS EN ZARAGOZA	3
1.2. ESTUDIANTE EN MADRID	9
1.3. LA JUNTA PARA AMPLIACIÓN DE ESTUDIOS	10
1.4. PRIVILEGIOS DE LA JAE	14
1.5. EN CONTRA DE LA JAE	21
1.6. LAS PENSIONES	49
1.7. LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LA JAE: EL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FÍSICO-NATURALES	51
1.8. FÍSICA EXPERIMENTAL EN LAS FACULTADES DE CIENCIAS	53
1.9. LABORATORIOS DE FÍSICA EN MADRID	57
1.10. LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS	66
1.11. EL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS	69

	<u>Página</u>
2. ESPECTROSCOPISTA	85
2.1. ESPECTROSCOPIA. APUNTES HISTÓRICOS	87
2.2. ESPECTROSCOPIA. ALGUNOS ASPECTOS TÉCNICOS	100
2.3. SOBRE LA DIFICULTAD DE LAS INVESTIGACIONES ESPECTROSCÓPICAS	107
2.4. PRIMEROS PASOS DE LOS ESTUDIOS ESPECTROSCÓ- PICOS EN ESPAÑA	108
2.5. ORÍGENES DE LOS ESTUDIOS ESPECTROSCÓPICOS EN LA JAE: ÁNGEL DEL CAMPO	111
2.6. TESIS DOCTORAL	127
3. UN DESCUBRIMIENTO FUNDAMENTAL: LOS MULTI- PLETES	133
3.1. PROFESOR DE SEGUNDA ENSEÑANZA Y ASPIRAN- TE A PENSIONADO EN EL EXTRANJERO	135
3.2. PENSIONADO POR LA JAE EN LONDRES	143
3.3. LOS MULTIPLETES	147
3.4. RECEPCIÓN DEL DESCUBRIMIENTO DE LOS MULTI- PLETES	157
3.5. MIEMBRO DESTACADO DE LA COMUNIDAD INTER- NACIONAL DE ESPECTROSCOPISTAS.....	167
4. CATALÁN Y SOMMERFELD: EL EJE MADRID- MUNICH	169
4.1. ENCUENTRO CON ARNOLD SOMMERFELD	171
4.2. EN MUNICH	181
4.3. LOS JUICIOS DE TROWBRIDGE SOBRE CATALÁN Y EL PROBLEMA DE LOS INSTRUMENTOS ESPECTROS- CÓPICOS EN MADRID	196
4.4. OTRAS VISITAS A MUNICH	208
5. DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS AL INSTITUTO NACIONAL DE FÍSICA Y QUÍMICA	211
5.1. RELACIONES DE LA JAE CON LA INTERNATIONAL EDUCATIONAL BOARD	213

VIII

5.2.	SOLICITANDO LA AYUDA DE LA IEB PARA EL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS	216
5.3.	UNA VISITA INTERESANTE: CHARLES MENDENHALL	225
5.4.	PROBLEMAS Y DEMORAS	229
5.5.	EL INSTITUTO NACIONAL DE FÍSICA Y QUÍMICA ...	236
5.6.	INTERLUDIO. INVESTIGACIONES SOBRE EL ESPECTRO DEL HIERRO	243
5.7.	CATALÁN EN EL INSTITUTO NACIONAL DE FÍSICA Y QUÍMICA. COLABORACIÓN CON ANTUNES	247
5.8.	OTRAS RELACIONES CIENTÍFICAS	259
5.9.	PROYECTO DE UN LIBRO SOBRE MULTIPLETES	263
5.10.	LA CÁTEDRA CONDE DE CARTAGENA	270
5.11.	CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD	277
5.12.	AMPLIANDO INTERESES: EL EFECTO RAMAN	281
6.	LA GUERRA CIVIL	289
6.1.	EN LA ZONA "NACIONAL"	291
6.2.	VIGILADO POR LA POLICÍA	293
6.3.	CIENTÍFICOS ESTADOUNIDENSES AL AUXILIO DE CATALÁN	301
6.4.	LA JAE Y LA GUERRA CIVIL	313
7.	LA POSGUERRA. AÑOS DIFÍCILES	319
7.1.	CONTINÚA EL INTERÉS DE LOS CIENTÍFICOS NORTeamERICANOS	321
7.2.	AL MARGEN DE LA UNIVERSIDAD. EN LOS LABORATORIOS ZELTIA	329
7.3.	FÍSICA Y QUÍMICA ELEMENTALES	340
8.	RETORNO AL MUNDO ACADÉMICO	345
8.1.	RECUPERACIÓN DE SU CÁTEDRA.....	347
8.2.	EL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DURANTE LA POSGUERRA	360

IX

	<u>Página</u>
8.3. EN EL INSTITUTO DE ÓPTICA	373
8.4. CATALÁN Y LA CIENCIA APLICADA	378
8.5. ACADÉMICO DE CIENCIAS	381
8.6. ENERGÍA NUCLEAR Y CONFERENCIAS EN CARA- CAS	385
8.7. FINAL	392
 BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE MIGUEL A. CATALÁN	 395
REFERENCIAS	405
 ANEXO 1. Tesis doctoral de M. A. Catalán	 421
 ANEXO 2. Carta de M. A. Catalán a A. del Campo, 9 de marzo de 1921	 489
 ANEXO 3. "Series and other regularities in the spectrum of manganese", con anotaciones de Catalán	 497

AGRADECIMIENTOS

El estudio de la vida y la obra de Miguel Antonio Catalán que sigue a continuación ha sido posible, en este año en que se cumple el centenario de su nacimiento, en gran medida, gracias a los documentos, hasta hoy inéditos, que su hijo, Diego Catalán Menéndez-Pidal, puso generosamente a mi disposición en el antiguo hogar de Ramón Menéndez Pidal, hogar que también lo fue de Miguel, de su esposa, Jimena Menéndez-Pidal, y de Diego, su único hijo. Este caserón, en la otrora Cuesta del Zarzal 23, hoy calle de Menéndez Pidal 5, al lado de lo que un día fue el olivar de José Castillejo, el secretario de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, es todavía hoy un pequeño paraíso en este complicado y no excesivo agradable Madrid. Y en él he tenido el placer de leer la correspondencia científica de Miguel Catalán; la que ha sobrevivido, que acaso sea la que él quiso conservar ... o la única que existió. Una correspondencia que durante muchos años —tal vez desde que fue leída o escrita— había dormido un apacible sueño. Al igual que cuadernos de trabajo, borradores de artículos, notas de clase y fotografías.

Y si gentil ha sido Diego Catalán, no menos lo ha sido, a lo largo de todos los días que pasé en el viejo caserón de don Ramón, Carmen Alvarado, que se desveló por poner a mi disposición todo —y aún más (simpatía, por ejemplo)— lo que podía necesitar.

El Archivo de la Junta para Ampliación de Estudios, que celosamente se guarda en la Residencia de Estudiantes del Consejo

Superior de Investigaciones Científicas, ha sido también importante en mi trabajo; especialmente en lo que se refiere a la reconstrucción del mundo de la Junta y, más en concreto, del Laboratorio de Investigaciones Físicas en el que trabajó Miguel Catalán. El capítulo 1 de este libro es particularmente deudor de ese archivo.

Otro centro documental de gran importancia para la reconstrucción realizada en las páginas que siguen, ha sido el Rockefeller Archive Center (Pocantico Hills, Tarrytown, Nueva York). Los capítulos 4 y 5, que se ocupan de períodos centrales de la vida de mi personaje, habrían sido muy diferentes —y mucho menos interesantes— sin esos fondos.

No puedo olvidar tampoco a Fernando Rico, antiguo colaborador de Catalán, que compartió conmigo recuerdos y documentos que ha conservado cuidadosamente a lo largo de los años. Es de justicia, asimismo, recordar la colaboración prestada, con diferentes tipos de documentación o ayuda, por David DeVorkin (National Air and Space Museum, Washington, D. C.), Joan Warnow-Blewett (Center for History of Physics, American Institute of Physics, Nueva York), Francisco Grande Covián (Zaragoza), Paul Forman (National Museum of American History, Washington D.C.), Real Academia de Ciencias de Madrid, Archivo del Ministerio de Educación y Ciencia (Archivo General de la Administración) y Federico Román (Madrid).

En cuanto al Servicio de Publicaciones del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, personificado por su director, Alberto Sánchez Álvarez-Insúa, y por Teodoro Sacristán, su jefe de Distribución, es un placer agradecer su inmejorable disposición y ayuda, que tanto han facilitado mi trabajo.

Por último, y como siempre, recordar a mi mujer e hijas, Ana, Mireya y Amaya, que con tanta paciencia y comprensión soportaron mis frecuentes «ausencias mentales» hacia mundos poblados por personajes de otro tiempo (en este caso no demasiado distante), cuando no por entes más prosaicos, como líneas espectrales, multiplétes, redes de difracción o números cuánticos. Es posible que no merezca la pena trocar —aunque sea temporalmente— pasado por presente, reconstrucción histórica e intelectual por vivencias inmediatas, pero, al fin y al cabo, ese

Miguel Catalán. Su obra y su mundo

trueque entra dentro de las miserias y grandezas que caracterizan a nuestra especie. En cualquier caso, debo confesar que me ha resultado gratificante estudiar el mundo, la vida y la obra de Miguel Catalán, producto —y manifestación— eminente de un tiempo del que la mayoría de los españoles de mi generación no podemos sentirnos, desgraciadamente, herederos, en tanto que nos llegó —cuando lo hizo— como recuerdo y no como tradición. De ésta última se puede aprender. De los recuerdos es más difícil. Tal vez, gracias a la labor de algún historiador.

MADRID, ABRIL DE 1994

CAPÍTULO 1

ESCENARIOS DE JUVENTUD: ESTUDIANTE EN ZARAGOZA Y TRASLADO A MADRID

La vida de un ser humano es el resultado de fuerzas diversas. Sus habilidades innatas (la inteligencia y el tesón, por ejemplo) son, que duda cabe, elementos básicos a la hora de determinar logros y frustraciones. Pero en modo alguno son los únicos. El medio —familiar y social (en un sentido amplio)— en el que esa vida se desarrolla constituye también un condicionamiento fundamental.

Este capítulo, el primero de un libro que pretende reconstruir la vida y obra científica de Miguel A. Catalán, tiene como objetivo principal precisamente el de introducir algunos de los «condicionamientos sociales» sin los cuales probablemente su biografía habría sido muy diferente. Sus estudios universitarios en Zaragoza y Madrid y, sobre todo, la institución (la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas) que hizo posible el que se dedicara a la investigación, serán nuestros principales objetivos.

1.1. PRIMEROS AÑOS EN ZARAGOZA

Miguel Antonio Catalán Sañudo nació en Zaragoza el 9 de octubre de 1894, hijo de Agustín, catedrático de Psicología, Ética y Derecho de Instituto de Enseñanza Media, y de María. Tuvo un hermano, que murió joven, y una hermana (Pilar). Estudió el bachillerato en el Instituto General y Técnico de Zaragoza, en donde se graduó en 1909 con la calificación de Sobresaliente y Premio Extraordinario.

Habida cuenta de los resultados obtenidos en el bachillerato y del ambiente académico de la familia, es natural que Miguel se convirtiese en estudiante universitario, algo que favorecía el vivir

en una ciudad con universidad, la tercera o cuarta, de hecho, en importancia de la nación, detrás de Madrid, Barcelona y, si acaso, Valencia ¹. En la Universidad de Zaragoza, efectivamente, se licenció en Ciencias, Sección de Química en 1913 (título expedido el 2 de junio de 1914). La calificación final que obtuvo fue de Sobresaliente (la misma nota que había logrado en todas las asignaturas de la carrera) y Premio Extraordinario. En su promoción (la 35) se graduaron siete estudiantes: cinco en Químicas, uno en Exactas y Físicas y uno en Exactas. A pesar de sus excelentes calificaciones, Catalán no fue el número 1 de su promoción, sino el 2, detrás del alumno (Luis Álvarez Corroto) que se licenció en Exactas y Físicas ².

Nada más licenciarse, Miguel se puso a trabajar, y lo hizo en dos frentes: el académico y el industrial. Comencemos por el primero.

El 27 de octubre de 1913 fue nombrado Ayudante interino de la Sección de Ciencias del Instituto de Zaragoza, ocupando ese puesto prácticamente dos años, hasta el 24 de octubre de 1915 (el que lo "ocupara" no quiere decir que estuviera presente, ya que, como veremos, a partir de enero de 1915 se encontraba trabajando en Madrid). El día siguiente tomaba posesión del puesto de Ayudante numerario de la Sección de Ciencias del Instituto General y Técnico para el que había sido nombrado, después de presentarse a un concurso oposición, el 25 de septiembre del mismo 1915 ³.

¹ La Facultad de Ciencias de Zaragoza, fue la tercera en establecerse en España. Comenzó a funcionar como tal, aunque inicialmente con carácter de provisionalidad en 1882, cuando las de Madrid y Barcelona lo habían hecho en 1880-1881. Sobre la historia de la Universidad de Zaragoza, ver Tomeo Lacrué (1962).

² Los detalles relativos a su promoción aparecen en el Apéndice 15 del Tomeo Lacrué (1962).

³ Ver su «Hoja de servicios. Profesorado numerario y auxiliar de los Establecimientos públicos de Enseñanza». «Carpeta Miguel A. Catalán», Archivo de la Junta para Ampliación de Estudios (JAE), Residencia de Estudiantes, Madrid. Como ya he apuntado, en ocasiones las fechas que dio el propio Catalán de sus ocupaciones o puestos dan pie a paradojas aparentes: el que estuviere al mismo tiempo en dos lugares (o empleos) diferentes. Lo que debió ocurrir es que utilizaba el mecanismo de las excedencias temporales.

Escenarios de juventud



Con su padre y hermano

José Manuel Sánchez Ron



Miguel en una fotografía tomada el 31 de mayo de 1912

La vinculación de Catalán con el mundo de la educación de segunda enseñanza fue algo que mantendría a lo largo de una gran parte de su vida (como catedrático de Instituto y también como autor de textos de física y de química destinados a estudiantes de bachillerato; volveré a estos puntos en otros capítulos).

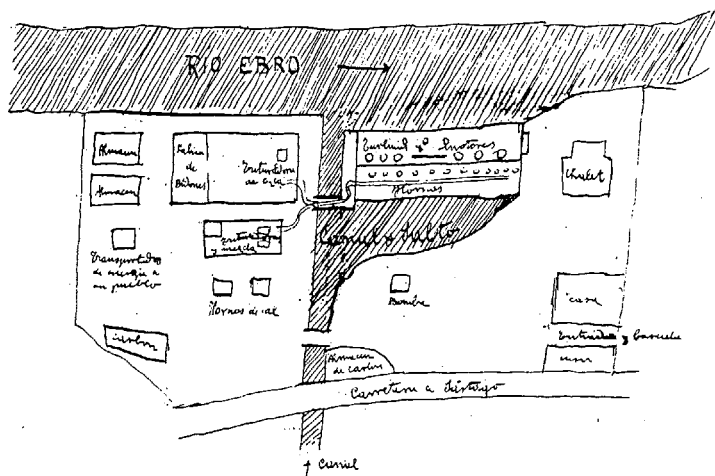
En lo referente a su vinculación con el mundo industrial, tenemos que desde el 1 de octubre de 1913 hasta el 30 de septiembre de 1915 desempeñó el cargo de químico de la Sociedad Aragonesa de Portland Artificial (esto es, cemento), en la fábrica situada en Quinto (Zaragoza). Obviamente, la suya debió de ser una relación a tiempo parcial, ya que simultáneamente era ayudante en el Instituto.

Hasta cierto punto, Miguel se encontraba bien preparado para este trabajo, ya que en la Facultad, durante su último año (1912-1913), había seguido un curso sobre «Industrias Químicas». De hecho, disponemos de las notas que tomó entonces, un cuaderno titulado «Apuntes de Industrias Químicas. Curso 1912 a 1913», que ha sobrevivido entre sus papeles ⁴. La primera sección de estos apuntes está dedicada, precisamente, a «Fabricación del cemento Portland en Quinto (provincia de Zaragoza)». Tras ocuparse de la «Disposición general» de la fábrica ⁵, lo que demuestra que la había visitado, se dedicaba a describir los aparatos, llegando a realizar algunos dibujos. Por último comentaba los «análisis que se hacen en el laboratorio»: el fraguado de cemento, la resistencia a la rotura, la prueba de dilatación y el análisis de calizas. Por el contenido del cuaderno, se deduce que visitó también las fábricas de azúcar de remolacha de Marcilla (Navarra) y la de carburo cálcico de Sastago (Zaragoza). También aparece en sus notas una lección dedicada a la industria de los alquitranes.

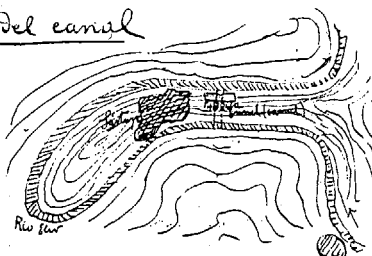
⁴ «Archivo M. A. Catalán», Fundación Menéndez Pidal, Madrid.

⁵ «1º Cobertizo, entrada y báscula; 2º Trituradoras de lo crudo; 3º Amasadora, prensa y cortado; 4º Secaderos; 5º Hornos; 6º Trituradoras de lo cocido; 7º Máquinas motrices».

Fabricación del carburo-calcio en Castiella (Zaragoza)
Principios materiales CaCO_3 y carbón
 del cual es facin de una cuneta muy próxima
Plano de la fábrica



Croquis del canal



Dibujo de Catalán en cuaderno de "Apuntes de industrias químicas.
 Curso 1912 a 1913" (Zaragoza)

1.2. ESTUDIANTE EN MADRID

En lugar de continuar su carrera en la industria, el joven Miguel decidió doctorarse. En aquella época, sin embargo, el título de Doctor sólo se podía obtener en la Universidad Central (esta situación se mantendría durante muchos años, hasta ya bien pasada la Guerra Civil); y hacia Madrid encaminó sus pasos nuestro personaje.

En la capital, vivió al principio en una pensión de la calle del Arenal. Luis Bru (1972) ha señalado que entre los restantes huéspedes —muchos estudiantes como él— era conocido con el nombre de «el sabio» y también por el de «el alpinista», imponiendo más el último. Y es que, en efecto, Miguel Catalán fue durante toda su vida un gran amante de la naturaleza, y ya entonces no dejaba pasar un día festivo sin tomar su mochila y marcharse a lugares que en aquella época eran poco conocidos, como la Pedriza, Navacerrada o la Morcuera. No es extraño, por tanto, que terminase congeniando con «institucionistas» —con el mundo de la Institución Libre de Enseñanza—, con los que compartía, además de un gran amor por la naturaleza, un profundo respeto e interés, como veremos en su momento, por la enseñanza secundaria. Su actividad como profesor en el Instituto-Escuela y, tras la Guerra Civil, en el Colegio Estudio, que dirigía su esposa, Jimena Menéndez-Pidal, son buena prueba de lo que estoy diciendo.

En Madrid, se asoció enseguida (desde enero de 1915) con el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), dirigido por Blas Cabrera. La elección de Catalán no pudo ser más afortunada, ya que este laboratorio sería el centro de investigación en física y química-física más importante de España hasta 1936. Habida cuenta del papel que desempeñaría este laboratorio y, a través de él, la JAE, en la vida y obra de Catalán, es conveniente (de acuerdo con las ideas apuntadas al comienzo de este capítulo) que nos ocupemos de esta institución y del origen del propio Laboratorio de Investigaciones Físicas, antes de continuar con la carrera de nuestro protagonista.

1.3. LA JUNTA PARA AMPLIACIÓN DE ESTUDIOS

La JAE fue creada por un Real Decreto el 11 de enero de 1907 (publicado en la *Gaceta de Madrid* el 18 de enero). Gobernaban entonces los liberales, con Antonio Aguilar y Correa, marqués de la Vega de Armijo, presidente del Consejo de Ministros y Amalio Gimeno ministro de Instrucción Pública. El 15 del mismo mes, esto es, antes incluso de que el decreto apareciese en la *Gaceta*, se celebró el acto de constitución de la nueva organización. Como vocales, el ministro Gimeno nombró a: Santiago Ramón y Cajal, José Echegaray, Marcelino Menéndez y Pelayo, Joaquín Sorolla, Joaquín Costa ⁶, Vicente Santamaría de Paredes, Alejandro San Martín, Julián Calleja, Eduardo Vincenti, Gumerindo de Azcárate, Luis Simarro, Ignacio Bolívar, Ramón Menéndez Pidal, José Casares Gil, Adolfo Alvarez Buylla, José Rodríguez Carracido, Julián Ribera Tarragó, Leonardo Torres Quevedo, José Marvá, José Fernández Jiménez y Victoriano Fernández Ascarza. Y como secretario, José Castillejo y Duarte, que no aparecía nominalmente en el decreto, pero que era «el Profesor a quien hoy está encomendado en el Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes el servicio de información técnica y de relaciones con el extranjero». Castillejo, catedrático de Derecho Romano, fue el secretario y núcleo vertebrador de la Junta durante toda la existencia de ésta, y ello a pesar de que en 1932 dimitiera formalmente de su cargo en la JAE para pasar a ocupar el puesto de director administrativo en la recién creada Fundación Nacional para Investigaciones Científicas y Ensayos de Reformas.⁷

En aquella primera sesión de la JAE, Julián Calleja manifestó que «siendo lo primero el nombramiento de Presidente había para ese cargo dos nombres que estaban en la conciencia de todos: los señores Echegaray y Cajal, pero habiendo el primero

⁶ Costa renunciaría casi inmediatamente por razones de enfermedad, siendo sustituido por Amalio Gimeno, que acababa de salir del Ministerio.

⁷ Sobre Castillejo, ver Gamero Merino (1988), Palacios Bañuelos (1979), y Claremont de Castillejo (1967). Agradezco a Leonardo Castillejo el que me proporcionase una copia de la última referencia.

anticipado que no aceptaría, proponía al Sr. Cajal como Presidente de la Junta»⁸. Cajal intentó excusarse, alegando que «carecía de categoría política y no conocía bien la Administración», pero ante la insistencia de otros vocales quedó elegido por unanimidad. Mantendría el cargo de presidente hasta su muerte, en 1934.

Pocos días después de la creación de la Junta, el 25 de enero, pasaba el Gabinete a manos del conservador Maura haciéndose cargo de la cartera de Instrucción Pública Faustino Rodríguez San Pedro que, en los casi tres años de mandato, hizo notar su presencia alicortando los vuelos con que, en su opinión, fue creada la Junta. Comenzaba así una historia de complicadas y con frecuencia cambiantes relaciones entre la JAE y los gobiernos respectivos. No entraré en este tema aquí, ya que me ocuparía demasiado, pero sí que es necesario señalar que, a pesar de todo, la Junta logró mantener un considerable grado de independencia con respecto a los poderes públicos⁹.

La Exposición del Decreto Fundacional es un fiel reflejo tanto del contexto del que surgió la JAE como de sus intenciones. Empieza así¹⁰:

El más importante grupo de mejoras que pueden llevarse a la instrucción pública es aquel que tiende por todos los medios posibles a formar el personal docente futuro y dar al actual medios y facilidades para seguir de cerca el movimiento científico y pedagógico de las naciones más cultas, tomando parte en él con positivo aprovechamiento.

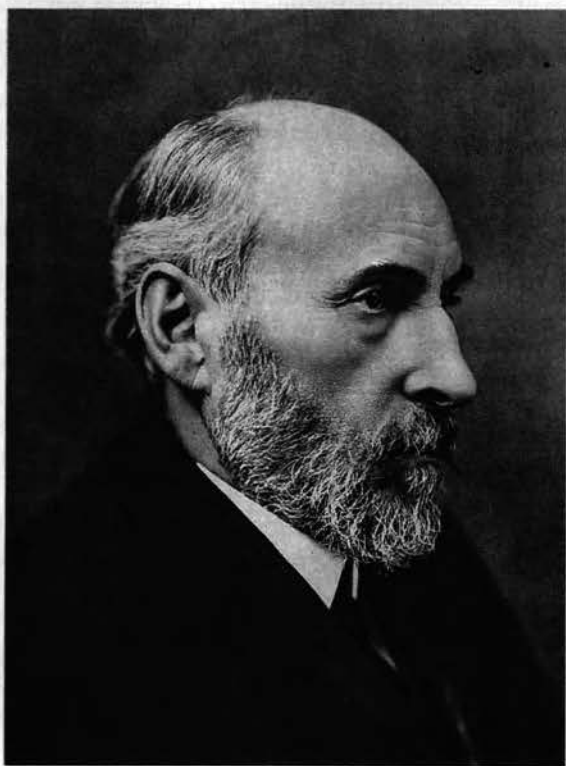
El principal medio elegido para llevar a cabo esta tarea fueron las pensiones, las becas, como se denominan en la actualidad. De hecho, por la importancia concedida a las mismas la JAE fue más conocida como «Junta de Pensiones». El Decreto Funda-

⁸ Ver *Libros de Actas de la JAE*, depositados en el Archivo de la JAE.

⁹ Sobre la historia de la JAE, consultar Laporta, Ruiz Miguel, Zapatero y Solana (1987), Sánchez Ron (1988b) y los diversos artículos incluidos en el segundo tomo de Sánchez Ron, coord. (1988a).

¹⁰ Con respecto a la legislación de la JAE, ver el «Apéndice» incluido en Sánchez Ron, coord. (1988a, vol. I, pp. 251-349).

José Manuel Sánchez Ron



Santiago Ramón y Cajal

cional era, una vez más, explícito en este aspecto: «El pueblo que se aísla se estaciona y descompone. Por eso todos los países civilizados toman parte en ese movimiento de relación científica internacional, incluyendo en el número de los que en ella han entrado, no sólo los pequeños estados europeos, sino las naciones que parecen apartadas de la vida moderna, como China, y aún la misma Turquía, cuya colonia de estudiantes en Alemania es cuatro veces mayor que la española, antepenúltima entre todas las europeas, ya que son sólo inferiores a ella en número Portugal y Montenegro».

Las pensiones en el extranjero se hallaban, en efecto, implantadas entonces en numerosas naciones, entre las que se encontraban algunas poco desarrolladas. Así, países como Rumania, China y el Japón habían formado en buena medida su cultura moderna sobre la base de las pensiones en el extranjero (China enviaba anualmente pensionados por centenares a Europa y Japón por millares). Chile y la República Argentina adoptaron igual sistema, y este último país llegó a instituir en París una Delegación para atender a los becarios residentes en el Viejo Mundo ¹¹. Incluso Estados Unidos, no obstante el buen nivel cultural de muchos de sus centros docentes, se benefició bastante de la estancia de estudiantes que iban a frecuentar las aulas universitarias de Francia, Alemania e Inglaterra. Ese movimiento emigratorio general llegó a ser tan grande, que el número de alumnos extranjeros en las universidades alemanas, durante el curso de 1904-1905, se elevó a unos 7.000, de los cuales estaban matriculados oficialmente más de 4.000.

No todo se limitaba, sin embargo, a las pensiones, como se puede comprobar mediante el Real Decreto de 22/1/1910 en el que se indicaba de manera explícita las funciones que tendría a su cargo la JAE. Eran las siguientes:

- 1º El servicio de ampliación de estudios dentro y fuera de España,
- 2º Las Delegaciones en Congresos Científicos,

¹¹ Ver en este sentido los comentarios de Subirá (1924).

José Manuel Sánchez Ron

3º. El servicio de información extranjera y relaciones internacionales en materia de enseñanza,

4º. El fomento de los trabajos de investigación científica, y

5º. La protección de las instituciones educativas en la enseñanza secundaria y superior.

El punto cuarto es particularmente importante, de hecho ya se recogía en el Decreto Fundacional cuando se señalaba:

No olvida ... el Ministro que suscribe que necesitan los pensionados, a su regreso, un campo de trabajo y una atmósfera favorable en que no se amortigüen poco a poco sus nuevas energías y donde pueda exigirse de ellos el esfuerzo y la cooperación en la obra colectiva a que el país tiene derecho. Para esto es conveniente facilitarles, hasta donde sea posible, el ingreso al Profesorado en los distintos órdenes de enseñanza, previas garantías de competencia y vocación; contar con ellos para formar y nutrir pequeños Centros de actividad investigadora y de trabajo intenso, donde se cultiven desinteresadamente la Ciencia y el Arte, y utilizar su experiencia y sus entusiasmos para influir sobre la educación y la vida de nuestra juventud escolar.

El Laboratorio de Investigaciones Físicas, al que se incorporó Catalán en 1915 y en el que terminaría centrando su actividad investigadora, fue uno de los productos (acaso el más notable) de aquella filosofía seguida por la JAE.

1.4. PRIVILEGIOS DE LA JAE

Todo proyecto requiere para su realización de una financiación económica adecuada. Sobre los presupuestos de la Junta hay que decir que fueron bastante superiores a los dedicados a financiar *fuera de la JAE*, pero dentro del ámbito universitario, investigaciones científicas (entendiendo por este término tanto a la «ciencia» propiamente dicha como a las «humanidades»).

Veamos algunos ejemplos que corroboran esta afirmación. La

cátedra de Química biológica de Madrid, que atendía a las Facultades de Medicina, Farmacia y Ciencias no tuvo ningún presupuesto para laboratorios desde su establecimiento en 1887 hasta 1901.

Desde el año 1887 hasta el 1901 ¡durante catorce años!» —se quejaba Rodríguez Carracido (1917, p. 389)— «se explicó la Química biológica como si fuese Metafísica, resistiendo unánimemente todos los ministros (en esto no hay diferencia de partidos) la demanda de los elementos indispensables para la constitución del imprescindible laboratorio.

Finalmente, durante el ministerio de García Alix, el Parlamento votó un presupuesto de 6.000 pesetas anuales para material científico de las cinco Facultades de la Universidad Central; en lo que a las cátedras en que se ofrecían enseñanzas químicas se refiere, esto equivalía a 38,25 pesetas por cátedra por trimestre (Rodríguez Carracido 1917). Dada esta precaria situación, no tiene mucho de sorprendente que Carracido prestase a la JAE su laboratorio para realizar allí «Trabajos de Química biológica». La Junta, que obviamente también se beneficiaba de este arreglo, indemnizaba a este laboratorio de la Facultad de Farmacia por los gastos ocasionados, y le suministraba fondos para comprar y mantener algunos aparatos.

Si nos fijamos ahora en Zaragoza, el *alma mater* de Catalán, tenemos (Tomeo Lacrué 1962), que durante el período de 1900 a 1915 las incidencias de índole económica más destacadas que afectaron a la Facultad de Ciencias fueron las siguientes:

1904: Concesión de 15.000 ptas. para cátedras y laboratorios

1907: Nueva consignación de 6.000 ptas. para material.

1908: Consignación *nacional* (esto es, común para todo el Estado) para material de 200.000 ptas.

1912: Adquisición de la «Torre de Canti» por el Ayuntamiento en 90.333 ptas. y adaptación para Jardín Botánico, con 25.000 ptas. asignadas a la Facultad.

Pasando ahora al período que va de 1916 a 1920, tenemos que la consignación para material científico venía a ser, para toda la Facultad, de unas 8.000 ptas. El acontecimiento más notable de aquel período, algo realmente extraordinario, fue la creación, en 1920, de un Laboratorio de Investigaciones Bioquímicas, anejo al de Química general. Como director se nombró a Antonio de Gregorio Rocasolano (con el que nos volveremos a encontrar en este libro). El nuevo laboratorio fue afortunado: los Presupuestos generales del Estado incluían una previsión para él de 15.000 ptas. para el año económico 1920-1921, a las que hay que añadir otras 15.000 ptas. procedentes del Ayuntamiento de Zaragoza.

Antes de proseguir es necesario realizar algunos comentarios. En primer lugar, recalcar algo por otra parte obvio: los datos relativos a Zaragoza que he citado (con la excepción del laboratorio de Rocasolano) se refieren a *todas* las disciplinas científicas incluidas en la Facultad de Ciencias. En segundo lugar, recordar que, de todas maneras, es necesario ser precavido a la hora de pretender extraer conclusiones de datos como los anteriores, ya que todavía no disponemos de ningún estudio en el que se analicen de manera completa y fiable las dotaciones económicas dedicadas a la investigación científica en España a lo largo del período 1900-1936.

Frente a la penuria general que, salvo excepciones, dominaba a la Universidad española, la JAE disponía de unos recursos, sino suficientes sí superiores a los que recibían las universidades, y, lo que es más importante, que fueron creciendo a un ritmo relativamente alto. Veamos algunos ejemplos referentes, en primer lugar, a toda la JAE ¹².

El primer proyecto de presupuesto, aprobado en la sesión de la Junta celebrada el 4 de marzo de 1907, contaba con unos ingresos, procedentes de Instrucción Pública, de 328.000 ptas. La mayor parte de este dinero (300.000 ptas.) iba a lo que se denominó aquel año «personal», aunque en realidad cubría también las pensiones: personal de secretaría, delegados en el ex-

¹² Los datos que siguen proceden de las *Memorias* bianuales o de los Libros de Actas de la JAE.

tranjero, «pensiones y auxilios dentro de España e investigaciones» (50.000 ptas.), pensiones en el extranjero (150.000 ptas.), y pago de pensionados que ya se encontraban en el extranjero (64.125 ptas.). De las 28.000 ptas. restantes, 24.000 se dedicaban a «compra de material científico y de investigaciones, libros, publicación de trabajos, instalación de Seminarios, Laboratorios y centros análogos». En la sesión siguiente (3 de julio) los vocales de la Junta ya aprobaron adquisición de libros y revistas (de zoología, botánica, química e historia) por un importe de 5.000 ptas., «de una máquina fotográfica para reproducción de códigos, cuyo valor no exceda de 1.000 ptas.» y de «material para estudios de electricidad y magnetismo según nota del Sr. Torres Quevedo, hasta el importe de 6.000 ptas.». Obviamente, no quedaba mucho dinero para creación de centros (seminarios, laboratorios) propios de la JAE.

En 1909 el presupuesto de la Junta fue de 225.000 ptas. (para explicar la disminución recordemos los problemas, ya señalados, que la JAE encontró durante el ministerio de Rodríguez San Pedro). Cien mil pesetas para el pago de pensiones correspondientes a las convocatorias de 1908; 82.000 para las convocatorias de 1909 (70.000 para fuera de España y el resto para el interior); 17.000 para delegados en congresos científicos; 8.000 para delegados que inspeccionasen a los pensionados; 8.000 para el personal del Centro de Estudios experimentales y 10.000 para asuntos de la Secretaría.

En 1914 el presupuesto ya ascendía a 789.655 ptas, al que habría que añadir «recursos de orígenes varios» (donativos, ventas de publicaciones y cursos de vacaciones), que entre 1914 y 1915 produjeron unas 32.000 ptas., pero que en realidad se consumieron en dos pensiones y en gastos propios (reparto de publicaciones y pagos de honorarios a profesores de los cursos de vacaciones). Es interesante ver cómo se desglosaba el presupuesto de la Junta, haciendo hincapié en la distribución entre las distintas disciplinas:

Las pensiones en el extranjero y viajes en el curso de maestros, en Madrid, se llevaron 218.371 ptas; únicamente 3.164 ptas. se dedicaron a pensiones para estudios dentro de España. Para delegaciones se emplearon 14.853. El Centro de Estudios Históricos consumió 78.429 ptas., que se repartieron de la siguiente

manera: 24.500 para diez profesores, 34.963 para becarios y auxiliares, 8.984 para material de cursos, 5.924 para instalación de laboratorios de fonética y fotografía, arreglo de locales y muebles, y 4.057 para excursiones. En cuanto al Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales, consumió 118.295 ptas.: 19.055 para construcción de armarios y vitrinas en el Museo Nacional de Ciencias Naturales; 6.495 para el Laboratorio de Investigaciones Físicas (auxiliares, instalación de laboratorios, aparatos y muebles —2.572 ptas.— y gas, agua, luz y calefacción); 1.513 para la Estación Alpina de Biología; 8.835 para la Comisión de Investigaciones Paleontológicas, y 82.392 ptas. para cursos (profesores, ayudantes, becarios, material, instalación de laboratorios, arreglo de locales y muebles y excursiones). Las Residencias de Estudiantes ocuparon una parte importante del presupuesto, 209.902 ptas. (de las cuales 68.495 se destinaron a continuar la construcción del pabellón de laboratorios, y 4.522 a material de laboratorio)¹³. El resto del dinero se fue en cursos de vacaciones y para maestros, publicaciones y secretaría.

El año siguiente, 1915, se mantuvo aproximadamente el presupuesto (763.196 ptas.), aunque los gastos sufrieron algunas variaciones importantes: por ejemplo, sólo se dedicaron 18.176 ptas. para pensiones en el extranjero (recordemos que en 1914 comenzó la Primera Guerra Mundial, lo que obligó a suspender durante un tiempo las pensiones en el extranjero). Del resto fue precisamente el Laboratorio de Investigaciones Físicas el que más aumentó sus gastos, que ahora fueron de 30.234 ptas.

Si ahora pasamos a 1918, nos encontramos que las inversiones de la JAE ascendieron a 799.575 ptas., que se repartieron como sigue: 139.677 ptas. para pensiones al extranjero¹⁴; 86.808 para el Centro de Estudios Históricos; 23.440 para el Laboratorio de Investigaciones Físicas (10.000 ptas. para adquisición de aparatos); 122.620 para cursos; 36.732 para los Laboratorios de Fisiología cerebral y general, de Histopatología y de Química general y

¹³ A partir de 1912, comenzaron a crearse laboratorios de investigación y enseñanza en la Residencia de Estudiantes de la calle Pinar.

¹⁴ En el otoño de 1915 se reanudó el envío de pensionados de países neutrales, fundamentalmente a Suiza y a Estados Unidos, todavía no beligerante.

biológica de la Residencia de Estudiantes; 182.125 para las Residencias de Estudiantes, y 28.298 ptas. para el Instituto Escuela, creado por R.D. el 10 de mayo de 1918. El resto del presupuesto se distribuyó entre la Estación Alpina de Biología, Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas, pensiones en España, secretaría, etc.

A partir de la década de los veinte, la actividad y presupuestos de la Junta se ampliaron substancialmente. Basta con mirar las cifras que se incluyen en las correspondientes *Memorias* para darse cuenta de ello. No sólo se habían estado creando centros nuevos (como por ejemplo, en 1915 el Laboratorio Seminario Matemático dirigido por Julio Rey Pastor, o en 1916 el Laboratorio de Fisiología general de Juan Negrín), sino que además el Laboratorio de Investigaciones Biológicas (a partir de ese mismo año denominado Instituto Cajal), que aunque, al igual que el Museo Nacional de Ciencias Naturales, el Jardín Botánico y el Museo de Antropología, se había adherido a la JAE cuando se creó esta, sin recibir ninguna consignación directa en los presupuestos de la Junta, entró como un centro más a partir de los presupuestos de 1920 (ese año se le asignaron 22.000 ptas., frente a las 80.000 del Centro de Estudios Históricos, o las 48.500 del Laboratorio de Investigaciones Físicas)¹⁵.

El año económico de abril de 1923 a marzo de 1924 la financiación de la JAE alcanzaba 1.609.693 ptas., de las que 99.399 fueron al Centro de Estudios Históricos; 61.987 al Laboratorio de Investigaciones Físicas; 38.953 al Laboratorio de Investigaciones Biológicas, más 249.742 para continuar las ya iniciadas obras de un edificio para el Instituto Cajal; 15.188 a la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas; 11.904 al Laboratorio Seminario Matemático; 7.148 al Laboratorio de Bacteriología; 6.762 al Laboratorio de Anatomía Microscópica; 36.850 al Laboratorio de Fisiología general; 156.232 a pensiones en el extranjero; 287.086 a las Residencias de Estudiantes, y 310.633 al Instituto-Escuela.

Pasando ahora a 1929, nos encontramos con que el presu-

¹⁵ Es de suponer, sin embargo, aunque no he podido documentar este punto, que el Laboratorio de Cajal continuó recibiendo fondos de otras instancias.

puesto con que contaba la JAE era de 1.858.160 pesetas ¹⁶, de las que 121.629 correspondieron al Centro de Estudios Históricos; 49.147 al Laboratorio de Investigaciones Físicas; 29.332 a laboratorios de investigaciones biológicas; 12.916 al Instituto Cajal; 13.930 a la Comisión de Investigaciones Paleontológicas y Prehistóricas; 56.814 a Cursos de Geología, Botánica, Zoología y a la Estación Alpina de Biología; 20.000 al Laboratorio Seminario Matemático; 26.269 al Laboratorio de Fisiología general; y 20.500 al Laboratorio de Histología normal y patológica. A pensiones en el extranjero se asignaron 177.964 pesetas; a publicaciones, traducciones y adquisición de libros 120.648; a la Residencia de Estudiantes 115.730 y 386.347 al Instituto-Escuela.

Por último, en 1933 la JAE recibía del Estado 3.649.721 ptas, cantidad a la que habría que añadir diversos donativos, algunos tan sustanciales como uno de «un obrero de la Pampa» consistente en 125.000 pesetas, o los consabidos ingresos procedentes de las ventas de las publicaciones de la Junta. De este dinero el Centro de Estudios Históricos recibió 375.359 pesetas; 356.643 al Instituto Cajal; los Cursos de Geología, Botánica, Zoología y la Estación Alpina de Biología, 174.179; 22.600 al Laboratorio Seminario Matemático; 46.749 al Laboratorio de Fisiología general; y 38.000 al Laboratorio de Histología normal y patológica. A pensiones en el extranjero se dedicaron 342.936 pesetas; a publicaciones, traducciones y compra de libros 471.939; 249.000 a la Residencia de Estudiantes y 594.483 al Instituto-Escuela.

Por entonces, el Laboratorio de Investigaciones Físicas se había convertido —como veremos en su momento— en un flamante Instituto Nacional de Física y Química, al que, según la *Memoria* de la JAE, se le asignaron 148.067 ptas., suma a la que habría que añadir 174.132 ptas. correspondientes a los sueldos de un director y cuatro profesores (Catalán uno de ellos), cuatro

¹⁶ Prácticamente todo procedente del Ministerio de Instrucción Pública. Únicamente 29.610 pesetas llegaron desde otro Ministerio: Asuntos Exteriores. Como ya he indicado, la Junta también disponía de «Recursos de orígenes varios», que aunque no eran en absoluto despreciables —por ejemplo: el remanente existente el 31 de diciembre de 1930 era de 370.982 pesetas— no discuto ya que su desglose es difícil; además en general no experimentaban movimientos anuales demasiado espectaculares.

ayudantes y cuatro agregados, catorce becarios, un secretario y tres auxiliares, un jefe técnico y un maestro de máquinas, además de varios mozos y personal de limpieza. Pero insisto que sobre estos puntos volveré en el capítulo 5.

A partir de 1934, hay que recurrir a los Libros de Actas para averiguar el presupuesto que manejaba la Junta, ya que la última *Memoria* publicada (en 1935) es la correspondiente a los cursos 1933 y 1934 (con datos económicos relativos solamente a 1933). Las cantidades que aparecen en los Libros de Actas no cubren, sin embargo, tantos conceptos como los de las *Memorias* precedentes. Esto explica el que el presupuesto que se da para 1934 es de 1.595.996 ptas., cifra que se mantuvo más o menos constante en los años siguientes.

1.5. EN CONTRA DE LA JAE

Un capítulo importante de la historia de la JAE es el de sus enemigos. El origen de éstos es diverso. Ciertamente, los privilegios de que disfrutó es un elemento importante a la hora de explicar muchas de las oposiciones que encontró, pero también hay que considerar la filosofía renovadora que la animó, la relación que mantuvo (casi habría que decir que *no* mantuvo) con la Universidad o sus conexiones con la Institución Libre de Enseñanza.

De hecho, la inclusión de esta sección es particularmente relevante a la biografía de Catalán, ya que, como veremos en otro capítulo, la estrecha relación que éste mantuvo con la JAE le puso, durante y después de la Guerra Civil, entre aquellos que las fuerzas «nacionales» consideraban como enemigos, o, cuando menos, personas de las que no era posible fiarse. Como consecuencia, se le apartó de la universidad y de su antiguo laboratorio. Pero estamos todavía lejos de aquellos años; ocupémonos, pues, de las oposiciones que encontró la Junta durante su existencia.

La posible vinculación de la JAE con la Institución Libre de Enseñanza fue una de las «acusaciones» (puesto que de *acusación* se trataba) más frecuentes en la historia de la Junta. Un buen ejemplo del talante de esas críticas se encuentra en un artículo

que el padre agustino Graciano Martínez publicó en la revista *España y América* en 1915, con el significativo título de «Las prodigalidades del Ministerio de Instrucción Pública y la Institución Libre de Enseñanza»¹⁷. Leemos allí:

Los hombres de la Institución Libre de Enseñanza han sido tan sabios y tan hábiles, que, a fuerza de filis y de risitas de azúcar, han sabido crear tres organismos independientes que manejan ellos como les viene en talante, pero que paga opulentamente la nación: Museo Pedagógico Nacional, Junta de Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, e Instituto de Material Científico, sin hablar de otros organismos más o menos anexos y nada escasamente chorreadores, como el Museo de Ciencias Naturales, que dirige Bolívar y la Estación de Biología Marina, de Santander, que dirigió años y años el institucionista Linares, etc., etc.

En este punto el belicoso agustino se dedicaba a pasar revista a las instituciones mencionadas, y al llegar a la JAE y tras señalar que «percibe una dotación anual, —¡da vergüenza consignarla!—, de 800.000 pesetas», se preguntaba: «¿En qué se emplea esa cantidad fabulosa?». Como se puede prever dado el tono, su respuesta era acusatoria: «Pues lo que no se va en dietas y remuneraciones, en subvencionar otro organismo creado por la casa, y que se llama la Residencia de estudiantes, y en pensiones para ampliación de estudios en el extranjero, advirtiéndole que en la distribución de estas pensiones, puede decirse que no tiene intervención ninguna el ministro de Instrucción Pública, que no viene a ser más que un humilde secretario de plantilla de los hombres de la Institución».

No dejaba de reconocer este padre Martínez que «en la constitución de esa Junta han sido como siempre muy agudos y muy hábiles los hombres de la Institución, que son los que la han creado y los que la manejan a su arbitrio, o por mejor decir, al arbitrio del institucionista D. José Castillejo, que es su secretario, y que por ser tan listo e ingenioso como redomado, es el alma de

¹⁷ Yo he utilizado una tirada aparte de este artículo (Martínez 1915) que localicé en el Archivo de la JAE.

toda ella. En esa Junta, siempre hacen figurar alguna eminencia católica, pero de esas eminencias católicas que ni asisten a sus sesiones, porque saben perfectamente que perderían el tiempo asistiendo ... no son más que la hoja de parra, encubridora de lo que en ella habrían de decidir vocales tan institucionistas, o tan a merced de los institucionistas como D. Alfonso Buylla, D. Gumersindo Azcárate, D. Ignacio Bolívar, don Amalio Gimeno, D. Ramón Menéndez Pidal, D. Luis Simarro, D. Eduardo Vincenti, y otros y otros». Lo que seguía era, por supuesto, mera consecuencia de las premisas que estaba utilizando:

Así que no hay que inquirir qué clase de gente disfruta de las pingües pensiones para el extranjero. Podrán figurar, de cuando en cuando, entre los pensionados, algún que otro sacerdote culto, algún que otro católico significado; —ya he dicho que en los hombres de la Institución dominan la astucia y la habilidad de las raposas— pero lo ordinario es que los pensionados sean siempre del mismo pelaje que los que los envían.

Y en cuanto a la Residencia de estudiantes, mejor sería no hablar palabra; porque creo que si dijera todo lo que respecto del particular sentía, habría de herir a más de cuatro zanguanjos capitalistas católicos, y a más de cuatro católicos periodistas. Es claro, que es para enfurecer y encolerizar, el ver que se den anualmente 100.000 pesetas para los institucionistas, a cuenta de la Residencia de estudiantes, que eso es lo que percibe dicha Residencia. ¡Qué Residencia de estudiantes no haría una corporación religiosa, si tuviese del Estado una pensión anual de 100.000 pesetas!

De hecho, las acusaciones de que la Junta dependía de la Institución Libre de Enseñanza llegaron al mismo Parlamento. Así, en la sesión de las Cortes celebrada en 19 de abril de 1918 el diputado maurista Zabala declaraba ¹⁸:

La Institución Libre de Enseñanza, entidad cuyo carácter y tendencias todos conocemos, obtuvo del Estado la facultad de

¹⁸ *Diario de Sesiones del Congreso*, nº 22, sesión del 19 de abril de 1918, p. 503; citado en Laporta, Ruiz Miguel, Zapatero y Solana (1987).

constituirse en Junta para administrar las pensiones que los Reales Decretos de julio de 1901 y mayo de 1903 habían otorgado a favor de todos los estudiantes de Universidades, Institutos de segunda enseñanza y demás centros docentes... Resulta, pues, de esto que la Junta de Pensiones, o la Institución Libre de Enseñanza, porque es lo mismo... No hay más diferencia entre una y otra entidad que la rotulación, pues una persona jurídica como la Junta, integrada por los Sres. Bolívar, Ramón y Cajal, Azcárate, Giner de los Ríos ¹⁹, Castillejo, Simarro, etc., que fueron fundadores unos y afiliados otros a la Institución Libre de Enseñanza, no puede ser cosa distinta de ésta. Decir otra cosa es una falta de sinceridad. La presencia en la Junta de algunos, muy pocos, correligionarios míos no prueba más que la destreza con que los [institucionistas] se saben tapar con hojas de parra, y la bondad de algún afín que no llega a percatarse de que en la Junta de Pensiones no juega otro papel que el de instrumento.

Efectivamente, existían vinculaciones, de ideas y de personas, entre la JAE y la ILE (Vicente Cacho Viu [1988, p. 4], por ejemplo, ha llegado a afirmar, con buenas razones, que la Junta fue «un fruto, un logro tardío de la Institución Libre de Enseñanza»), pero la historia de la JAE parece demostrar, a falta de estudios más pormenorizados, que se comportó, tal y como se declaraba en el Decreto Fundacional, básicamente como un organismo neutral, de manera que «colocado fuera de la agitación de las pasiones políticas, [conservase] su independencia y prestigio». (En *Guerra de ideas en España*, Castillejo [1976, p. 101] la denominó: «un Directorio apolítico permanente».)

Pasemos ahora a las reacciones que la existencia y procedimientos seguidos por la JAE suscitaron en el mundo universitario hispano.

En general, las críticas que se hicieron a la Junta desde la Universidad estuvieron relacionadas con la escasez de recursos de que disponían las Facultades universitarias. Por lo que sé, el primer conflicto de cierta consideración, al menos si tenemos en cuenta cómo se movilizó la Junta, tuvo lugar en 1912. Me

¹⁹ Es falso que Giner fuera miembro de la JAE.

ocuparé de él con algún detalle no sólo por las dimensiones que llegó a alcanzar, sino también porque el Laboratorio de Investigaciones Físicas se vio, como veremos, involucrado.

El 25 de junio de aquel año, Bartolomé Feliú y José Muñoz del Castillo, catedráticos de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid²⁰, diputado a Cortes desde 1907 por Tafalla (y Jefe Nacional de la Comunión Tradicionalista) el primero, y senador del Reino por la Universidad de Sevilla el segundo, firmaban en nombre de una «Comisión de la carrera de Ciencias», cuya composición no he podido establecer, aunque muy probablemente estuviese formada de manera análoga a otra que nos aparecerá más adelante, un documento de dos páginas titulado *La Carrera de Ciencias* que comenzaba de la manera siguiente²¹:

Las Facultades de Ciencias de España se ven en la necesidad de unirse y hacer campaña de reivindicaciones que afectan al desarrollo de la Nación y a la cultura patria en general. Las Facultades de Ciencias aspiran a un esplendor científico que responda a la razón de su existencia y para conseguirlo necesitan restablecer el concepto que debe tenerse de su misión.

Venían a continuación unas consideraciones bastante vagas y generales acerca de la necesidad de que la Ciencia no se limitase a la teoría, sino que también fuese Ciencia *aplicada*: «así sucede que en los países más progresivos y de más sana tradición

²⁰ Muñoz del Castillo (1850-1926) ocupaba, desde 1887, la cátedra de Química inorgánica de la Universidad Central. Antes había sido catedrático de Física y Química en el Instituto de Logroño, y de Ampliación de Física de la Facultad de Ciencias de Zaragoza (en donde llegó a ser Decano), además de profesor de Física en la Escuela General Preparatoria de Ingenieros y Arquitectos. En 1903 fundó el Instituto de Radiactividad. Fue también académico de Ciencias, presidente de la Sociedad Española de Física y Química y concejal de Madrid. De Bartolomé Feliú (1843-1918) hay que decir que tras ocupar cátedras en los Institutos de Cervera, Teruel y Toledo, pasó, en 1880, a la de Física Superior, primero, y a la de Ampliación de Física, después, de la Universidad de Barcelona. En diciembre de 1895 fue nombrado catedrático de Física Superior en la Universidad de Zaragoza; finalmente, en 1899, obtuvo la cátedra de Termología de la Universidad Central.

²¹ Archivo de la JAE.

universitaria, figuran los doctores en Ciencias al frente de las grandes empresas en que la ciencia se aplica».

El problema, tal como lo veía aquella comisión, era que «la Facultad de Ciencias española se ve desamparada, y todas aquellas carreras que tienen por objeto hacer aplicación de algunas teorías o conocimientos, invaden o tratan de invadir, su terreno natural de expansión, suplantándola en todos los fines que le son propios». Al llegar a este punto, ya se entraba en materia que afectaba, directa e indirectamente, a la JAE:

Y no es esto sólo, sino que aquellas instituciones de carácter científico que siempre han estado unidas a la Facultad de Ciencias, por ser parte integrante de ella, por ser miembros del mismo cuerpo, las van separando paulatinamente; unas veces para llevarlas a cuerpos cerrados donde el monopolio de clase se puede ejercer, y otras con el deliberado propósito de hacer el vacío al *alma mater*, y acusarla después de poco práctica, cuando ya le han arrebatado los frutos positivos de su fecunda labor científica.

Y hay más aún. A la Facultad de Ciencias se le han regateado sistemáticamente los medios materiales para el desenvolvimiento de sus enseñanzas experimentales, a pesar de repetidas quejas lanzadas en discursos de apertura de las Universidades, y de copiosas peticiones de los centros docentes a la superioridad. Y cuando ha llegado el momento en que el Estado ha decidido dotar de enseñanzas modernas a nuestra Nación y ha dispuesto invertir cantidades de alguna importancia para estos fines, lo ha hecho en instituciones extrauniversitarias, algunas fundadas *exprofeso* pero para cumplir funciones que únicamente deben estar confiadas a las Facultades de Ciencias, y, en general, a las Universidades del Reino.

Entre las cuatro «bases» del programa *mínimo* que se presentaba al ministro de Instrucción Pública, nos interesa particularmente la cuarta:

Las instituciones Observatorio Astronómico, Jardín Botánico, etc. que, con arreglo a la ley de Instrucción Pública, forman parte de la Facultad de Ciencias de Madrid, serán reintegradas a esta, en armonía con lo dispuesto en 1857 y 1900.

Igualmente quedarán incorporados a la propia Facultad y, por lo tanto, a la Universidad Central, las demás instituciones de creación más o menos reciente, y de índole científica, como el Museo Antropológico, los Laboratorios de la Junta de ampliación de estudios, los institutos de Radiactividad y de Investigaciones físicas, etc.

La JAE y, en particular, el «instituto» —es decir, el Laboratorio— de Investigaciones Físicas, figuraban, por consiguiente, entre las instituciones seleccionadas.

Conocemos, de hecho, algo del transfondo del documento firmado por Feliú y Muñoz del Castillo, gracias a una carta que Jerónimo Vecino escribió desde Madrid a Blas Cabrera, el director del Laboratorio de Investigaciones Físicas, el 13 de junio de 1912, es decir unos días antes de la aparición del documento en cuestión (Cabrera se encontraba entonces en Zurich, con un pensión de la JAE). Es conveniente reproducirla completamente ²²:

Mi querido profesor: Recibí su carta y aunque no tengo nada de particular que decirle sobre mis trabajos ya que se ha llegado a instalar completamente el comparador; quiero no obstante enterarle de un asunto de que me ha hablado [Manuel Martínez] Risco esta tarde, pues aunque yo le he dicho que debiera escribir a Vd. por si no lo hace le escribiré yo.

Se trata de lo siguiente. Parece que se está haciendo una campaña contra el Laboratorio [de Investigaciones Físicas] y contra la Junta de ampliación de estudios siendo el principal factor en esa campaña [Ignacio González]. Martí. Según parece,

²² Archivo de la JAE. Jerónimo Vecino era miembro por entonces del Laboratorio de Investigaciones Físicas; poco después de escribir esta carta a Cabrera marchó, en julio, pensionado por la Junta al Bureau International de Poids et Mesures, en París (en donde permaneció hasta septiembre). Allí se dedicó, bajo la dirección de Guillaume, a trabajos de metrología de alta precisión. Como parte de sus estudios de dilatación de reglas, se ocupó del metro de acero níquel, que fue enviado al laboratorio de Investigaciones Físicas, para ser utilizado como metro patrón (de hecho, a su regreso a Madrid, instaló una sección de metrología en el Laboratorio de la Junta). En 1914 obtuvo la cátedra de Física general de la Universidad de Santiago, y en 1915 fue nombrado por concurso de méritos para la misma cátedra de la Universidad de Zaragoza. Falleció prematuramente en 1929.

pues Risco ha estado presente a la conversación, se ha convenido en que Feliú [introduzca] una interpelación en el Congreso, habiéndose prestado Martí a suministrarle todos los datos que quiera. Después tuvieron una reunión Feliú, Muñoz del Castillo y Lavilla; claro está que en la reunión se hablaría de eso. El plan del Sr. Martí, como Vd. verá propio de un genio, es el siguiente: Supresión de la Junta y del Laboratorio y el dinero que esos dos organismos gastan dedicarlo a dar sueldo a los ayudantes de prácticas de Universidades y de Institutos. Argumentos para esa supresión: que el Laboratorio es inútil como entidad pues la Universidad debe formar profesores y no investigadores; además el personal del laboratorio no sirve para nada pues ninguno tiene espíritu de investigación; el dinero que se invierte en aparatos de precisión es dinero perdido pues como los que los manejan son principiantes a los pocos días dejan de ser aparatos de precisión (este argumento es una segunda edición del que yo le oí el día que estubo en el Laboratorio y lo dijo cuando estaban viendo los comparadores ...). En fin no voy a molestarle más con sandeces. Le escribo estas cosas porque creo que debe Vd. saberlas y además le he dicho a Risco que yo se lo diría. No creo que tenga esto importancia pues me parece que Martí y Feliú poco podrán hacer. Además si bien Feliú, en mi concepto, no es un talento... sin embargo tiene sentido común y antes de pedir la supresión de un *Laboratorio de Física* considerará que él es catedrático precisamente de esa asignatura.

Ante estas noticias Cabrera no perdió el tiempo: el día 16 enviaba a Castillejo desde Zurich la siguiente carta ²³:

Mi querido amigo: Acabo de recibir la carta que incluyo [la de Vecino, naturalmente] a V. porque creo debe conocerla en todas sus partes y hacerse cargo de lo que ello significa por si se tratara de un asunto en el Congreso o Senado. Le escribo a V. en plena indignación, no porque el asunto pueda tener importancia positiva, dada las personas que en él intervienen, sino porque algunas de esas personas (el Sr. Martí) se llaman

²³ Archivo de la JAE.

mis amigos. Claro es que si yo pudiese utilizar esa carta para con él mismo, me quedaría luego absolutamente tranquilo, pues lo que más me molesta es tener que aparecer amigo de un hombre que así procede.

Algunos de los argumentos que para esa campaña se preparan están contestados por sí solos y respecto de otros conviene que sepa V. que casi se puede afirmar en absoluto que las pocas personas que en España investigan y han investigado están en el Laboratorio. Es evidente que ninguno de nosotros es un investigador de nota mundial, pero no lo es menos que tampoco los hay de mayor nombre. De lo que sí puedo responder en absoluto, con conocimiento de lo de ahí y de lo de aquí, es que el material de mi Laboratorio da en las manos que lo manejan, tanto como lo que dar pueden en las manos de cualquier físico del mundo ²⁴.

Para apreciar mejor el disgusto de Cabrera hay que entender que no se trataba simplemente de una oposición surgida de colegas de claustro; la relación era más estrecha (como el propio Blas apuntaba): tanto Feliú como González Martí y Muñoz del Castillo habían sido profesores suyos; en particular, Feliú había figurado en el Tribunal que juzgó su tesis doctoral, y González Martí había jugado aparentemente un papel importante en su formación como físico experimental, habiendo llegado a publicar juntos un artículo en 1906 (en los *Anales de Física y Química*), en el que se ocuparon del problema de cómo mantener la temperatura de un baño o cuba, con objeto de determinar las constantes físicas en condiciones bien definidas.

²⁴ Cabrera también escribió a Martínez Risco. El 24 de junio le comentaba: «por la carta de Vecino tuve noticia de la conversación por V. presenciada. Debí V. darme cuenta enseguida de ella. No creo que esa campaña llegue a ninguna parte, pero esto le demostraré a V. lo necesario que es hacer cosas que demuestren que el dinero gastado no está tirado a la calle. En cualquier parte del mundo se puede ir despacio con las cosas, pero no en España, donde todo el que ni ha hecho, ni hace, ni hará nada en su vida, procura caer encima de cuantos se pasan la vida trabajando, en el momento mismo que aprecian el menor desfallecimiento». Agradezco al Dr. Federico Román, sobrino de Martínez Risco, el que pusiese a mi disposición una copia de esta carta.



Einstein posando junto a catedráticos de la Facultad de Ciencias durante su visita a Madrid en marzo de 1923. De izquierda a derecha: (sentados) Miguel Vegas (geometría analítica), José Rodríguez Carracido (farmacia, Rector), A. Einstein, Luis Octavio de Toledo (análisis matemático, decano de Ciencias) y Blas Cabrera (electricidad); (de pie) Edmundo Lozano Rey (zoología), José M.^a Plans (mecánica teórica), Madrid Moreno (ciencias naturales), E. Lozano Ponce de León (óptica), Ignacio González Martí (física general), Julio Palacios (termología), Ángel del Campo (análisis químico) y Honorato Castro (astronomía)

Por lo que sé, la primera reacción pública al documento de Feliú y Muñoz del Castillo provino de un grupo muy numeroso de «Catedráticos de Ciencias Naturales, Licenciados, Doctores o amantes de aquellas Ciencias»²⁵. En una *Exposición dirigida al Excelentísimo Señor Ministro de Instrucción pública y Bellas Artes*, editada y fechada el 31 de octubre de 1912, manifestaban que «entre las tendencias y aspiraciones que se manifiestan en un impreso firmado por una *Comisión de la Carrera de Ciencias*, en el que se pretende sintetizar las de los científicos españoles, figura veladamente, la de que se varíe el régimen actual del Museo de Ciencias Naturales, incorporado hoy, por feliz disposición del Excmo. Sr. Conde de Romanones, al Instituto de Ciencias Físico-naturales, bajo la dependencia de la Junta para ampliación de estudios e investigaciones científicas, y como estiman gravísimo retroceso para el desarrollo del referido Centro y para el adelanto de estas Ciencias en España la vuelta a un régimen que muchos de los firmantes han conocido, y cuyos lamentables efectos, desgraciadamente, sufrieron, por el que los fines de su fundación fueron punto menos que olvidados ante las atenciones perentorias de la enseñanza universitaria, convirtiéndose el Museo en Gabinete de la Facultad, como si ésta no poseyera abundantes colecciones para las prácticas de los alumnos, y desatendiéndose la misión educativa respecto al público en general, en cuyo beneficio fue instituido, y la no menos importante de estudiar el suelo patrio ... sirviendo así, no a una sino a todas las Universidades de España, creen necesario llamar la atención de V. E. acerca de esa pretensión que consideran derivada del desconocimiento, por parte de los firmantes del citado impreso, del régimen que hoy impera en el referido Establecimiento y de lo que sucede en sus análogos de otros países». Y pasaban a enumerar las ventajas que tenía en su opinión la situación en que se encontraba el Museo, amparado por la Junta, señalando al mismo tiempo el progreso que ya se había producido.

²⁵ De hecho, en una de las copias de la declaración a la que me voy a referir, depositada en el Archivo de la JAE, se señala que firmaban «todos los profesores de Ciencias naturales de Universidades e Institutos de España, excepto 5 ó 6, algunos de ellos que no han sido aún invitados».

Aparentemente, el mismo día 31 de octubre en el que se databa el anterior documento se celebró una reunión confidencial en el Decanato de la Facultad de Ciencias de Madrid. El 5 de noviembre, Ignacio Bolívar, el director del Museo de Ciencias Naturales, informaba a Cajal —que también presidía el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales de la JAE— sobre este punto en una carta en la que señalaba que a tal reunión asistieron Manuel Antón, director del Museo de Antropología, Apolinar Federico Gredilla, director del Jardín Botánico, y Eduardo Reyes, que «se manifestaron conformes con la petición de la llamada *Comisión de la Carrera de Ciencias*». Ante este hecho, Bolívar señalaba que «como quiera que en la reunión preparatoria que celebramos para la constitución del Instituto [Nacional de Ciencias Físico-Naturales] se manifestó el deseo de que los establecimientos que venían a formarle lo hicieran con expreso consentimiento de sus jefes respectivos ²⁶, porque estos entendieran que así llenaban mejor la misión para que fueron creados, consentimiento que fue prestado por todos los que asistieron a aquella Junta entre los que se contaban los señores citados, como representantes del Museo Antropológico y del Jardín Botánico, he creído deber enterar a V. E. de este cambio de opinión de los señores mencionados, nacido seguramente del convencimiento adquirido posteriormente de que llenarán mejor su misión bajo otra dependencia, por si estima V. E. oportuno aclarar este asunto» ²⁷.

Cajal no perdió demasiado tiempo en intentar «aclarar el asunto». El 14 escribía a Manuel Antón en unos términos que no ocultaban su enfado ante la presumible doblez de sus colegas:

Mi distinguido amigo: Nuestro compañero Don Ignacio Bolívar me comunica que en una reunión celebrada recientemente por los Catedráticos de la Facultad de Ciencias indicó

²⁶ Esto se aplicaba únicamente a los centros ya existentes antes de crearse la Junta, y que por consiguiente no había creado ésta.

²⁷ Para entender mejor lo sensible que era Bolívar a la idea de vincular de nuevo el Museo que dirigía a la Universidad, hay que tener en cuenta la historia de dicho Museo; ver, en este sentido, *Ignacio Bolívar y las Ciencias Naturales en España* (Madrid 1921), libro homenaje publicado con ocasión de su jubilación, que ha sido reeditado en facsímil recientemente (Gomis, pres. 1988).

Vd. su opinión contraria a que el Museo de Antropología forme parte del Instituto de Ciencias físico-naturales.

Como ha sido siempre criterio de esta Junta que solo es posible una colaboración científica cuando se hace espontanea y voluntariamente y como por otra parte nadie mejor que el Director de un centro puede saber la más conveniente organización para obtener el máximo rendimiento, yo he de apresurarme a proponer que se emancipe el Museo de Antropología del Instituto de Ciencias físico-naturales si Vd. no me manifiesta su conformidad con la actual situación legal.

No le sentó bien la epístola cajaliana a Antón, quien en su contestación indicaba al célebre histólogo que «es la segunda vez que se me invita a dejar el expresado Instituto, sin motivo alguno bien ponderado. Ahora lo siento más porque viene de V., a quien yo tanto respeto y estimo ... La declaración que V. me exige ahora se hizo a su tiempo y debe constar en acta. Cuando sea menester rectificarla, se hará debidamente». De hecho, el Museo de Antropología no se separó de la JAE.

Gredilla, a quien Cajal también escribió, era menos equivoco en los términos de su respuesta (de 16 de noviembre): «estoy en el deber de manifestarle no solo mi sorpresa sino la gravedad que encierra la indicación hecha a Vd. por el Sr. Bolívar respecto a mi opinión contraria a que el Jardín Botánico forme parte del Instituto de ciencias físico naturales. Juzgo, por tanto, esencialísimo convoque Vd. cuanto antes al Instituto referido, pues deseo demostrar con claridad meridiana que mis deseos en esta cuestión responden a la situación legal que Vd. tanto invoca». La confusión, rumores y desmentidos, reinaban, como suele ocurrir con frecuencia en tiempos de conflictos.

Independientemente de la acción de los profesores de Ciencias Naturales y del problema concreto del Jardín Botánico y de los Museos de Ciencias Naturales y de Antropología, aunque sin olvidarlo, la JAE se movilizó por su cuenta; de hecho, yo no conozco ninguna otra ocasión en la que la Junta desplegara una actividad parecida, al menos dentro de los medios universitarios. Si nos atenemos a los documentos que se conservan en el Archivo de la JAE, Castillejo fue quien más se movió, escribiendo, por ejemplo, un buen número de cartas solicitando apoyo. Pero antes

de entrar en la dinámica de las actuaciones concretas, me detendré un momento en explicar cuales eran las ideas del secretario de la JAE. Para ello utilizaré un documento manuscrito de Castillejo depositado también en el Archivo de la Junta, que lleva por título «Sobre el monopolio universitario» y preparado sin duda en la época que ahora estamos considerando. En él, Castillejo mostraba con claridad su concepto de la faceta investigadora de la educación superior:

1º Si la Universidad pide medios de trabajo y facilidades y cierta autonomía, tiene razón.

2º Si pide el monopolio científico y que no se permita hacer nada fuera de ella, no la tiene ... [En] todas partes hay numerosos centros científicos y docentes fuera de la Universidad. Y en España mismo (igual que en Alemania y Francia) están fuera las escuelas de ingenieros, el Conservatorio y otros centros. Justamente esa noble competencia es la fuente del progreso científico, como el monopolio lo es del estancamiento.— Hay que dejar a cada organismo su personalidad y su dirección.

Cuando en Francia decaía la Sorbona en el siglo XVI fundó Francisco I el Colegio de Francia, y cuando volvió a decaer la Sorbona durante el segundo Imperio fundó Duruy la Escuela de estudios superiores (*Ecole des hautes études*). Establecidos el *Collège de France* y la *Ecole des hautes études* fuera de la Sorbona fueron pronto sus mejores aliados y hoy se nutren recíprocamente.

En el caso de que «la Universidad española rechaza[se] una vivificación interna», habría «que pensar que su decadencia es patente; pero si se quiere oponer a que otros organismos científicos vivan hay que pensar que su ruina está muy próxima». Sin embargo, Castillejo pensaba que, afortunadamente, no era este el caso, y para demostrarlo recurría a la reacción de la mayoría de los naturalistas españoles ante la propuesta de que el Museo de Ciencias volviese a depender de la Universidad:

Se ha hecho una exposición dirigida al Ministro pidiendo que el Museo de Ciencias siga como está, con su vida propia independiente, dentro del Instituto de ciencias físico-naturales.

Y esa exposición la firman, *con excepción de seis u ocho, todos los catedráticos de ciencias naturales de Universidades y de Institutos de España*. Nada puede haber más elocuente respecto a la voluntad de la Universidad y a la sinrazón con que este o el otro diputado o senador se atribuyen su representación.

Para el secretario de la Junta, el «Museo de Ciencias naturales debe ser, como es en otros países, Museo *nacional*, y por eso no cabe adscribirlo a ésta o la otra Facultad. Todas han de utilizarlo; a todas enviar sus colecciones; de todas recibir alumnos y consultas. Debe pues seguir como está. No hay sino ver que justamente desde que tiene este régimen empieza a desarrollarse, hace publicaciones, establece enseñanzas prácticas y fomenta los laboratorios».

Y otro tanto debía ocurrir con el Museo de Antropología y el Jardín Botánico:

El Museo de Antropología y el Jardín Botánico están agregados al Instituto nacional de ciencias físico-naturales por análogos motivos; pero principalmente *porque sus Directores manifestaron su conformidad con la agregación*. Nadie mejor que ellos conocerá la organización más conveniente.

Si ahora pensasen lo contrario, el Ministro debería inmediatamente segregar esos centros del Instituto.

No cabe colaboración científica sino cuando es espontánea y libremente querida.

Pero pasemos ahora a los movimientos concretos que se produjeron. En el Senado —que fue donde se intentó librar la «batalla» más importante en contra de la JAE— Castillejo encontró la ayuda de Elías Tormo, lo que no es extraño si tenemos en cuenta su vinculación al Centro de Estudios Históricos de la Junta, en donde dirigía la sección de Arte. El 3 de diciembre, Tormo contestaba a una carta de Castillejo contándole que el día anterior había tenido «ocasión de sacar la espada y algo más que la espada» en la Comisión de Presupuestos del Senado, «logrando que reaccionara hasta el Presidente, Calbetón, que comenzó por pedir las rebajas de lo aumentado en el Congreso [se supone que se refiere al Presupuesto para la JAE]». Pero el ambiente estaba

caldeado, y «cuando llegaron unos señores, fue ya con algunos de ellos con quienes tuve que gritar, y la cosa ya quedó en mucho mejor [forma?】».

No debió, de todas maneras, quedar muy seguro Tormo, ya que pedía a Castillejo que enviase información acerca de la JAE a unos cuantos senadores que enumeraba en su carta. Dos días después, anunciaba a Castillejo que «se da dictamen sin tocar nada de lo hecho por el Congreso en lo de la Junta de Ampliación de Estudios. Ello ha sido sin volver a hablar del caso, desde anteayer».

No pararon ahí las cosas, sin embargo. Inmediatamente, el 8 de diciembre, el presidente de la Junta, Ramón y Cajal, firmaba la siguiente carta ²⁸:

Muy señor mío: Me permito remitir a usted una exposición que algunos Catedráticos deseamos presentar al señor Ministro de Instrucción pública, a fin de solicitar las mejoras más urgentes en las Universidades y sostener, al mismo tiempo, la conveniencia de fomentar los demás Centros que, fuera de ellas, contribuyen al progreso científico, rechazando así cualquier idea de monopolio y exclusivismo en esta labor cultural donde deben colaborar todas las fuerzas del país.

Mucho le agradeceré que, si usted encuentra acertada la iniciativa y quiere honrarnos con su adhesión, se sirva devolverme firmada la hoja adjunta.

La «hoja adjunta» en cuestión pretendía, por supuesto, apoyar la idea a la que respondía la JAE, la de que era posible y deseable fomentar la investigación *fuera de la Universidad* (véase el punto 2º de la Exposición), pero tampoco descuidaba un tema que, como Vecino había advertido a Cabrera, Feliú y Muñoz del Castillo querían defender: el de la mejora de las remuneraciones del profesorado auxiliar, al que ahora se añadía el personal subalterno, material para laboratorios y administración académica, en un claro intento de ir más allá que ellos. Decía lo siguiente la mencionada Exposición:

²⁸ Al igual que la mayoría de los documentos que estoy manejando en esta sección, depositada en el Archivo de la JAE.

Excmo. Sr. Ministro de Instrucción pública y Bellas Artes:

Los Catedráticos de Universidad que suscriben, en vista de las manifestaciones hechas en el Parlamento y en la Prensa por algunos dignos compañeros, tienen el honor de exponer respetuosamente ante V. E.:

1.^º Que solicitan del Gobierno de S. M. mayor dotación en el material de las Universidades, mejora de las remuneraciones al Profesorado auxiliar y al personal subalterno, fomento de los Laboratorios y de los trabajos de investigación y más amplia libertad en el régimen económico y docente.

2.^º Que ven con la mayor simpatía la colaboración que, fuera de la Universidad, presten cualesquiera otros Centros científicos a la obra común de la cultura nacional.

Impresos figuraban los nombres de 57 catedráticos, entre los que se encontraban la flor y nata de la cultura nacional: Cajal, Gumersindo de Azcárate, Eduardo de Hinojosa, Julián Calleja, Miguel Asín Palacios, Teófilo Hernando, Ramón Menéndez Pidal, Amalio Gimeno, Manuel García Morente, Julián Besteiro, José Ortega y Gasset, Manuel Bartolomé Cossío, Adolfo González Posada, Elías Tormo, Antonio Flores de Lemus, Francisco Giner, Gustavo Pittaluga, Antonio Royo Villanova, Eduardo Hernández-Pacheco, José Casares Gil, José Rodríguez Carracido, Blas Lázaro e Ibiza, Blas Cabrera, Ignacio Bolívar, Odón de Buen, y el propio Castillejo.

De hecho, los dos documentos, la carta de Cajal solicitando adhesiones y la Exposición al ministro, ambos impresos, fueron enviados a otras personas (fundamentalmente catedráticos de universidades) por Castillejo. En la nota de éste, se advierte con mayor claridad, si cabe, que en el punto 2.^º de la Exposición, que la Junta perseguía con esta iniciativa dejar claro que su actividad «era tolerada» por la mayor parte de los medios académicos españoles:

Mi distinguido amigo: Me permito adjuntarle una copia de la Exposición que se va a elevar al Ministro de Instrucción pública para manifestar la concordia entre la Universidad y toda la obra científica que en diversos núcleos se hace fuera de

ella. Ahora se comienzan a recoger adhesiones. ¿Nos autoriza Vd. para que incluyamos su firma en dicha Exposición?

En los Archivos de la JAE se encuentra evidencia de que esas adhesiones solicitadas llegaron, efectivamente, en números importantes. Desde Valladolid, por ejemplo, Eduardo García del Real contestaba (el día 10):

Mi querido amigo: Adjunta devuelvo firmada la copia, que me ha enviado, de la exposición dirigida al Ministro.

En principio me parece muy simpática la campaña. ¿Y como no?, como dicen los americanos, llevando las firmas que lleva. Creo, sin embargo, que muchos de los auxiliares, los nuestros por ejemplo, verdaderos fósiles petrificados del terreno granítico, sin amor a la enseñanza, con envidia, odio y mala voluntad al catedrático, cuya obra, lejos de auxiliar combaten y estropean, más que recompensas y aumentos de sueldo, lo que merecen es que se les eche a la calle, y en su lugar se coloquen, temporalmente, por cinco años por ejemplo, antiguos alumnos, gente joven y entusiasta, que quiera trabajar y tenga amor a la enseñanza y cariño al profesor. Para estos, todo sueldo me parece poco; para aquellos (los que en la actualidad *disfrutamos*) cualquier aumento, por pequeño que sea, me parece excesivo.

Esto por lo que hace referencia al primer enunciado. El segundo me parece admirable, pensando en Madrid, en Barcelona y quizás en Valencia. Pero en las restantes Universidades, y por lo que hace referencia a Medicina ¿que otros centros científicos existen? En Valladolid no conozco ninguno y me temo que en las demás regiones tampoco existen. Desgraciadamente y a pesar de lo poco que hacemos, la cultura, y lo que es aún más grave, la moral médica en los centros universitarios está sostenida por un puñado de catedráticos (jóvenes en su mayoría); fuera de la Universidad no hay nada; si acaso mercantilismo, industrialismo, charlatanería y arte de explotar a los pobres enfermos.

No resisto la tentación de mencionar otra de las adhesiones recibidas, también desde la Universidad de Valladolid. El remitente principal era Enrique Suñer, quien manifestaba en su carta (de 11 de diciembre) a Castillejo que «le escribimos esta carta juntos

para remitirle los impresos que nos envió con las firmas que hemos podido recoger. Verá V. que en la hoja correspondiente a la Facultad de Medicina se han hecho algunos comentarios, que darán a V. idea de las resistencias con que hemos tropezado para recabar adhesiones. Con este motivo uno de nosotros (Suñer) quiere hacer constar que se adhiere a la solicitud de Vds. sin reservas de ningún género, pues consideramos que las notas añadidas por algunos compañeros no son procedentes ni tampoco congruentes con el sentido gramatical de la instancia». Justamente un cuarto de siglo más tarde, Suñer daba muestras de su facilidad para producir «adhesiones», en esta ocasión al nuevo régimen que pretendía imponerse en España, el de los «nacionales». En efecto, en 1937 Enrique Suñer (1937) publicó un libro, que no tiene desperdicio, titulado *Los intelectuales y la tragedia española*. El objetivo principal de esta obra era la Institución Libre de Enseñanza, pero, en la línea que vimos anteriormente, no se perdía la ocasión para denigrar a la JAE, ni a Castillejo, de quien, entre otras lindezas se decía ²⁹:

Así como las doctrinas de Carlos Marx tuvieron necesidad de esperar muchos años para encontrar en Lenín el hombre adecuado para ponerlas en práctica, del mismo modo los ideales pedagógicos de Giner hallaron, aunque infinitamente más pronto —eran de acción limitada— en Castillejo el agente que les diese realidad. ¡Y qué realidad más funesta para nosotros!

Poca memoria demostraba tener el doctor Suñer, cuando en 1937 se adjudicaba pasados comportamientos que la amistosa carta a Castillejo que acabamos de citar muestra no tenía por entonces. «Por la época en que se inauguraba la “Residencia” [esto es, *circa* 1914-1915] —escribía (p. 22) en *Los intelectuales y la tragedia española*— tuve ocasión de exponer a un virtuoso miembro de una de las más destacadas Órdenes religiosas el peligro que envolvía la novel creación de los institucionistas, broche, a mi entender, de una larga labor, casi cincuentenaria, en pro del ateísmo». Poco antes, sin embargo, no había dudado en

²⁹ Suñer (1937, p. 17).

ir más allá que algunos de sus colegas vallisoletanos en apoyo de la JAE, considerada en ciertos medios como institución claramente institucionista, y además lo hacía a requerimiento de su futuro demonio: José Castillejo. En el mejor de los casos, fue la suya una conversión enormemente rápida.

En total llegaron 51 adhesiones de la Universidad de Madrid (entre ellas las del médico José Gómez Ocaña y el matemático Cecilio Jiménez Rueda), 49 de la de Barcelona (el ingeniero, matemático y físico Esteban Terradas, por ejemplo, era uno de los nuevos firmantes), 37 de Granada (Obdulio Fernández, Guillermo García Valdecasas), 10 de Oviedo (Julio Rey Pastor, Federico de Onís), 18 de Salamanca (Miguel de Unamuno), 32 de Santiago de Compostela (Roberto Novoa Santos), 5 de Sevilla, 2 de Cádiz, 33 de Valencia, 20 de Valladolid (Eduardo García del Real) y 4 de Zaragoza. Un número indudablemente importante:

Para completar la presente historia, hay que señalar que el "otro bando", el de Feliú y Muñoz del Castillo, también produjo por las mismas fechas su propia «Exposición». En la introducción a este nuevo documento ³⁰, y tras mencionar las carencias que sufrían las Facultades de Ciencias españolas, se indicaba que de la Facultad de Zaragoza había partido la iniciativa de «fundir en un solo documento, que se había de elevar al Gobierno de S. M., las aspiraciones comunes a todas las Facultades; y con el permiso de las pasadas vacaciones, se invitó a cada una de las Facultades, a la designación de un Delegado por lo menos, que acudiese con los poderes e instrucciones oportunas y pertinentes, a constituir en Madrid una Asamblea de Catedráticos numerarios, para armonizar y unificar las diferentes opiniones posibles». Aparentemente la invitación fue aceptada por todos los decanos de las Facultades de Ciencias, celebrándose una Asamblea en Madrid entre el 16 y el 20 de diciembre. Como delegados asistieron: por Zaragoza, Paulino Savirón y José Álvarez Ude; por Salamanca, José Giral y Miguel Vegas; por Barcelona, Bartolomé Feliú y Cecilio Jiménez Rueda; por Granada, Pascual Nacher y Eduardo León; por Sevilla, Patricio Peñalver; por Oviedo, Julio Rey Pastor; por Valencia,

³⁰ Titulado *Exposición que las Facultades de Ciencias de España elevan al Sr. Ministro de Instrucción Pública*.

Paulino Savirón; por Cádiz y otras, Muñoz del Castillo; por Madrid, Manuel Antón, Faustino Archilla, Vicente Felipe Lavilla, Ignacio González Martí y José Gogorza, recibéndose además una adhesión de Santiago. Es curioso la alta proporción de matemáticos de cierta categoría: Vegas, Jiménez Rueda, Peñalver, Álvarez Ude y Rey Pastor; en particular, los dos últimos estarían muy vinculados a la JAE, a través del Laboratorio y Seminario Matemático³¹. Da asimismo que pensar el que Jiménez Rueda y Rey Pastor figurasen también, como hemos visto, entre los que se adhirieron a la Exposición encabezada por Cajal.

Las conclusiones a que llegó aquella Asamblea muestran con claridad que ésta se encontraba en el "bando opuesto" al de los que habían producido las declaraciones a que me referí antes. Los puntos clave en este sentido eran las conclusiones primera y sexta. En la primera se pedía «Que se restablezcan las antiguas relaciones entre las *enseñanzas* de la Facultad de Ciencias y el Observatorio Astronómico y Museo de Ciencias Naturales con sus derivados el Jardín Botánico y el Museo de Antropología, conforme a la Ley de Instrucción pública y al Real Decreto de 4 de Agosto de 1900», y en la sexta «Que la extensión universitaria, la creación de laboratorios para investigaciones científicas, y la adjudicación de pensiones para ampliación de estudios, sean funciones propias de la Universidad, que se ejercerán por las respectivas instituciones docentes de cada distrito universitario, mediante una distribución de fondos, proporcionada al número de éstas y al de sus alumnos».

No parece que esta Asamblea lograra mucho; en ningún caso, desde luego, logró movilizar un número de adhesiones comparable a los documentos preparados por la Junta y por los profesores de Ciencias Naturales. La JAE, por consiguiente, había sido capaz de parar el golpe, y además lo había hecho con cierta holgura. Habría, no obstante, más iniciativas en su contra. En 1918, por ejemplo, un grupo de catedráticos de la Universidad de Madrid pidió en 1918 al rector, Rafael Conde y Luque, que convocara un claustro extraordinario para que éste se pronunciara sobre si era

³¹ Rey Pastor ya había, de hecho, disfrutado de pensiones de la Junta en Alemania (sobre este punto ver Sánchez Ron 1990).

lícito que un catedrático participara en las actividades científicas de la Junta. Se trataba, ni más ni menos, que de solicitar del Gobierno la expulsión de los catedráticos que colaboraban en una institución docente del Estado, reservada, a juicio de los protestantes, a un grupo privilegiado. Al alegato de los enemigos de la Junta respondió Ramón y Cajal: «No se me ha borrado la imagen de aquella venerable figura» —escribiría más tarde Américo Castro (1918)— «se irguió digno, y con su voz de tono grave y con su inconfundible dejo de "mañico" aragonés, profirió serenamente razones de deliciosa ingenuidad, de niño acusado de faltas no cometidas: "Yo creo, señores, que no estamos haciendo nada malo en esta Junta; hacemos investigaciones científicas y nada más. No me parece que merezcamos ser expulsados de la Universidad por realizar fuera de ella tal clase de actividades"»³². Más del 60 por ciento de los catedráticos asistentes a aquel claustro votó en favor de la JAE.

Hubo también críticas de carácter más individual. Así, Adolfo Bonilla y San Martín, catedrático desde 1905 de Historia de la Filosofía en la Universidad de Madrid y discípulo predilecto de Menéndez Pelayo³³, señalaba en su discurso de apertura del curso 1914-1915 de la Central³⁴:

Muy bien fundados nos parecen esos organismos nuevos [la JAE en particular], que cumplen celosamente sus elevadas funciones. Nada decimos contra ellos. Respétense, siendo justos, los intereses creados; pero no se cierran los ojos ante esta realidad: *todas, absolutamente todas* las más importantes funciones que el Estado español, destructor (con los mejores propósitos) de la autonomía universitaria, olvidadizo impertinente de su historia, atribuye a los organismos primero citados, son ... esencialmente peculiares a la Universidad ... Así lo revelan los clamores de algunas Universidades de provincias contra la centralización de las pensiones en Madrid, así se ha hecho

³² Reproducido en Castro (1972, p. 94).

³³ Acerca de Bonilla, ver: Abellán (1989, sección 7 del cap. XII).

³⁴ Bonilla y San Martín (1914); citado en González Rodríguez (1988). En el capítulo 7 de esta última obra aparece la JAE a propósito de los debates que mantuvieron la derecha y la izquierda con relación a la autonomía universitaria.

notar por autorizadas voces en las Cortes (discurso del catedrático Sr. Bullón en la sesión del Congreso de 20 de noviembre de 1912), proclamando que todos esos organismos suprauniversitarios son innecesarios, y en cambio las Universidades están privadas de medios suficientes para sus trabajos científicos y de la amplitud de atribuciones que necesitan.

Al menos por sus manifestaciones, Bonilla no defendía la idea de que la Universidad disfrutase de ningún monopolio científico: «Sería pretensión absurda y a todas luces indefendible. Antes al contrario, hemos defendido que la enseñanza es función social y no política; que la libertad debe favorecerse hasta el extremo; que cada centro de cultura que la iniciativa particular establezca, representa un positivo adelantamiento en la vida nacional. Más aún, si la hacienda pública se halla en tan floreciente situación y el número de investigadores es tan copioso que el Estado puede fundar institutos análogos ... hará perfectamente en cerrarlos, si la iniciativa privada no se anticipó ... ¡Pero si la hacienda española es tan modesta! ¡Si es un mismo contribuyente el que ha de sostener y pagar estos organismos análogos! ¡Si son unos mismos los investigadores que en vez de investigar en un local lo hacen en otro!». Ante la situación real de la Universidad y la economía española, Bonilla concluía con unas palabras tras las que no podía sino vislumbrarse claramente la sombra de la JAE:

Cuando la Universidad cuente con tales elementos, bien puede mirar sin recelo la fundación por el mismo Estado de otros establecimientos destinados a idénticos fines. Cuando la Universidad es tan misérrima como las nuestras, semejantes actos han de provocar el asombro más justificado ... ¿Cómo explicar entonces semejante lujo de fundaciones siguiendo la universidad en el mismo estado de pobreza y siendo, sin embargo, *universitarios* los que entre nosotros van al frente de la cultura científica?

Otro ejemplo digno de ser mencionado es el discurso que Ignacio González Martí (1917), a quien ya nos encontramos en el episodio de 1912, pronunció al inaugurar la Sección de Ciencias

Físico-químicas del VI Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, celebrado en Sevilla en mayo. González Martí utilizó aquel discurso, titulado «Estado de la enseñanza de la Física en las Universidades de España», para volver a la carga contra la JAE, aunque hay que reconocer que, al igual que con el caso de las manifestaciones de Bonilla y San Martín, sus críticas eran comprensibles.

Perfectamente acertada hubiéramos encontrado la creación de la Junta —señalaba— si las Universidades, colocadas en las condiciones de aquélla, no diesen los mismos resultados, o si la capacidad productora de España en investigadores fuese suficiente, no sólo para llenar los laboratorios universitarios, sino para exigir otros destinados a las personas que, no deseando someterse a los planes docentes, estuvieran capacitadas para dedicarse a la investigación. Pero no hay nada de eso; no se hizo la prueba de lo primero y, en cuanto a lo segundo, la casi totalidad de los que investigan, o pertenecen al personal docente o son alumnos de las Universidades que, terminadas sus carreras, preparan tesis doctorales o memorias para oposiciones a cátedras, y en cualquiera de los dos casos debieran hacerlo lógicamente en los laboratorios donde se educaron, dando con ello nuevo brillo a su madre intelectual.

Para el catedrático de Física General de la Universidad Central, lo que se debería haber hecho era «intensificar la vida universitaria, dotando convenientemente los referidos laboratorios de locales y material: con este segundo procedimiento se hubiese conseguido atraer a ellos al profesorado y descentralizar la investigación que se haría posible en todas las universidades, no dándose el caso, no raro hoy por desgracia, de que individuos pensionados por la Junta y citados con elogio por los estudios realizados durante su pensión o más tarde en los centros de ella dependientes, olviden por completo sus tradiciones al ir de catedráticos a una provincia, donde pretenden luego disculpar su abandono por la carencia de medios adecuados a la prosecución de sus trabajos». En su opinión, «tal como ha sido creada la Junta constituye un agravio a la Universidad, a la que se declara impotente para obtener los resultados conseguidos por aquélla, y cabe pensar, antes de declarar

dicha impotencia, que si la segunda hubiera dispuesto de los medios de que la primera dispone, su estado no sería el que hoy es. El efecto externo, y nos alegraríamos de que así fuese, es dividir a los catedráticos en dos castas, los puramente universitarios, para los cuales son las desconfianzas y las economías de Estado, y los adeptos a la Junta, para los que toda independencia y prodigalidad parecen pocas. Una vez constituida la Junta de Ampliación de Estudios tenía necesidad de justificar la utilidad de su labor y la de los laboratorios que creara, y el instinto de conservación condujo al personal a éstos adscritos a descuidar el trabajo en los suyos de la Universidad y a atraer a todos los que manifestasen deseos de trabajar ofreciéndoles becas unas veces, protección otras y siempre las mayores facilidades que estuvieran en su mano para proporcionarles material y medios de realizar sus anhelos. Como las Universidades no podían hacer nada de esto, la casi totalidad de los que preparaban tesis doctorales o memorias para oposiciones a cátedras, abandonaron la madre que les crió y, como hijos desnaturalizados, contribuyeron a su decaimiento a la vez que aumentaban los prestigios del organismo nuevamente creado. ¿Es extraño, señores, que la Universidad mire con desconfianza y acaso con cierta hostilidad a esa Junta que hace cuantos esfuerzos puede por arrebatarse sus más preclaros hijos?».

Nos encontramos, en definitiva, ante una serie de argumentos que merecen seria consideración, y que en el caso concreto de González Martí se deben entender teniendo en cuenta los esfuerzos que derrochó en acondicionar de manera digna un laboratorio de Física General en la Facultad de Ciencias de la Universidad Central ³⁵. Yo no intentaré analizar aquí la justicia o injusticia de tales argumentos, y ello especialmente por un motivo: sería necesario pasar revista a todo el profesorado universitario español; solamente conociendo detalladamente tal "material" existente en las universidades podríamos evaluar si estos centros docentes hubieran podido aprovechar oportunidades como las que se le dieron a la JAE. De hecho, una opinión negativa se defendió en público poco tiempo después de las declaraciones realizadas por

³⁵ Acerca de González Martí, ver Rodríguez Mourelo (1931).

González Martí en el congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. En su discurso de inauguración del curso académico 1917-1918 en la Universidad de Valencia, y tras señalar los fines que guiaban a la JAE, el catedrático de la Facultad de Ciencias, Juan Antonio Izquierdo Gómez (1917), manifestaba lo siguiente:

Todos estos fines son exclusivamente universitarios, y a la Universidad compete realizarlos. A pesar de ello, dicha Junta especial, en su mayoría con elementos universitarios formada, posee una amplia autonomía económica, administrativa, científica y pedagógica, con dependencia directa del Ministerio del ramo; y es independiente de toda otra autoridad, incluso del Consejo de Instrucción pública.

Opino que esta Junta está bien creada; hora es ya de que contribuyamos con nuestra labor al progreso de las ciencias, y de que intentemos formar ciencia española, para dejar de ser constantes tributarios de la extranjera. También creo que esa Junta está bien constituida, y que cumple perfectamente sus altos fines. Y estoy convencido de que, si se hubiera constituido como un organismo universitario, que es lo que debería ser, no hubiera podido cumplirlos, y arrastraría la precaria vida que todas las instituciones universitarias arrastran. Pero es injusto que, al reconocer el Estado la necesidad de una autonomía amplia y completa, para que tenga eficacia la labor científica y pedagógica, no se haya decidido a ir orientando las reformas en la enseñanza superior en el sentido de ir concediendo gradualmente la organización autónoma, como en tantas ocasiones se ha demandado.

También en 1918 la Junta recibía otra crítica —relativamente moderada— que merece la pena comentar, ya que incidía en su, indudable, carácter centralista. Durante una de las sesiones, la del día 10, del Segundo Congreso Universitario Catalán, celebrado entre el 7 y el 14 de abril de 1918, se decidió enviar a la JAE, vía su presidente, un telegrama en el que se señalaba lo siguiente ³⁶:

³⁶ Archivo de la JAE. Citado en Laporta, Ruiz Miguel, Solana y Zapatero (1987). Sobre los Congresos Universitarios Catalanes ver Puig i Reixach, ed. (1977).

Barcelona 10 abril. Segundo Congreso universitario catalán felicita Junta designación nuestro presidente Pi Suñer [se refiere a su nombramiento como vocal de la Junta; JMSR]. Congreso, reconociendo meritísima labor Junta, espera transformación sentido descentralizador con motivo discusión próximos presupuestos, reparando injusticia Junta proteja exclusivamente sus centros, sus profesores, sus residencias y estudiantes, mientras Universidad de Barcelona tiene indotados seminarios y publicaciones que costean particularmente sus profesores, ha de menudigar becas a corporaciones y particulares generosos, exhausta para organizar casas estudiantes. Congreso clausurará domingo. Acogería agradablemente declaración explícita terminante esa ilustre Junta. Vicepresidente, Batista Roca.

La contestación de Cajal no se hizo esperar, y su interés hace que, a pesar de su extensión, merezca ser reproducida de manera completa (constituye al mismo tiempo una respuesta, parcial, a las críticas de González Martí mencionadas antes):

Madrid 12 de abril de 1918/ Sr. Vicepresidente del 2º Congreso Universitario Catalán./ Muy señor mío: Acabo de recibir el telegrama que en nombre de ese Congreso dirige Ud. a la Junta con cuya presidencia me honro. Daré cuenta con mucho gusto, en la primera reunión, de las indicaciones que el Congreso formula y estoy seguro de que merecerán atención especial y serán estudiadas con todo interés./ En la imposibilidad de que podamos tomar acuerdos antes de la clausura del Congreso universitario catalán, sólo cabe que corresponda a la invitación que se nos hace, consignando cual ha sido, hasta ahora, el criterio de la Junta y cuáles son mis aspiraciones personales.

En este punto, Cajal señalaba que la «función capital encomendada a la Junta, a la cual ha dedicado la porción más considerable de recursos, ha sido el envío de pensionados al extranjero. Las Memorias publicadas prueban que ha presidido en ese servicio un criterio ampliamente nacional, habiendo llegado el beneficio a los aspirantes más capacitados, sin tener para nada en cuenta la región de donde procedieran. El número considerable de pensionados de Cataluña indica la justicia que la Junta ha hecho a la

vitalidad de esas provincias». A pesar de todo esto, habían «rechazado siempre la idea del monopolio, de tal modo que hemos visto con gran complacencia cómo el Gobierno y el Parlamento han empezado a poner a disposición de las Universidades fondos para enviar pensionados. Y no dudamos de que esas y otras corporaciones podrían por ese medio contribuir a la cultura nacional y que el Gobierno, allí donde los primeros ensayos produzcan fruto, facilitará cada vez más recursos». En cuanto a la segunda de las funciones de la Junta —la creación de Laboratorios y de Residencias de Estudiantes— era «necesario proceder lentamente, atendiendo más bien a la intensidad de la obra que a la organización de muchas instituciones, y la Junta no podía por otra parte, iniciarlas sino estando antes segura de tener recursos y personal idóneo y conservando la dirección inmediata, ya que asumía la responsabilidad plena./ No es extraño, pues, que hayamos comenzado abriendo los primeros centros en Madrid, donde podíamos observar día por día los resultados y hacer directamente las rectificaciones que todo ensayo supone. Pero es seguro que, si contamos con la confianza del país y el beneplácito del gobierno, nuestra acción se extenderá a Cataluña y a las restantes provincias españolas tanto como lo consientan los medios materiales y las fuerzas espirituales de que dispongamos». Sin embargo, en opinión del premio Nobel español, «sería en mi opinión equivocado pensar que la Junta pueda ni deba ser el órgano único de esa función renovadora. No se avanzará mucho en ella si las Universidades, las provincias, los municipios, las corporaciones científicas y hasta las asociaciones privadas no toman cada una su parte en la inmensa tarea que tenemos delante y el gobierno olvida que debe apoyar esos múltiples esfuerzos autónomos en la medida en que uno ofrezca garantías de vitalidad y de éxito». Por último, sobre la última parte de su telegrama, Cajal no podía contestar, «porque es asunto de la competencia del gobierno y del Parlamento. La Junta no ha sido encargada nunca de facilitar recursos a las Universidades, ni yo creo que debamos serlo. Las Universidades, en mi opinión, deben tener sus fondos propios en cantidad bastante y gozar en su empleo de la autonomía que la alta función que les está encomendada requiere. No creo que la Junta aceptase misión alguna que fuera en menoscabo de esa autonomía

universitaria, la cual, claro está, no puede nunca tampoco significar monopolio; por lo cual las Universidades deberán ver con gusto la obra científica y educativa de cualesquiera otras corporaciones y organismos, como ocurre en todos los países./ De este modo es seguro que, bien la Universidad de Barcelona, bien un Comité local representando todas las fuerzas vivas de la región, bien esta Junta, eligiendo en todo caso de esas tres soluciones aquélla o aquéllas que más rápida y seguramente puedan causar el fin deseado, conseguirán dotar a Cataluña de los Laboratorios y los centros de educación que el Congreso anhela. Sólo deseo recalcar que, por nuestra parte, no iremos más deprisa de lo que permita el personal de cuya eficiencia podamos responder, factor esencial imposible de improvisar».

1.6. LAS PENSIONES

Referirse a la Junta para Ampliación de Estudios y no detenerse en su política de pensiones, constituye una grave limitación. Y en nuestro caso, además, una ironía, ya que, como veremos, el principal éxito científico de Catalán, que, de hecho, marcó su carrera científica —el descubrimiento de los multipletes—, surgió precisamente gracias a una pensión que la Junta le proporcionó para ampliar estudios en Londres. Veamos, por consiguiente, algunas de las características de esa política.

La JAE prestaba una atención especial a las pensiones, a las que consideraba una herramienta esencial para el desarrollo cultural y científico de España. Se concedían individualmente y en grupo, para trabajos dentro del país y para el extranjero. En general, las individuales no duraban más de un curso. Se solían prorrogar o volver a conceder al cabo de algún tiempo. En lo que a las pensiones en grupo se refiere, comenzaron a concederse en 1911. A partir de 1927 —coincidiendo con una R. O. de 26 de marzo, que establecía la necesidad de la aprobación ministerial para los viajes colectivos organizados por instituciones dependientes del Estado— no se volvieron a conceder más pensiones de este tipo, cuya duración, por otra parte, era menor (solían otorgarse para visitar centros docentes durante los meses de

verano). Respecto a la cuantía, no hubo muchas variaciones durante los 31 años que sobrevivió la Junta. No existían estipendios fijos, pero en general oscilaron entre 350 y 650 pesetas mensuales; para Europa solía ser de 350 pesetas hasta 1918 y de 425 a 450 hasta 1931, fecha en la que se elevó la cuantía a 600 ptas. en algunas ocasiones, manteniéndose la de 425 para otras. Respecto a Estados Unidos, se solía pagar 650 ptas. de pensión. Habida cuenta de que las cantidades que la Junta pagaba se hallaban grabadas por un impuesto del 12%, hay que concluir que las pensiones daban para poco más que una modesta estancia y mantenimiento, como prueban las cartas —especialmente durante el final de la Primera Guerra Mundial y los primeros años de la República (hasta que se autorizaron, en 1933 y 1934, los pagos en oro)— de algunos pensionados exponiendo las estrecheces que pasaban.

Las convocatorias solían hacerse públicas en febrero o marzo, mediante anuncio en la *Gaceta de Madrid*, donde se especificaba quiénes podían solicitarlas, las condiciones en caso de concesión y otras advertencias generales. Estas convocatorias cambiaron poco, con la salvedad de que entre 1922 y 1926 fueron excluidos explícitamente como aspirantes a pensionados quienes desempeñaran labor docente universitaria, porque en los Presupuestos del Estado se concedieron a las universidades consignaciones para enviar pensionados al extranjero. Con anterioridad a la convocatoria de pensiones, en los primeros meses de cada año académico, se hacían públicos los trabajos a realizar y cursos a seguir en los distintos centros de la JAE. En esos cursos se aspiraba a iniciar en alguna especialidad científica a los universitarios que hubieran terminado sus estudios en Facultades o Escuelas Superiores, y también a preparar a quienes pretendían ser pensionados en el extranjero. Las inscripciones eran gratuitas y los aspirantes seleccionados atendiendo a su preparación y al conocimiento de idiomas extranjeros.

A lo largo de los más de treinta años de existencia de la JAE fueron muchas las solicitudes de pensiones formuladas; más de 9.000. Menor fue, naturalmente, el número de pensiones concedidas, pero aún así fue significativo: unas dos mil personas se beneficiaron de ayudas de la Junta. De hecho, la proporción de

“personas solicitantes”/“pensiones concedidas” es mayor de lo que se puede pensar vistas las cifras anteriores, ya que de las 9.000 solicitudes, algo más de 3.000 fueron segundas, terceras o cuartas peticiones. Tenemos así, por consiguiente, que aproximadamente una de cada tres personas que, en un momento u otro, aspiraron a una pensión de la JAE la consiguieron ³⁷.

1.7. LA INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA EN LA JAE: EL INSTITUTO NACIONAL DE CIENCIAS FÍSICO-NATURALES

Al considerar la Exposición del Decreto Fundacional de la JAE vimos que, junto al servicio de ampliación de estudios dentro y fuera de España, se mencionaba explícitamente como uno de los fines que animaban a la Junta el de fomentar la investigación científica en todos los órdenes. En otras palabras, que se proponía intervenir de manera más completa en la política científica del país. Esto era, por otra parte, una necesidad si se quería obtener el máximo partido a las pensiones concedidas. En este sentido, en la *Memoria* del JAE correspondiente a los años 1914 y 1915 se lee (*Memoria* 1916, p. 157): «Se hace cada vez más importante la función de recoger a los pensionados que regresan del extranjero y ofrecerles medios de continuar en España sus trabajos. Y también la de evitar, mediante modestos auxilios, que vayan precipitadamente a ganar su sustento, en ocupaciones extrañas a su vocación, aquellos jóvenes que, por su cultura y sus dotes, pueden dar en otro lugar un mayor rendi-

³⁷ Durante 1907, el año de creación de la Junta, ya se solicitaron 206 pensiones; pronto este número aumentó significativamente: en 1910, 1911, 1912, 1913 y 1914 se recibieron, respectivamente, 359, 455, 468, 609 y 553 solicitudes. A partir de este momento la situación se estabilizó; con sólo dos excepciones (los años 1921 y 1922, 363 y 392 peticiones), a lo largo del período 1915-1931 no se superaron nunca las 270 solicitudes. Sin embargo, durante los últimos años de la Junta crecieron de forma importante las peticiones: 305 en 1932, 416 en 1933, 592 en 1934, 616 en 1935 y 483 en 1936. Una posible lectura de estos datos es que la labor de la Junta iba consolidándose, que en España se investigaba más. Estos datos (y otros muchos) están incluidos en un magnífico estudio (inédito) debido a Laporta, Ruiz Miguel, Zapatero y Solana (1980).

miento al país». Asimismo, el que la situación científica en España fuera mejor podía repercutir en que los pensionados saliesen «al extranjero con una preparación plenamente adecuada». No debe sorprender, por consiguiente, que la Junta interviniese en el apartado de la infraestructura necesaria para la investigación: en concreto, en la creación de centros de estudios y laboratorios. Los dos centros en torno a los cuales se vertebraron la mayor parte de los trabajos promovidos por la JAE fueron el Centro de Estudios Históricos, dedicado a las humanidades, y el Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales. Fue en este último en el que se encuadraba el Laboratorio de Investigaciones Físicas en el que trabajó Catalán.

El Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales fue creado oficialmente a través de un R. D. de 27 de mayo de 1910. Ramón y Cajal fue nombrado presidente y Blas Cabrera secretario. En la exposición preliminar de dicho decreto se declaraba que, existiendo una entidad oficial —la JAE— a quien los Gobiernos sucesivos venían encomendando el fomento de las investigaciones científicas, el servicio de pensiones con el mismo fin y la ampliación, especialización y aplicación de los estudios realizados en los diversos centros docentes, y existiendo por otra parte cierto número de museos y laboratorios que eran fundamentalmente instrumentos al servicio de idénticas funciones, convenía reunir y complementar esas actividades múltiples, sin que con tal conjunción se sacrificase la personalidad propia de esos organismos, ni se alterase la naturaleza de cada uno o se perturbasen sus respectivos funcionamientos. Los establecimientos ya existentes que la Junta incorporó al Instituto Nacional de Ciencias fueron: el Museo Nacional de Ciencias Naturales, Museo de Antropología, Jardín Botánico, Estación Biológica de Santander y el Laboratorio de Investigaciones Biológicas, que más tarde (1920) se convertiría en el Instituto Cajal³⁸. En cuanto a los nuevos laboratorios, centros o grupos, creados por la Junta, éstos fueron los siguientes: Laboratorio de Investigaciones Físicas, Estación Alpina de Biología del Guadarrama, Comisión de Investigaciones Paleontológicas y

³⁸ Ya nos hemos encontrado con algunos problemas que acarrearán estas incorporaciones.

Prehistóricas, Laboratorio y Seminario Matemático y los laboratorios de Química, Fisiología, Anatomía microscópica, Histología, Bacteriología y Serología de la Residencia de Estudiantes. Desgraciadamente, me llevaría demasiado lejos entrar en la historia de estos centros, una historia que, de hecho, está todavía por escribir en muchos casos. Mi objetivo es, únicamente, el Laboratorio de Investigaciones Físicas y su sucesor, el Instituto Nacional de Física y Química. Pero antes de analizar los grandes rasgos de la estructura del primero, quiero ocuparme de un tema más general y que sirve para apreciar mejor lo que representó el Laboratorio de la JAE: el de la enseñanza experimental de la física y los laboratorios relacionados con esta disciplina existentes (fundamentalmente en Madrid) antes y durante la época de la Junta.

1.8. FÍSICA EXPERIMENTAL EN LAS FACULTADES DE CIENCIAS

Se puede decir, aunque habría que efectuar algunas precisiones, que los Gabinetes de Física aparecen de manera más o menos "generalizada" en las universidades españolas en 1846, como consecuencia del denominado Plan Pidal, aprobado un año antes, en 1845³⁹. De la situación material en que se encontraban hasta entonces las universidades españolas, dan buena idea los párrafos siguientes, debidos a Gil de Zárate (1855, tomo II, p. 317 y ss.), director de Instrucción Pública con el ministro (de Fomento) Pidal:

Principiando por los edificios, ... se hallaban derruidos y en un estado que acusaba la incuria, así del Gobierno como de los inmediatamente encargados de su conservación. Las aulas eran oscuras, sucias y sin el necesario mobiliario, o hallábase éste tan maltratado, que daba rubor el verlo. Si la fachada de alguno de esos edificios inspiraba admiración y respeto por su belleza arquitectónica, el entusiasmo se trocaba en vergonzoso senti-

³⁹ Sobre el Plan Pidal, ver Moreno González (1988 a y b). Acerca de otros puntos tratados en esta sección, consultar también Izquierdo Gómez (1917).

miento cuando, al entrar en ellos, todo ofrecía el aspecto de la miseria y del abandono. A más de esto, veíase que los mismos fundadores cuidaron más de la ostentación exterior que de las verdaderas necesidades de la enseñanza, pues aunque solían verse espaciosos generales y anchurosos teatros o paraninfos, en ninguna parte existían los departamentos que exige el cultivo de las ciencias, ni aun el número de aulas necesario para una educación varía y extensa, cual en el día debe darse.

Tras esta «Introducción» de carácter general, Gil de Zárate pasaba al tema que a nosotros más nos interesa ahora:

Aun menos había que buscar en tales establecimientos esa riqueza de aparatos y colecciones que forma el ornato de las escuelas donde se tributa culto a las ciencias de observación. Despreciadas estas ciencias, o más bien proscritas, ni aun como objetos de mera curiosidad eran buscados por aquellos a quienes bastaba para enseñar el púlpito y bancos, que con poca seguridad sustentaban a discípulos y maestros. Si en alguna parte se encontraba un imán tosco y mal montado, una antigua máquina neumática inservible, u otra eléctrica sin disco, hallábase arrinconado tan inútil aparato como trasto viejo y despreciable. Sólo alguna que otra Universidad, en los últimos años y merced al celo de jóvenes rectores, había empezado a adquirir los instrumentos más preciosos; pero, la mayor parte, ni rastro tenían de ellos; y en ninguna había que pedir gabinetes regulares de Física, laboratorios, ni menos colecciones de Historia natural. En cuanto a jardines botánicos, sólo existía uno en la de Valencia, además del fundado por Carlos III en Madrid, con los de Barcelona, Cádiz y algún otro, no pertenecientes a Universidad.

Para intentar remediar esta deplorable situación, y dotar a las cátedras de Física y Química de las Facultades de Filosofía ⁴⁰, Medicina y Farmacia, se nombró una Comisión que redactó una Memoria, donde se especificaba el número y condición de los instrumentos que se debían adquirir, cifrándose la inversión

⁴⁰ Recuérdese que hasta 1857 no se crearían las Facultades de Ciencias. Hasta entonces era la Facultad de Filosofía la que albergaba los estudios de Ciencias.

necesaria en 621.028 reales.⁴¹ Con estos antecedentes, Gil de Zárate, acompañado por el profesor de Física Juan Chavarri, se trasladó en 1845 a París, donde, asesorados ambos por el famoso científico menorquín Mateo Orfila, a la sazón decano de la Facultad de Medicina de la Sorbona⁴², recorrieron los establecimientos de instrumentos científicos más renombrados, adquiriendo material por valor de 45.000 duros, material que quedó distribuido en once Gabinetes de Física⁴³.

Esta iniciativa y la generosidad con que el Estado contribuyó a ella, no tuvieron continuidad. A pesar de que las exigencias de la ciencia (de la física en especial) iban creciendo, de que el número de enseñanzas experimentales aumentaba en virtud de sucesivas reformas, y de que el material científico adquirido en 1845 necesitaba ser renovado, en los presupuestos del Estado no se incluía ningún apartado para estos fines. Entre las causas en que se apoyaba, ya en 1875, Gumersindo Vicuña (1875) para proclamar el «gran atraso en que se halla el cultivo de la Física en España comparada con el de otras ciencias», figuraba el que «la experimentación está reducida a aparatos sencillísimos, que la mayor parte se muestran tan sólo a los alumnos, si es que no están desvencijados y rotos. Instrumentos delicados y de precio, artefactos destinados a probar relaciones naturales complejas, no existen en nuestros gabinetes, o si hay alguno se manejan pocas veces».

Las necesidades llegaron a ser tan apremiantes y evidentes que en 1877 el Ministerio dictó una disposición creando unos derechos académicos que los alumnos abonaban al hacer la matrícula, y cuya cantidad, administrada por los Claustros, servía, o, mejor, debería haber servido, para adquirir instrumental. Esta

⁴¹ En Madrid, un catedrático de Universidad de los primeros puestos del escalafón podía llegar a tener un sueldo de 30.000 reales (*cf.* Moreno González 1988 b).

⁴² Orfila obtuvo en 1823 la cátedra de Medicina legal de la Facultad de Medicina de la Universidad de París. Poco después pasó a ocupar la cátedra de Química y en 1831 fue nombrado decano de su Facultad, cargo que ocupó hasta 1848.

⁴³ Ver Real Orden (1847).

innovación duró unos cuatro años, al cabo de los cuales el Estado se incautó de estos derechos para atender al aumento que en el presupuesto de Instrucción Pública había originado la reforma del escalafón de catedráticos. Ciertamente es que se incluyó, como compensación, una partida fija en los presupuestos, pero, como señalaba en el ya citado discurso de apertura del curso 1917-18 Juan Antonio Izquierdo Gómez (1917), tal partida era «de una cuantía verdaderamente vergonzosa y ... se ha conservado hasta el correspondiente [presupuesto] al año 1915, que es el vigente hoy, en los que aparece involucrada con el correspondiente al sostenimiento y conservación del edificio de la Universidad, que equivale a decir que ha desaparecido virtualmente de los presupuestos; ya que las también urgentes obras de conservación absorben generalmente toda la cantidad consignada».

En el año 1900 se crearon los derechos llamados de prácticas, que abonaban como aumento de matrícula los alumnos que cursaban las asignaturas con ejercicios prácticos de laboratorio. El mismo Izquierdo Gómez (1917) declaraba que esta «es la única dotación fija con que hoy contamos para las enseñanzas experimentales y que apenas sería suficiente para los gastos de mantenimiento de los laboratorios, si se verificaran los trabajos prácticos con la intensidad que es debida».

A estas cantidades hay que añadir, a partir de 1911, las provenientes del Instituto de Material Científico, creado en aquel año (R. O. de 17/3). No obstante constituir una aportación bienvenida, las cantidades que manejaba esta institución (250.000 pesetas para todas las universidades) no permitían muchas alegrías.

Tal era la situación en España referente a la enseñanza experimental de la física a comienzos de nuestro siglo, más o menos cuando se creó la JAE. Sobre este escenario, pasemos a continuación a tratar los centros de investigación, análisis o enseñanza experimental que existían en Madrid, relacionados, más o menos directamente, con las ciencias físico-químicas, en la época en que se estableció el Laboratorio de Investigaciones Físicas.

1.9. LABORATORIOS DE FÍSICA EN MADRID

Somos afortunados en este sentido al disponer de un librito que la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias preparó con ocasión del Congreso que tuvo lugar en 1913 en Madrid: *Reseña de los principales establecimientos científicos y laboratorios de investigación de Madrid* (Reseña 1913).

Según esta publicación, dentro del campo de las ciencias físico-químicas existían en Madrid en 1913, esto es, poco más o menos en la época en que la JAE creó (1910) el Laboratorio de Investigaciones Físicas, los siguientes centros ⁴⁴:

1) «Laboratorio del material de ingenieros».

Fundado en 1899, este centro dependía del Ministerio de la Guerra y se ocupaba de los servicios encomendados al Cuerpo de Ingenieros del Ejército —que no tenían relación inmediata con el personal de oficiales y tropa— y especialmente, de los relativos a obras y edificaciones. Su principal misión era el examen técnico de los materiales destinados a tales obras (determinación de constantes específicas o características de materiales; coleccionar cuantos datos de índole técnica y económica pudiera ser conveniente conocer respecto a los materiales de construcción aplicables a obras de carácter militar; llevar a cabo las experiencias necesarias para comprobar la calidad de materiales; construcción de cebos y mechas para las tropas de zapadores minadores, y de cohetes y petardos para señales en las vías férreas; estudios de explosivos y de los efectos de éstos sobre blindajes y mamposterías). También atendía a servicios solicitados por particulares.

El laboratorio se componía de un edificio central con plantas de sótano, baja, principal y segunda; de dos galerías de máquinas, talleres, pabellón destinado a la producción de energía eléctrica para todos los usos del laboratorio y otros dos con destino a almacenes.

⁴⁴ No incluye aquéllos que aunque se ocupaban de estudios químicos, estaban dedicados principalmente a cuestiones médicas; por ejemplo, el Laboratorio Central de Medicamentos de Sanidad Militar, el Laboratorio Municipal de Madrid, o el Instituto de Higiene Militar.

2) «Laboratorio químico industrial y docente» de la Escuela de Ingenieros de Minas.

Comprendía tres secciones, dedicadas a: (a) enseñanza; (b) ejecutar los ensayos y análisis de sustancias minerales y aguas que solicitasen otras dependencias del Estado, o particulares y sociedades mineras; (c) análisis especiales e investigaciones científicas.

La primera sección se limitaba a la enseñanza de la química analítica. La segunda funcionaba también bajo la dirección del profesor de esta materia, de quién dependían cuatro ingenieros de minas. Se ocupaban éstos de ensayos docimásticos ⁴⁵ de combustibles sólidos, pruebas de resistencia de cementos y otros materiales de construcción, ensayos y análisis por vía húmeda de toda clase de sustancias minerales, aguas potables y minerales, y análisis y destilación de combustibles líquidos. Para todas estas tareas la sección disponía de salas de balanzas, de hornos, de calorimetría, de ensayos mecánicos, de volumetría, de electrólisis y de preparaciones por vía húmeda, más cuatro almacenes de materiales y reactivos, y una biblioteca.

La tercera sección, dirigida por el ingeniero y académico de Ciencias (desde 1908) Enrique Hauser, se ocupaba de la investigación y análisis de metales raros y de toda clase de gases y mezclas gaseosas, teniendo verdadera importancia industrial por sus relaciones con la Comisión del grisú, la sección destinada a grisimetría y pruebas de aparatos de alumbrado y salvamento de minas ⁴⁶. Los locales de que disponía eran salas de preparaciones, ensayos gaseosos y microscópicos, grisimetría, fábrica de aire líquido, museo de aparatos, despacho y biblioteca, y un pabellón para ensayos y pruebas de resistencia de lámparas de seguridad en atmósferas con gases inflamables.

⁴⁵ De *docimasia*: arte de ensayar sustancias para determinar los minerales que contienen.

⁴⁶ Hauser desarrolló un grisúmetro, cuya aceptación por los laboratorios de ensayos grisumétricos de las minas de hulla de España, con preferencia a los usados en el extranjero, constituyó un éxito.

3) «Laboratorio de Electricidad» de la Escuela de Ingenieros de Minas.

Estaba dividido en dos partes: laboratorio de electrometría y taller de ensayos de máquinas eléctricas, que correspondían a los dos cursos dedicados a la electricidad existentes en el programa de estudios de la Escuela.

El laboratorio de electrometría comprendía tres salas grandes (una reservada para profesores y las dos restantes para los estudiantes, pudiendo trabajar en cada una de ellas entre ocho y diez alumnos), además de otras tres dependencias más pequeñas destinadas a fotografía, fotometría y batería de acumuladores. Es interesante señalar que entre los estudios que se efectuaban en este laboratorio figuraba el de las descargas eléctricas en aire y medios enrarecidos, para los cuales se disponía de una máquina electrostática de Wimshurt, un carrito Ruhmkorff de veinte centímetros de chispa y varios tubos Geissler y Röntgen.

El taller de ensayos de máquinas eléctricas ocupaba un edificio independiente, inmediato a la Escuela. Contaba con varias dinamos, movidas con motor de vapor unas, y con motor de gas (sistema Letome) otras, un motor generador, que transformaba la corriente continua de 220 voltios recibida en corriente trifásica, a 50 períodos con 200 voltios, y un transformador de 1 Kw. El propósito fundamental de este taller era instruir a los alumnos, especialmente en el trazado de curvas características de máquinas.

4) «Taller de precisión, laboratorio y centro electrotécnico de Artillería».

Establecido en 1896, inicialmente tenía como función principal, como taller de precisión, la construcción, conservación y uso de los patrones-tipo necesarios para obtener la debida igualdad en las medidas empleadas en las fábricas a cargo del Cuerpo de Artillería, además de la fabricación y contraste del plantillaje de las mismas, y como laboratorio químico, el estudio de la composición, fabricación y conservación de explosivos, procedentes tanto del Estado como de particulares. Posteriormente, en 1900, se le agregó el cometido de la construcción y recomposición de instrumentos y aparatos telemétricos y eléctricos, además de las pruebas mecánicas de los materiales empleados en las fábricas del Cuerpo.

Finalmente, en 1904 se le sumó la centralización de los estudios, pruebas y ensayos referentes a la electrotecnia en todas sus aplicaciones al servicio de Artillería.

Todos estos servicios se hallaban repartidos en dos grupos de tres secciones cada uno: (a.1) central eléctrica taller de reparaciones, gabinete de medidas eléctricas, (a.2) laboratorio químico, (a.3) gabinete de fototecnia; (b.1) gabinete de metrología y taller de graduaciones, (b.2) taller mecánico, (b.3) laboratorio de pruebas mecánicas.

5) «Observatorio Astronómico».

Este centro, que todavía existe en el parque del Retiro, comprendía varios edificios e instalaciones para los servicios astronómicos y metereológicos y vivienda de astrónomos. El edificio principal contenía un círculo meridiano, péndulos de precisión, biblioteca y oficinas. En el pabellón de viviendas se encontraba una torre que albergaba la ecuatorial de mayor precisión del observatorio, del constructor Merz, adquirida en 1858. Otras dependencias contenían heliómetros, ecuatoriales, pirheliómetros, laboratorio fotográfico, espectroheliógrafo, así como otros instrumentos típicos de un observatorio ⁴⁷.

6) «Observatorio Central Metereológico».

Hasta 1906 los estudios climatológicos correspondientes a España estaban encomendados al Observatorio Astronómico, pero aquel año, y a semejanza de lo que se hacía en otras naciones, el director del Instituto Geográfico separó por completo los estudios astronómicos de los metereológicos, encargando estos últimos al Instituto Central Meteorológico, que en 1911 pasó a denominarse Observatorio Central Metereológico. Los trabajos de este Observatorio eran los típicos de una estación metereológica central: recogida, análisis y difusión de datos remitidos diariamente por estaciones locales, estaciones que él mismo regulaba; estudio de instrumentos utilizados en las distintas estaciones, comparándolos con los que poseía el Observatorio; observaciones metereológicas propias, y determinación de corrientes atmosféricas, hasta una

⁴⁷ Acerca del Observatorio de Madrid, consultar Tinoco (1951).

altura de 5 ó 6 kilómetros, para lo cual lanzaba diariamente globos pilotos, que se seguían con el teodolito.

7) «Laboratorio central para ensayos de materiales de construcción» de la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Creado en 1898, ocupaba la planta de sótanos de la Escuela de Caminos, incluyendo sus dos patios, que habían sido cubiertos para poder instalar en ellos las máquinas principales (también se construyeron en el jardín algunos pabellones para colocar lo que no cabía en el edificio). Su función principal era la de satisfacer las necesidades de la enseñanza y de la investigación en cuanto estuviese relacionado con obras; esto es, con el conocimiento de las condiciones, resistencia, etcétera, de los materiales que se utilizan en ellas. Con este fin se realizaban estudios que se agrupaban en cuatro categorías: físicos, químicos, mecánicos y eléctricos. Dentro del primer grupo estaba comprendida la determinación de densidades y pesos específicos, fotometría y micro-metría, dureza, desgaste, heladicidad, permeabilidad y porosidad de materiales, y potencia calorífica de combustibles. En el segundo grupo se realizaban análisis químicos de toda clase de materiales de construcción (piedras, aglomerantes, aguas, metales, carbones, asfaltos, pinturas). El tercer grupo incluía los ensayos por contracción, compresión, flexión y torsión de materiales de construcción. Esencialmente lo que se buscaba es poder determinar los coeficientes de resistencia, instantánea y permanente, coeficientes y límites de elasticidad, alargamientos proporcionales y estricciones relativas. El grupo de ensayos eléctricos comprendía, entre otros, el estudio de la resistencia de los conductores, tensión admisible para los aisladores, propiedades magnéticas de los hierros, comprobación de toda clase de aparatos de medida y fuerzas electromotrices de pilas primarias o secundarias.

8) «Centro de ensayos de aeronáutica y Laboratorio de Automática» (ambos situados en el Palacio de la Industria y de las Artes, en donde también se encontraba el Laboratorio de Investigaciones Físicas).

El Centro de ensayos de aeronáutica fue creado por una R. O.

de enero de 1904, «para la realización de los ensayos de los aparatos de navegación aérea y para dirigir las maniobras de motores a distancia, inventados por el Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos D. Leonardo Torres Quevedo».

Tal y como se planeó al crearse, en este centro Torres Quevedo consiguió dar solución al problema de motores a distancia por medio de su célebre telekino (las primeras pruebas fueron realizadas con un triciclo en un frontón de Madrid y con un bote en la Casa de Campo y en el puerto de Bilbao).

Tres años después del establecimiento del Centro de ensayos de aeronáutica, se dispuso la creación, anejo a él, de un Laboratorio de Mecánica aplicada, que en 1911 cambió su nombre por el de Laboratorio de Automática. Las funciones de este nuevo departamento eran, por un lado atender a las necesidades del Centro de Aeronáutica, y por otro, dedicarse al estudio y construcción de máquinas y aparatos científicos para diversas aplicaciones industriales, así como para la enseñanza. Naturalmente, los intereses de Torres Quevedo condicionaban fuertemente los trabajos realizados. Así, nos encontramos con que se llevaron a cabo trabajos sobre máquinas algébricas (por ejemplo, una máquina para la resolución de ecuaciones algébricas de cualquier grado; también se construyó el famoso autómatas jugador de ajedrez).

9) Laboratorios de la Escuela de ingenieros de Montes.

Los laboratorios y gabinetes, dedicados casi exclusivamente a la enseñanza, de esta Escuela eran los siguientes:

«Química». Con capacidad para 25 alumnos, disponía de instalación completa de electricidad y acetileno, vitrina para manipulaciones de gases nocivos, estufas eléctricas para cultivo de bacterias y material para análisis de tierras, abonos, cenizas, cortezas, resinas y otros productos forestales.

«Electrotecnia y Mecánica e Hidráulica». Constaba de un motor de gasolina y máquinas de vapor, una dinamo y batería de acumuladores, modelos de mecanismos, sierras mecánicas, bombas ruedas, aparatos hidráulicos y turbinas, así como distintos aparatos de demostración.

«Topografía y geodesia». Contaba con una buena colección de aparatos de planimetría y altimetría (brújulas, teodolitos, taquímetros, etcétera).

10) «Instituto de Radiactividad».

Este centro, dirigido por José Muñoz del Castillo, con quien ya nos encontramos, inició su andadura en 1903, con el nombre de «Laboratorio de Radiactividad» (en 1911 pasó a denominarse «Instituto de Radiactividad»). Fue el pionero en España en lo que a la tarea de establecer el mapa de la radiactividad mineral e hidromineral español se refiere, una función ésta que dominó los trabajos de la institución durante toda su existencia. Poco o nada del tipo de investigaciones radiactivas que físicos o químicos como Rutherford o Soddy llevaban a cabo, se realizaron en el centro de Muñoz del Castillo.

En 1913 contaba con las siguientes secciones: Radiofísica, Radioquímica, Radiogea y Radiocosmia (dedicada principalmente a la geología y mineralogía radiactivas y a los procedimientos naturales de activación de los terrenos, rocas, líquidos y gases que forman parte de la corteza terrestre y de la atmósfera), y Radiobiología (que incluía un pequeño campo de abonos radiactivos).

Desde 1909 el Instituto editaba el *Boletín del Laboratorio de Radiactividad*.

11) Laboratorios de Química de la Facultad de Farmacia.

Incluían un Museo farmacológico y laboratorios de Técnica física, Mineralogía, Farmacología, Química inorgánica, Farmacéutica vegetal, Química orgánica, Análisis químico, Farmacia práctica, Química biológica y Microbiología. Casi en su totalidad se limitaban a una habitación por laboratorio, con escasos y malos medios (recordemos las manifestaciones de Carracido citadas con anterioridad). Como sabemos, en algún caso —el laboratorio de Carracido— mejoraron con la ayuda de la JAE.

12) Gabinetes de la Escuela Industrial.

Se trataba de un gabinete de Física, otro Fotométrico y de medidas eléctricas, dos laboratorios de Química y un laboratorio

de Electrotecnia. Por lo que sabemos, de lo que más disponía era de motores (de vapor, hidráulicos, de gasolina).

13) «Laboratorios de Química y de Electrotecnia» de la Escuela de Ingenieros Agrónomos.

Destinados a servir de apoyo, cuando fuese necesario, a las enseñanzas típicas de la Escuela.

Y por último

14) «Laboratorios y cátedra de Física» de la Facultad de Ciencias de la Universidad.

Los laboratorios de Física de la Facultad de Ciencias, en los que el director del Laboratorio de Investigaciones Físicas, Blas Cabrera, trabajó durante algún tiempo (como estudiante y, en el de Física general de González Martí, como doctor), estaban instalados en un pabellón construido en el jardín de la Universidad (en la calle San Bernardo). Por su relación con el mundo académico e investigador, me detendré más en ellos que lo que he hecho en los casos anteriores.

Constaban de cuatro departamentos: dos destinados a laboratorios y dos de servicio común a todos. Los primeros eran los de Física general, Termología, Electricidad y Magnetismo y Acústica y Óptica, y los segundos, el taller de mecánica de la Facultad y la cámara oscura para las operaciones de fotografía. De superficie demasiado pequeña para los trabajos que se suponía se debían realizar en ellos, las condiciones de temperatura y la estabilidad de los pisos de todas las dependencias dejaban mucho que desear ⁴⁸.

El laboratorio de Física general consistía de un salón de 100 m² de superficie, dividido en dos departamentos por un tabique de 1,50 m. de altura. Al ser (al igual que los tres restantes) en

⁴⁸ El exceso de ventanas y el poco espesor de los muros hacían que las oscilaciones termométricas fuesen muy grandes en todas las estaciones. La circunstancia de estar asentados los pisos sobre vigas de gran longitud, producía vibraciones tan marcadas que impedían la instalación de aparatos que requiriesen firmeza y estabilidad (no obstante, al estar los laboratorios en la planta baja se pudieron instalar pilares con cimentación propia).

primer término un laboratorio de enseñanza, y sólo en segundo de investigación, abundaban los instrumentos para las prácticas de los alumnos, por ejemplo, balanzas (también existía una de mayor precisión para las investigaciones del personal docente). Otros aparatos del laboratorio eran: una máquina de dividir, un catetómetro de precisión media, un cronógrafo con movimiento regular eléctrico. Merece la pena destacar que existían medios para alcanzar todos los grados de vacío, con trompa de agua, máquina neumática de aceite y trompa de mercurio automática.

El laboratorio de Termología era más pequeño, tenía 40 m². Estaba dotado de un catetómetro de dos anteojos de gran precisión y cuatro balanzas de distintas capacidades y sensibilidades soportadas por pilares, y de servicio de vacío producido mediante bomba de agua.

De idénticas condiciones que el anterior era el laboratorio de Electricidad y Magnetismo. Estaba provisto de material de medidas eléctricas y magnéticas de precisión, así como del menos exacto y más resistente que exigía la enseñanza práctica; en él se hallaba un cuadro regulador de las corrientes eléctricas procedentes del circuito industrial, dos baterías de acumuladores, de diez elementos la una y cien la otra, y un conmutador suizo para la distribución de estas diferentes corrientes a los demás laboratorios.

El laboratorio de Acústica y Óptica se encontraba situado en el piso primero del pabellón, lo que le permitía recibir mejor iluminación natural. Estaba dividido en dos departamentos, uno de los cuales constituía una cámara oscura. Como material más importante de este laboratorio deben citarse varios goniómetros, espectroscopios y espectrógrafos, un banco de óptica, un polarímetro, cámaras fotográficas y los de acústica de uso corriente en la enseñanza práctica.

Próximo al pabellón de laboratorios, y unido a él mediante un paso cubierto, se encontraba el gabinete donde se conservaba el material de experimentos de cátedra, y a continuación el aula (con capacidad para 200 estudiantes) donde se daba la enseñanza oral de la Física general.

Aunque apretado y sin duda incompleto, este repaso de las facilidades experimentales con que contaba Madrid hacia 1913, ciertamente mejores que una o dos décadas antes, nos permite

concluir que la investigación en física y química *puras* (si se permite emplear un término tan conflictivo como «ciencia pura») era limitada. La orientación primordial de las instalaciones existentes iba claramente en la dirección de lo aplicado, de la técnica, de los ensayos de comprobación. La cultura que subyacía detrás de toda aquella infraestructura de laboratorios y gabinetes, era una cultura lejana a los intereses de la ciencia tal y como se practicaba en por entonces tantos y tantos centros de naciones como Alemania, Gran Bretaña y Francia; era la cultura de las escuelas de ingenieros, de departamentos de ensayos del Ejército, de la construcción, de la electrotecnia.

1.10. LA ASOCIACIÓN DE LABORATORIOS

La insatisfactoria situación en que se encontraban en España los estudios experimentales a comienzos de siglo, dio lugar a algunas iniciativas. Una particularmente interesante, en la que el Laboratorio de Investigaciones Físicas participó, fue la de la creación de un Centro de Estudios Experimentales o, como se vino en denominar finalmente, Asociación de Laboratorios.

El 2 de enero de 1909 Leonardo Torres Quevedo se dirigió a la «Comisión Directiva» de la JAE en los siguientes términos ⁴⁹:

Cumpliendo el encargo que —a petición mía— recibí de la Comisión directiva ... consulté con los señores Bolívar, Carracido y Cabrera acerca de las condiciones o modificaciones que convendría introducir en mi proyecto de fundar una asociación de talleres y laboratorios del Estado, que se ocupe principalmente en construir material científico y facilitar medios de realizar aquellos estudios experimentales que se juzguen de interés para el progreso de la Ciencia.

Y, de acuerdo con estos tres señores, presento a la Comisión el adjunto proyecto acerca del asunto, para que —si lo estima conveniente— lo someta a la aprobación de la Junta.

⁴⁹ Los documentos utilizados en esta sección también proceden del Archivo de la JAE. Recordemos que Torres Quevedo era vocal de la Junta.

El proyecto en cuestión comenzaba haciendo notar lo importante que era para la «cultura española remover los obstáculos que la escasez de elementos materiales y la falta de medio ambiente oponen en nuestro país al desarrollo de los estudios experimentales». Para contribuir a remediar semejante mal, Torres Quevedo proponía que «la Junta crease «un «Centro para el fomento de la investigación científica», al cual podrá asociarse toda persona que esté encargada de un taller o laboratorio del Estado. Este Centro se ocupará de construir y conservar el material de enseñanza y laboratorio y facilitará medios de realizar aquellos experimentos que a su juicio sean de verdadero interés científico». En particular, se consideraba que la principal misión del Centro sería la de construir, buscando las ayudas oportunas, aquellos aparatos que «por su novedad, por su complicación o por cualquier otro motivo presenten dificultades de ejecución». Dirigiría el Centro una Comisión nombrada por la JAE.

Para conseguir semejantes fines se estimaba conveniente que la Asociación dispusiera de un taller y un laboratorio, algo que se creía podría obtenerse «sin grandes gastos ... porque el Centro, tal y como se proyecta, dispondrá de todos los elementos que pudieran prestarle sus asociados». Aunque presentase su crítica de manera solapada, está claro que para Torres Quevedo los recursos existentes en el territorio nacional se encontraban en general infrautilizados, y la Asociación podía aliviar esta deficiencia:

Hay en las dependencias del Estado, máquinas, instrumentos o aparatos de todas clases que no están constantemente en uso, y aun algunos que muy de tarde en tarde se emplean. No están ni pueden estar éstos aparatos a la disposición de todo el mundo, pero los asociados tendrían gusto seguramente y aun puede decirse que tendrían el deber moral de cooperar al progreso científico del País, prestando al Centro, cuando fuera necesario para un trabajo determinado, aquellos aparatos, aquellos locales, aquellos obreros, aquellos medios, en fin, de que a su juicio pudieran prescindir momentáneamente, sin perjuicio ninguno del servicio que les esté encomendado.

De hecho, la idea de Torres Quevedo era la de llegar a intervenir en la dirección de la investigación científica, y no solo

en su promoción, como se puede comprobar cuando señalaba que en algún caso la Comisión podría seguir un procedimiento especial con investigaciones experimentales que se creyesen de interés. Primero estudiaría teóricamente el problema, para pasar después a ciertos ensayos preliminares «que le permitieran orientarse, aquilatar con más precisión la conveniencia y la posibilidad de realizar la investigación propuesta, trazar un plan de la marcha que hubiera de seguirse en los experimentos y reunir los elementos necesarios para realizarlos».

De especial interés para el tema que me ocupa son unos párrafos en los que Torres Quevedo abordaba la cuestión de dónde instalar la sede central del Centro propuesto. En su opinión la JAE —a quien, recordemos, sometía el proyecto— disponía de «todos los medios para organizarle y protegerle durante algún tiempo, hasta que se encuentre en condiciones de vivir y desarrollarse sin necesidad de auxilio ninguno». Más concretamente

Dispone la Junta, en el Palacio de la Industria, de un vasto local donde ha dado albergue al Centro de Ensayos de Aeronáutica, en el cual además de las oficinas, casa para el conserje &^a, existen un Taller de Mecánica aplicada facultado de R. O. para construir toda clase de aparatos que ofrezcan interés científico y dos laboratorios; el que propiamente corresponde al Centro de Ensayos y el del Sr. Cabrera que oficialmente está agregado a él, aunque en realidad haya de funcionar con entera y absoluta independencia. Pues en ese Taller y en esos laboratorios que los señores Cabrera y Torres ponen de muy buena voluntad a la disposición de la Junta puede instalarse muy holgadamente, en sus comienzos al menos, el Centro técnico proyectado.

Vemos aquí que, al contrario de lo que tradicionalmente se ha afirmado al referirse a la historia del Laboratorio de Investigaciones Físicas, Cabrera ya dirigía un laboratorio en el Palacio de la Industria a comienzos de 1909, es decir, un año antes de que la JAE crease oficialmente aquel, como parte del Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales.

Antes de pasar, ya definitivamente, al laboratorio de ciencias físicas de la Junta, señalaré que en la sesión del día 16 de enero

la JAE consideraba el proyecto de Torres Quevedo, acordando crear un «Centro de Estudios Experimentales». Dos días más tarde se remitía el proyecto al ministro de Instrucción Pública, con la pretensión de obtener su aprobación (ese mismo día se aprobaba un proyecto de presupuesto en el que se destinaban 8.000 pesetas para personal del Centro). El 8 de junio de 1910 una R. O. del ministro de Instrucción Pública, conde de Romanones, autorizaba la creación de la «Asociación de Laboratorios para el fomento de las investigaciones científicas y los estudios experimentales»⁵⁰.

1.11. EL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS

El Laboratorio de Investigaciones Físicas fue establecido por la Junta de manera oficial en 1910 (hemos visto, sin embargo, en la sección precedente que algo así como su precursor ya estaba en marcha en 1909). Estaba instalado en el denominado Palacio de la Industria y de las Artes, un extenso edificio, cercano al Hipódromo (por donde hoy transcurre la Castellana, a la altura de la plaza de San Juan de la Cruz), que también acomodaba al Museo de Ciencias Naturales, a los ya citados Centro de Ensayos de Aeronáutica y Laboratorio de Automática de Torres Quevedo, a la Escuela de Ingenieros Industriales y a la Real Sociedad de Historia Natural, además de a un cuartel de la Guardia Civil.

Inicialmente las secciones del Laboratorio eran cuatro: Metrología, Electricidad, Espectrometría y Química Física⁵¹. Estas secciones se encontraban distribuidas en nueve salas: dos para cada una de las secciones y una para sala de conferencias y biblioteca.

⁵⁰ En 1913 el Laboratorio ya había construido aparatos para instituciones madrileñas tan diversas como la Facultad de Medicina, la Escuela de Caminos, el Instituto Geográfico, el Hospital Militar de Carabanchel, el Museo de Ciencias Naturales, así como para el Instituto de Oviedo (dos magnetógrafos y un aparato de relojería). Para Cabrera había construido un aparato para comparar termómetros, un electroimán, y mecanismos para una balanza.

⁵¹ En este punto sigo la descripción que apareció en la ya citada publicación preparada por la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias en 1913 (Reseña 1913, pp. 167-173).

En la sala 1 (Metrología) se encontraban instaladas las balanzas y comparadores destinados al estudio de las pesas y patrones de longitud, el barómetro normal y el péndulo Riefler, que regía los contadores de horas, minutos y segundos de Wagner distribuidos en el Laboratorio. Las balanzas eran cuatro: una Bunge, de platillos intercambiables, a la que le habían sido agregados los mecanismos necesarios para maniobrar a distancia, estudiados y contruidos por el Laboratorios de Automática, con una carga máxima de un kilogramo, y que se empleaba para el estudio de las pesas desde un gramo; una Sauter, para las pesas inferiores al gramo, una Ruprecht de 200 gramos de carga, utilizada corrientemente en todas las pesadas físicas, y otra del mismo constructor, con carga de un kilogramo, que se empleaba para las pesadas hidrostáticas. La comparación de reglas y el estudio de su dilatación se realizaba mediante un comparador de dilataciones de la Société genevoise, y el estudio de las divisiones por un comparador de corrimientos longitudinales de la misma casa. El barómetro normal era de Fuess, y las observaciones se realizaban bien directamente, bien con un catetómetro de dos anteojos de la misma Société genevoise.

La sección de Metrología también poseía un juego de patrones de primer orden, estudiados en el Bureau International des Poids et Mésures, constituido por un kilogramo construido por Collot; tres piezas de 100, 10 y 1 gramos de cuarzo construidas por Ruprecht; y un metro y un decímetro de acero-níquel al 42 por ciento, de la Société genevoise.

La segunda de las salas de Metrología (la número 3) estaba dedicada preferentemente a los trabajos de Termología, y en particular al estudio de los termómetros, una de las tareas clásicas en los laboratorios nacionales que se construyeron en algunos países a finales de siglo (el Physikalisch-Technische Reichsanstalt alemán construyó unas dependencias especiales para estos trabajos: en ellas examinó en 1893 cerca de 12.000 termómetros, casi todos utilizados para prácticas médicas; en la sede central del Reichsanstalt, en Charlotemburgo, también se comprobaban termómetros más especializados —cerca de 1.000 en 1893—; además se realizaban experimentos con sus propios termómetros y se

intentaban desarrollar otros más precisos, capaces de medir a temperaturas más elevadas)⁵².

Las salas números 2 y 5 eran las asignadas a Electricidad. En ellas se realizaban desde estudios y comparaciones de patrones eléctricos de resistencia, intensidad y fuerza electromotriz, hasta investigaciones de magnetoquímica, pasando por otras como la medida de la resistencia del níquel en un campo magnético.

La sección de Espectrometría y Espectrografía tenía instalado en la sala número 6, que era al mismo tiempo cámara de revelar, un espectrógrafo de la casa inglesa Hilger, y en la 7, interferómetros de Michelson y Fabry y Perot, así como un electroimán Du Bois para el efecto Zeeman.

Todas las salas contaban con servicios de agua a presión, gas, corrientes eléctricas de varias clases. Las tomas de corriente estaban reunidas en pequeños tableros de pizarra que contenían dos tomas directas de corriente continua en distribución trifilar a 240 voltios entre los cables activos; dos tomas de hasta 10 amperios de capacidad, procedentes de una batería de acumuladores constituida por 200 elementos Tudor con 30 amperios-hora de capacidad y 9 amperios de descarga máxima.

Existía, además, un grupo electrógeno constituido por cuatro dinamos de 500 voltios y un amperio, embragadas sobre el mismo eje del motor, que podían acoplarse de varias maneras mediante un juego de interruptores. La alimentación de este grupo se realizaba, bien por los acumuladores, bien por línea industrial.

Finalmente, en la biblioteca se encontraban (en 1913), además de obras básicas de consulta, las colecciones de revistas siguientes: series de Wiedemann y Drude de los *Annalen der Physik*, colecciones completas de los *Beiblätter in den Annalen der Physik*, *Chemisches Central-Blatt*, *Physikalische Zeitschrift*, *Zeitschrift für Elektrochemie*, *Travaux et Memoires du "Bureau International des Poids et Mesures"*, *Procès verbaux du "Bureau International des Poids et Mesures"*, *Physical Review*, *Zeitschrift für Instrumentenkunde* y *Zeitschrift für Physikalisch-Chemie*.

⁵² Ver Cahan (1989, p. 114).

En cuanto a los grupos de investigación que trabajaron en el Laboratorio, se trata de un tema amplio, que ocuparía de por sí un libro. Me limitaré, por consiguiente, a ofrecer algunas indicaciones, relativas, en principio, aunque no exclusivamente, a la primera década de existencia del Laboratorio; esto es, hasta comienzos de los años veinte. En otros capítulos, a propósito de las actividades de Catalán, nuestro protagonista, aparecerán algunos detalles más.

Los documentos que han sobrevivido no nos permiten saber con exactitud quienes trabajaron en el Laboratorio entre 1909 y 1911, pero parece seguro que Cabrera encontró pronto, en lo que a la organización se refiere, un firme aliado en el químico Enrique Moles.

Posiblemente el mejor y más activo químico en la historia de la ciencia española, Moles (1883-1953) se había licenciado en Farmacia en 1905 en la Universidad de Barcelona, obteniendo el título de doctor el año siguiente en Madrid con una tesis titulada «Procedimientos de análisis cuantitativo de algunas minas españolas»⁵³. Al crearse la JAE en 1907, Moles solicitó de ésta una de las primeras pensiones convocadas, que le fue concedida (y renovada con posterioridad). Tras una corta estancia en Munich, utilizada principalmente para realizar trabajos prácticos y perfeccionar el idioma alemán, se trasladó a Leipzig, en cuya Universidad se matriculó como alumno oficial. Allí, en el *Physikalisch-chemisches Institut* del gran químico-físico Wilhelm Ostwald, permaneció hasta 1910. Además de conseguir un nuevo doctorado, esta vez en Ciencias, en Leipzig se familiarizó con los métodos de trabajo en química-física, por entonces una rama de la química en auge, gracias a los trabajos pioneros de Jacobus Henricus van't Hoff, Svante Arrhenius y el propio Ostwald⁵⁴. Al regresar a España, se incorporó al Laboratorio de Investigaciones Físicas,

⁵³ El estudio histórico más completo sobre Moles es la tesis doctoral de Raúl Berrojo Jario (1980). Aunque su nivel histórico es bajo, se puede consultar también Pérez-Vitoria, coord. (1985).

⁵⁴ Consultar el capítulo 1 de Servos (1990).

cuya sección de Química-física diseñó siguiendo el modelo del laboratorio de Ostwald ⁵⁵.

En 1912, la estructura del Laboratorio ya se había clarificado algo más; figurando como investigadores más experimentados, además de Cabrera, los físicos Jerónimo Vecino y Manuel Martínez-Risco, y los químicos Moles, Julio Guzmán, Santiago Piña de Rubies, Ángel del Campo y León Gómez, la mayoría profesores ayudantes de la Facultad de Ciencias de Madrid, lo que significa que tenían que dividir su tiempo entre las dos instituciones. Si juzgamos por los nombres que aparecen como firmantes de los veintiún artículos publicados y ocho a punto de ser completados durante los años 1912-1913, dieciocho investigadores trabajaron en el Laboratorio en aquellos años.

En 1914 la estructura inicial del Laboratorio sufrió algún cambio, debido a que tanto Vecino como Martínez-Risco obtuvieron sendas cátedras fuera de Madrid, en Santiago de Compostela y Zaragoza, respectivamente. A Vecino se le había encomendado el área de Metrología, para lo cual había permanecido tres meses en París, estudiando en el Bureau International de Poids et Mesures. Al pasar a Santiago (y el año siguiente a Zaragoza, en donde se instaló definitivamente), o bien no quedó nadie en el Laboratorio con conocimientos suficientes de metrología como para continuar con la sección, o bien se aprovechó la ocasión para emplear en otro campo los recursos que ésta había tenido asignados. Por lo que se refiere a Martínez-Risco, está claro que una parte de la sección de Espectrometría y Espectrografía se diseñó pensando en él. En efecto, como vimos esta sección estaba dotada, entre otros aparatos, de interferómetros de Michelson y Fabry y Perot para el estudio del efecto Zeeman. Ahora bien, Martínez-Risco había estado pensionado por la Junta, desde noviembre de 1909 hasta junio de 1911, en el Natuurkundig Laboratorium de Amsterdam dirigido por Pieter Zeeman, quien en 1902 había compartido el premio Nobel de Física (era el segundo año que se concedía) con Hendrik A. Lorentz, por su descubri-

⁵⁵ Moles (1911) resumió sus impresiones personales de su estancia en el laboratorio de Ostwald en una memoria presentada a la JAE, que llevaba por título «Un curso teórico y práctico de Química-física».

José Manuel Sánchez Ron



Amsterdam - Julio, 1910.

Dedica a todos este cariñoso
recuerdo

Manolo

El fotógrafo que hizo este retrato
se llama Manuel M. Risco. Es
muy buena persona.

Postal enviada por M. Martínez-Risco a su familia
desde Amsterdam



El laboratorio de P. Zeeman en Amsterdam en una postal enviada por Zeeman a M. Martínez-Risco



Martínez-Risco (en el centro) en el laboratorio
de Zeeman

miento de la multiplicación de las rayas espectrales en presencia de un campo magnético (efecto Zeeman). Allí se familiarizó con el manejo de aquellos aparatos, como se puede comprobar a través de las deliciosas y precisas cartas-informe que periódicamente enviaba a Cajal, en su calidad de presidente de la JAE. Así, el 7 de febrero de 1902 escribía ⁵⁶:

Desde que escribí a V. mi última carta, trabajo con el interferómetro de Michelson.

Dediqué varios días a estudiar dicho aparato, fijándome, principalmente, en las circunstancias que facilitan la observación de las franjas.

Cuando hube terminado la instalación del interferómetro, el Profesor Zeeman me propuso determinar la longitud de onda de la radiación compuesta del sodio.

Tres meses después, la dinámica de sus trabajos le llevaba a utilizar el interferómetro de Fabry y Perot. En este sentido, el 17 de mayo de 1910 se dirigía a Cajal ⁵⁷:

Muy señor mío: Según se sabe, el interferómetro de Michelson divide cada onda incidente en dos, solamente, de igual intensidad. Estudiando con este aparato los cambios que experimenta la visibilidad del sistema de franjas al variar el espesor de la lámina de aire, pueden obtenerse importantes datos acerca de la luz compuesta incidente, pero no siempre puede llegarse a un total conocimiento de la constitución de ésta.

Con objeto de dar solución completa al problema de Espectroscopia, Fabry y Perot idearon un nuevo interferómetro, en el que cada onda incidente origina infinito número de ondas cuyas diferencias de marcha crecen en progresión aritmética. Los anillos brillantes producidos en este aparato por cualquier luz monocromática, son sumamente finos, comparados con los anillos oscuros. Esta circunstancia, consecuencia de la analogía existente entre todo reseau y el aparato de Fabry y Perot, hace

⁵⁶ Archivo de la JAE.

⁵⁷ Archivo de la JAE.

que cada anillo se convierta en un espectro, al emplear luz compuesta.

En la investigación que he de emprender ... haré uso de las láminas plateadas (*étalon*) de Fabry y Perot. Tengo ya instalados los aparatos que he de manejar, y he obtenido numerosas fotografías del sistema de franjas.

Al regresar a Madrid, Martínez-Risco presentó su tesis doctoral (*Asimetría de los tripletes de Zeeman*) con trabajos realizados en Amsterdam; el método de espectroscopia interferencial de Fabry y Perot desempeñaba un papel central en la tesis ⁵⁸.

Los casos de Vecino y Martínez-Risco son interesantes, asimismo, por otro motivo. Al abandonar Madrid y apartarse, por consiguiente, de las facilidades y ambiente que les ofrecía el Laboratorio de Investigaciones Físicas, la producción científica de ambos decayó radicalmente. Hasta su prematura muerte en 1929, Jerónimo Vecino no realizó ningún trabajo de interés. Los años (1914-1919) que pasó en Zaragoza fueron para Martínez-Risco estériles desde el punto de vista de la ciencia. Y cuando en 1919 regresó a Madrid, como catedrático de Acústica y Óptica de la Universidad Central, tenía otros intereses además de la investigación científica (fue, por ejemplo, presidente del Patronato de Óptica del Ministerio de Marina y presidente de la Sección de Ciencias del Ateneo) ⁵⁹.

Es apropiado en este punto el mencionar que fue realmente una lastima que la sección de Espectrografía y Espectrometría, y luego de Espectroscopia, del Laboratorio de Investigaciones Físicas no pudiese contar durante más tiempo —y sobre todo, coincidiendo con Catalán— con Martínez-Risco. Una sección con ambos habría estado dotada científicamente mucho mejor que con el primero únicamente. En particular, los trabajos relacionados con

⁵⁸ Martínez-Risco (1911), reproducida también en Martínez-Risco (1976).

⁵⁹ Hombre de izquierdas, involucrado en la política, tuvo que exiliarse a raíz de la Guerra Civil, viviendo a partir de entonces en París, en cuyo Centre National de Recherche Scientifique trabajó con renovado empuje, realizando algunas investigaciones de mérito (ver Martínez-Risco 1976).



Pieter Zeeman

el efecto Zeeman, que aunque Catalán no ignoró, recurriendo a él cuando fue necesario, no constituyeron uno de sus temas de investigación preferente.

Otro caso digno de reseñar es el de Juan Cabrera, hermano menor de Blas. Después de finalizar sus estudios de la Licenciatura en Físicas en Madrid, Juan llevó a cabo investigaciones en el Laboratorio de la JAE, que le sirvieron para conseguir, en octubre de 1919, el título de doctor con una tesis titulada "Velocidad de los iones gaseosos" (Cabrera, Juan 1920) que su hermano apadrinó. En 1920, cuando aún no había cumplido 22 años, obtuvo la cátedra de Acústica y Óptica de la Universidad de Zaragoza (que el año anterior había dejado vacante Martínez-Risco). Desde el punto de vista de la investigación, aquel suceso constituyó el final de su carrera, que transcurrió siempre en la ciudad aragonesa ⁶⁰.

Lo que sucedió con Vecino, Martínez-Risco y Juan Cabrera resulta especialmente significativo para el presente libro, ya que muestra que al abandonar el Laboratorio de la JAE en Madrid por sus cátedras en Zaragoza, sus investigaciones científicas sufrieron un grave perjuicio. Este detalle nos hace pensar que lo más probable es que si Miguel Catalán hubiese permanecido en su Zaragoza natal, nunca habría llegado a las alturas científicas que alcanzó en Madrid.

Volviendo a 1914, el año en que abandonaron Madrid Vecino y Martínez-Risco, tenemos que por entonces la estructura del Laboratorio estaba casi completa. Existían cinco grupos principales (todos se habían formado al crearse el centro en 1910): «Física», dirigido por Cabrera y dedicado principalmente a una serie de temas físicos generales y diversos (p. ej., las propiedades físicas de los metales en campos eléctricos y magnéticos, o la óptica); «Químico-física» (Moles); «Magneto-química» (Cabrera); «Electroquímica y electroanálisis» (Guzmán), y «Espectroscopia» (del Campo). Al menos hasta la primera mitad de los años 20 éstos

⁶⁰ Ya en los años del régimen de Franco, Juan Cabrera llegó a ser Rector de la Universidad de Zaragoza. Para una semblanza, parcial, de Juan Cabrera ver Iñiguez y Almech (1934).



Juan Cabrera trabajando en el Laboratorio de
Investigaciones Físicas

fueron los principales temas estudiados en el Laboratorio ⁶¹. En 1920, precisamente, el periodista y antiguo estudiante de Ciencias Manuel Moreno Caracciolo, visitó el Laboratorio, dejando sus impresiones en un artículo publicado en *El Sol*. En ese artículo Moreno Caracciolo (1920) —claramente favorable al centro de investigación mantenido por la Junta— relataba la organización del Laboratorio. En su exposición, el periodista de *El Sol* comenzaba haciendo notar que las puertas del Laboratorio estaban abiertas de «ocho de la mañana a ocho de la noche ... No se conocen más días festivos que los domingos, ni tiene el personal retribuido más de un mes de licencia en todo el año. Quien deja de trabajar, por cualquier circunstancia, cesa en el acto en el percibo de sus haberes. Y estos no se cobran sino al cabo de algunos años de labor meritoria y gratuita y su cuantía oscila entre las 100 pesetas mensuales para los alumnos y 200 ó 300 para los ayudantes y profesores».

Al pasar revista a los grupos del Laboratorio, Moreno Caracciolo comenzaba por el de Cabrera, señalando que éste, auxiliado por Moles, Emilio Jimeno, Julio Guzmán y Mariano Marquina, habían rectificado algunas medidas efectuadas por Pierre Weiss en Zurich, rectificaciones que, no obstante, ayudaban a una propuesta teórica (los magnetones) de éste investigador, hipótesis con la que Cabrera se alineó a lo largo de toda su carrera científica.

Creía Weiss que los momentos magnéticos debían venir representados por múltiplos enteros del magnetón; así lo decían

⁶¹ Entre 1916 y 1917 existió un grupo dedicado a la Termología, que dirigió Julio Palacios, quien a partir de 1922 pasó a encargarse de un grupo de Rayos X. Entre 1918 y 1919 funcionó también un grupo de Óptica, a cuya cabeza estuvo Martínez-Risco. También formaban parte del Laboratorio de Investigaciones Físicas, los laboratorios de Química Orgánica (desde 1910; José Casares y Antonio Madinaveitia) y de Química Biológica (desde 1910; José Rodríguez Carracido), que se utilizaban especialmente, como ya apunté, para labores didácticas. Hasta el curso 1931-32, que pasaron al Instituto Nacional de Física y Química, estuvieron en la Facultad de Farmacia. Otro laboratorio de Química del Laboratorio de Investigaciones Físicas situado fuera de las dependencias del Palacio de la Industria, fue el de Química general (desde 1912-13; José Ranedo); se encontraba en locales de la Residencia de Estudiantes.

las numerosas mediciones comparadas, y esta concordancia era una garantía de la exactitud de las medidas. Pero aquella teoría, que presentaba tan grandes caracteres de veracidad, caía por tierra ante experimentos más precisos ... volvió Cabrera ... auxiliado por Moles, Jimeno, Guzmán y Marquina, fue rectificando una por una las medidas en que había fundamentado su hipótesis el profesor de Zurich [Weiss]. Y en todas ellas encontró un error que compensaba el cometido al computar equivocadamente la constante magnética del agua. La teoría adivinada por la maravillosa intuición de Weiss era cierta; los números eran erróneos; pero del Laboratorio de Madrid, y gracias a los aparatos contruidos al efecto por Torres Quevedo, salieron los verdaderos valores de aquellas cantidades. Y al lado de los apellidos extranjeros de Zrümpfer y Wiedemann y Frankamp, aparecieron en las revistas científicas de Europa los de Cabrera, Guzmán y Marquina.

Por otra parte estaba el grupo en el que Moles, «auxiliado por el Sr. Marquina y algunos alumnos aventajados», se ocupaba de la determinación de pesos atómicos. En otro laboratorio «continúa el Sr. Guzmán sus trabajos para sustituir al platino en los electroanálisis, habiendo obtenido ya notables resultados, que han encontrado aplicación en el taller de precisión de Artillería y en otros centros oficiales». Por último, Ángel del Campo dirigía los trabajos de espectrografía, «auxiliado por los Sres. Catalán y Piña, ex ayudante este último del profesor Dupart, de Ginebra, inspector de las minas de platino de los montes Urales».

Como vemos, el esquema era muy simple: grupos centrados en un líder y énfasis en la física (magnetismo sobre todo) y químico-física, los campos de Cabrera, Moles y del Campo. Semejante limitado, y de alguna medida interrelacionado, ámbito de intereses tenía ventajas; en particular, un alto nivel de colaboración entre los grupos, especialmente, aunque no exclusivamente, durante los primeros tiempos (en esos años, Cabrera, por ejemplo, firmó artículos con Moles, Guzmán y Piña de Rubies).

Éste fue, a grandes rasgos, el laboratorio al que vino a parar Miguel Catalán. No hay duda de que fue afortunado. Se puede argumentar que el centro de investigación en física y físico-química de la JAE fue un privilegiado dentro del panorama

español. De acuerdo. Pero al mismo tiempo que se reconoce este hecho (sin dejar de advertir que también los responsables de la Junta se esforzaron —utilizando, entre otros instrumentos, *ideas*, no excesivamente frecuentes en el ámbito de la enseñanza e investigación científica en la España de aquella época— por obtener tales privilegios), hay que atestiguar que los científicos del Laboratorio de Investigaciones Físicas no desaprovecharon la oportunidad que se les brindó. Para darse cuenta de la importancia que el Laboratorio tuvo en el conjunto de la investigación físico-química nacional, basta con señalar que si se toma como punto de partida la entrada en funcionamiento del Laboratorio, en 1910, se tiene que casi el 75% de los artículos publicados hasta 1936 en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*, el principal órgano de difusión de resultados para los físicos y químicos nacionales desde su establecimiento en 1903, fueron debidos a investigadores que desarrollaban su actividad en dicho centro (Valera 1983). Evidentemente, el propio Miguel Catalán contribuyó a tal excelencia. Este es, de hecho, uno de los temas del presente libro.

CAPÍTULO 2

ESPECTROSCOPISTA

2.1. ESPECTROSCOPIA. APUNTES HISTÓRICOS

A partir de ahora la espectroscopia, la disciplina a la que Miguel Catalán dedicaría su vida, será objeto destacado en este libro. Es conveniente, por consiguiente, decir algunas palabras, a modo de introducción, relativas a cómo surgió tal rama de la ciencia ¹.

Fue Isaac Newton quien descubrió que al pasar a través de un prisma de vidrio la luz se descompone en colores diferentes, los colores del arco iris, produciendo lo que se denomina un *espectro*. Recíprocamente, comprobó que al componer esos colores se recuperaba la luz "normal".

Durante el siglo que siguió a las observaciones de Newton, pocos avances importantes se realizaron. Uno de ellos tuvo lugar en 1752, cuando Thomas Melvill se aprovechó de que al calentar los cuerpos sólidos (y los líquidos también), éstos emiten, cuando alcanzan una temperatura suficientemente alta, radiaciones. Melvill hizo pasar por un prisma la luz emitida por una llama producida por sodio; observó un espectro continuo, surcado por una serie de líneas brillantes. Que sepamos, fue la primera observación de un espectro de *emisión*.

¹ La historia de la espectroscopia es un tema bastante complejo. Estudios importantes son: Maier (1981), Dingle (1951) y Hearnshaw (1986).

Exactamente cincuenta años después de las observaciones de Melvill, esto es, en 1802, William Hyde Wollaston advirtió que en el espectro de la luz procedente del Sol aparecían unas cuantas líneas oscuras, que Newton no había detectado y que él tomó como las fronteras de los colores naturales. Pocos años después (1814-1815), Joseph von Fraunhofer examinó con mucho más detalle el espectro de la luz procedente del Sol, descubriendo cerca de 600 de tales rayas oscuras, que a partir de entonces se conocieron como «líneas de Fraunhofer». Pero no se limitó a descubrir nuevas rayas, sino que también se propuso estudiar el lugar del espectro en que se encontraban situadas, determinando la posición de 324 de ellas.

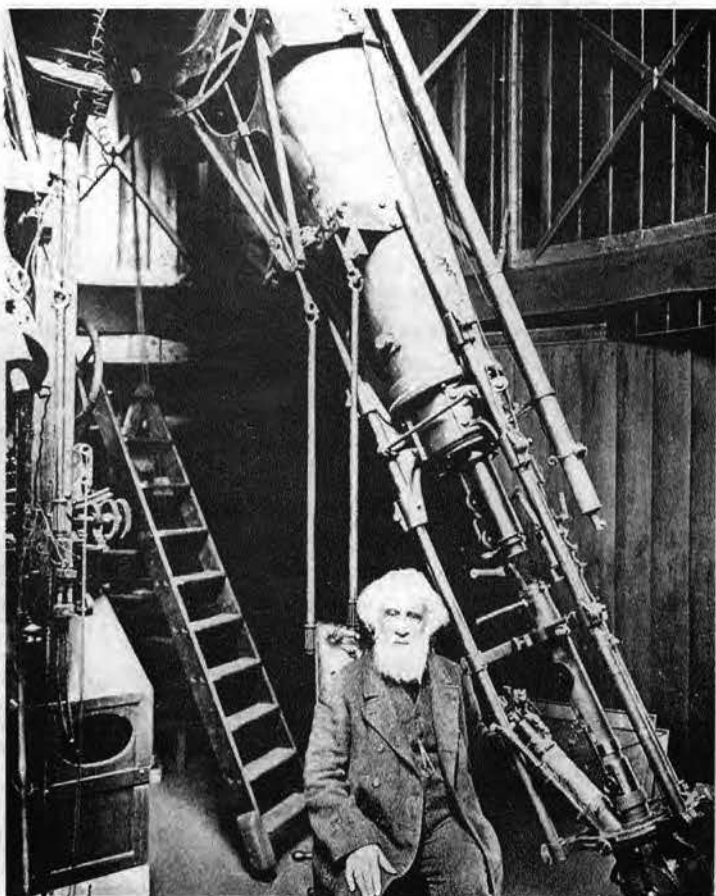
Es interesante señalar que Fraunhofer era un óptico profesional, entre cuyas ocupaciones figuraba la de construir lentes. Por este motivo estaba más cualificado que la mayoría de los físicos y astrónomos de su época para, por ejemplo, utilizar prismas de gran calidad, que no "deformasen" demasiado la luz. Su interés por el espectro solar provenía asimismo de su profesión: necesitaba localizar en el espectro un punto de referencia que le permitiera medir con precisión los índices de refracción (grado de desviación de la luz al pasar por un cierto medio) de los distintos materiales con los que construía las lentes de sus instrumentos ópticos.

Gradualmente se fue descubriendo que era posible producir "artificialmente" líneas oscuras en los espectros, haciendo pasar la luz a través de diversas sustancias coloreadas, confirmándose por otra parte el tipo de observación de Melvill: los espectros producidos por algunas llamas estaban atravesados por líneas brillantes.

Naturalmente, se efectuaron varios intentos de explicar y relacionar tales observaciones, pero pasó algún tiempo hasta producirse un avance sustancial. Este llegó pasado mediados de siglo, gracias a las investigaciones de un físico y de un químico de la Universidad de Heidelberg: Gustav R. Kirchhoff y Robert W. Bunsen. Trabajando en colaboración, Kirchhoff y Bunsen (1860) reconocieron que existía una correlación directa entre los espectros con líneas brillantes (de *emisión*) y con líneas oscuras (de *absorción*). Estos últimos se obtienen interponiendo en el



R. W. E. Bunsen, G. R. Kirchhoff y H. E. Roscoe
en Heidelberg, 1862



William Huggins en su observatorio en Tulse Hill, en la década de 1890. El telescopio llevaba acoplado un espectroscopio

la *astrofísica*⁴, y lo hacía con las mayores esperanzas. Citando una vez más al espectroscopista y astrónomo William Huggins (1891, p. 37): «La astronomía, la más antigua de las ciencias, ha más que renovado su juventud. En ningún momento del pasado ha estado tan encendida con ilimitadas aspiraciones y esperanzas. Nunca fueron sus templos tan numerosos, ni tan grande la masa de sus devotos».

Los resultados de investigaciones emprendidas en laboratorios que no tenían por objetivo el estudio del cosmos continuaron, mucho después de Kirchhoff y Bunsen, aportando útiles esenciales a los astrónomos/astrofísicos. Un ejemplo destacado en este sentido es el descubrimiento realizado por Zeeman del desdoblamiento de las líneas espectrales cuando la fuente de éstas se coloca en un campo magnético, un hallazgo que permitió, por ejemplo, al astrofísico estadounidense George Ellery Hale detectar campos magnéticos en las manchas solares, al igual que alrededor del Sol.

El propio Catalán explicó más de una vez la esencia de la importancia de la espectroscopia en lo que a la exploración del

⁴ Naturalmente, el primer cuerpo celeste que fue estudiado utilizando las nuevas técnicas espectrográficas fue el Sol. Kirchhoff interpretó la presencia de líneas (oscuras) de Fraunhofer en el espectro de la luz procedente del Sol, como una prueba de que el Sol tiene un núcleo sólido o líquido (o acaso un gas fuertemente comprimido) muy caliente que emite luz; esa radiación pasa luego a través de sustancias menos calientes que absorben luz de longitudes de onda correspondiente a las líneas oscuras que vemos en los espectroscopios terrestres. Tales gases fríos pueden encontrarse bien rodeando al Sol, bien en nuestra atmósfera terrestre. Ahora bien, de esta última ya se tenía entonces el conocimiento suficiente como para poder concluir que las líneas observadas correspondían a sustancias asociadas al Sol. En base a estas premisas, así como a los datos que le mostraban los espectros (de absorción) que obtuvo, Kirchhoff demostró, por ejemplo, que la atmósfera solar contiene sodio. En conjunto, y de manera más o menos imperfecta, Kirchhoff consiguió identificar media docena de elementos químicos presentes en el Sol, el hierro entre ellos. Para hacernos una idea de lo engorrosa que puede llegar a ser la tarea de reconocer elementos químicos a través de sus espectros, basta con mencionar que el hierro produce más de tres mil líneas espectrales, de las que Kirchhoff identificó unas setenta. Como veremos en otro capítulo, Catalán se ocupó intensamente del espectro del hierro.

trayecto de la luz "normal" una capa de una cierta sustancia, la cual absorbe una parte determinada de las radiaciones, produciendo de esta manera unas líneas o bandas oscuras. Los lugares que ocupan estas líneas son los mismos en donde aparecen las líneas brillantes del espectro de emisión producido al calentar esa misma sustancia.

Al relacionar de forma tan íntima elementos y sustancias químicas con espectros, se hizo posible caracterizar estos cuerpos mediante las líneas que aparecían en sus espectros². Más aún, podía ocurrir que se encontrasen secuencias de líneas no halladas hasta entonces; esto sería señal inequívoca de que el "productor" de ellas era un nuevo elemento o sustancia química. La espectroscopia, la ciencia de los espectros, se constituía en un auxiliar imprescindible y de gran precisión, dada su sensibilidad, de la química. Además, se hizo posible estudiar la composición de los cuerpos celestes sin más que analizar la luz que recibimos de ellos. «Lo que el espectroscopio nos revela de manera inmediata —señalaba William Huggins (1891, p. 6) en su discurso como presidente de la British Association for the Advancement of Science en 1891— son las ondas que se crearon en el éter que llena todo el espacio interestelar, hace años o cientos de años, por los movimientos de las moléculas de las sustancias celestes. Como regla, solamente cuando un cuerpo es gaseoso y está suficientemente caliente, los movimientos dentro de sus moléculas pueden producir líneas brillantes y la correspondiente absorción. Los espectros de los cuerpos celestes son, efectivamente, en gran medida espectros de absorción, pero normalmente tenemos que estudiarlos mediante los correspondientes espectros de emisión de cuerpos llevados a la forma gaseosa y hechos luminosos por medio de llamas o de descargas eléctricas»³. En resumen, nacía

² Los orígenes de la práctica espectroscópica como un método de análisis cuantitativo se estudian en James (1983).

³ A continuación, Huggins señalaba uno de los principales problemas que aquejaban por entonces a la espectroscopia celeste: el que no se conocía ninguna relación entre la radiación luminosa, tal y como aparecía en el espectroscopio, y la temperatura de la llama o de los contenidos gaseosos del tubo de vacío en el que se producía la descarga. Referencias útiles sobre la espectroscopia estelar son Hearnshaw (1986 y 1987).

cosmos se refiere; por ejemplo, en el primer curso (de doctorado) que dictó en la Universidad tras la Guerra Civil (en 1946) ⁵:

Hacia la mitad del siglo XIX ... Bunsen y Kirchhoff descubrieron el espectroscopio. Era como un ojo maravilloso que apuntado a los astros permitía ver su composición. Lo descubrieron fundándose en la antigua descomposición de la luz que había llevado a cabo Newton ...

Entonces los químicos, armados del espectroscopio, volvieron a analizar los compuestos en los que fracasó el análisis y de esta forma volvieron a aumentar la lista ya crecida. Pero lo más interesante fue que, al analizar los astros, vieron que ni uno sólo de sus elementos dejaba de estar en la tierra. Ni en el sol, ni en las estrellas, ni en las nebulosas, había un sólo elemento que no estuviera en la tierra. Descubrieron así la unidad de todo el universo.

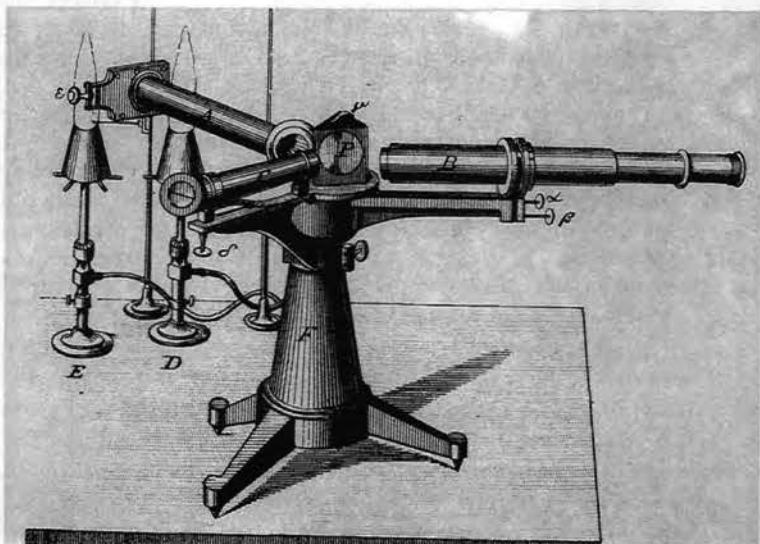
La asociación de la espectroscopia con la astronomía no solo reportó grandes beneficios a esta última disciplina (bajo el nombre, como acabamos de ver, de astrofísica), sino también a la propia ciencia espectroscópica. Junto a químicos y ópticos (la mejora de las redes de difracción fue esencial para el progreso de la espectroscopia durante la segunda mitad del siglo XIX) ⁶, los astrónomos (o astrofísicos) fueron figuras importantes en el desarrollo de la espectroscopia de finales del siglo XIX y primeras décadas del XX; ejemplo en este sentido son nombres como William Huggins, Norman Lockyer o Henry Norris Russell, un personaje este último que, como veremos, también aparece en la vida de Catalán ⁷.

Otra dimensión fundamental de la historia de la espectroscopia está asociada al desarrollo de las teorías sobre la estructura atómica, que culminaron en el establecimiento de la mecánica cuántica. Utilicemos palabras pronunciados por Alfred Fowler

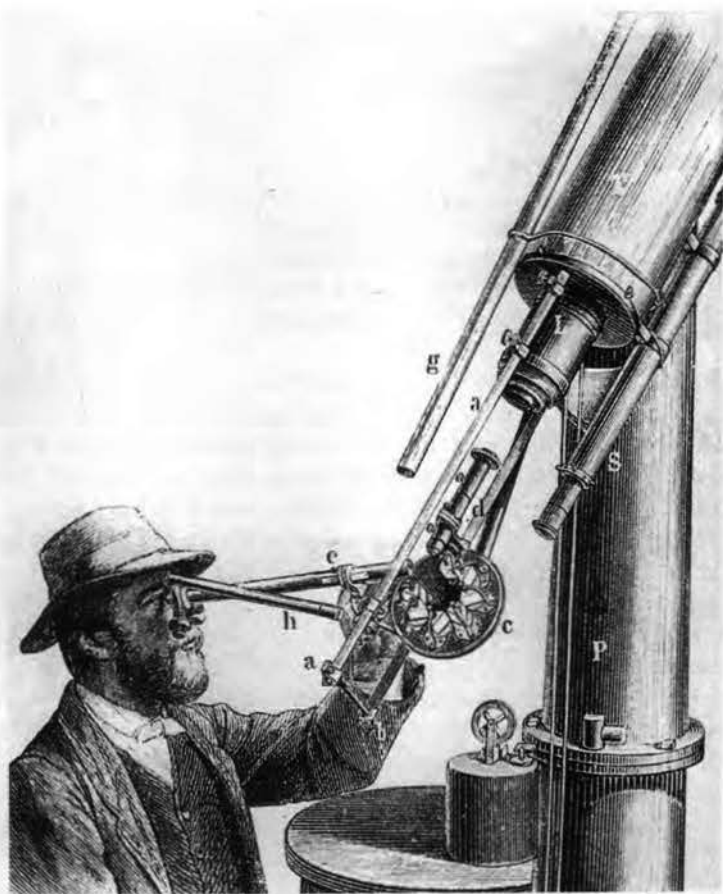
⁵ Apuntes de estructura del átomo (multicopiado), p. 4.

⁶ Ver en este punto Hentschel (1993).

⁷ Ver, por ejemplo, Huggins (1891), Maunder (s.f.), Lockyer (1904), Lockyer, T. M. y Lockyer, W. L. (1928), DeVorkin y Kenat (1983 a y b) y Kenat y DeVorkin (1990).



Uno de los espectroscopios utilizados por Bunsen
y Kirchhoff, según un grabado de 1861



J. N. Lockyer con su telescopio, al que había acoplado un espectroscopio (grabado de la época)

—en cuyo laboratorio Catalán descubrió los multipletes— durante el discurso que pronunció como presidente de la Sección de Matemática y Física de la reunión de la British Association for the Advancement of Science celebrada en 1926 (Fowler 1926, p. 17):

De una forma u otra el espectro se ha convertido ... en mucho más que una llave para la composición química; se ha convertido también en la llave de las condiciones físicas bajo las cuales se excita la correspondiente radiación; y, como algunos de los primeros investigadores claramente anticiparon, una llave para el problema de la estructura atómica y molecular.

Ahora bien, esta historia, la de la espectroscopia y la estructura de la materia, es larga y complicada, iniciándose en la segunda mitad del siglo XIX con los diferentes modelos atómicos. La capacidad que tales modelos tenían de explicar resultados espectroscópicos constituía un elemento importante a la hora de depositar esperanzas en el modelo en cuestión. El átomo vorticial que William Thomson propuso, siguiendo ideas de Helmholtz, en 1867 es un buen —y temprano— ejemplo en esta dirección. Para Thomson el átomo del tipo tradicional, lucreciano, no podía acomodar los espectros, ya que eran completamente duros y, por consiguiente, no poseían capacidad de vibración, algo que no ocurría con los átomos vorticiales (las vibraciones se asociaban con las rayas espectrales). De hecho, presentó un modelo para el átomo de sodio, llegando a manifestar (Thomson 1867, p. 98): «un vapor formado por tales átomos, con volúmenes y velocidades angulares apropiadas en los dos anillos de tales átomos, podría actuar exactamente como actúa el vapor de sodio incandescente; esto es, satisfecería el “test del espectro” para el sodio»⁸.

Desde múltiples puntos de vista, un momento esencial en la historia de la espectroscopia y de la estructura atómica de la materia es el de la teoría de los espectros formulada por Niels Bohr en 1913.

⁸ La dimensión espectroscópica de estos modelos se trata en Maier (1981, cap. V).

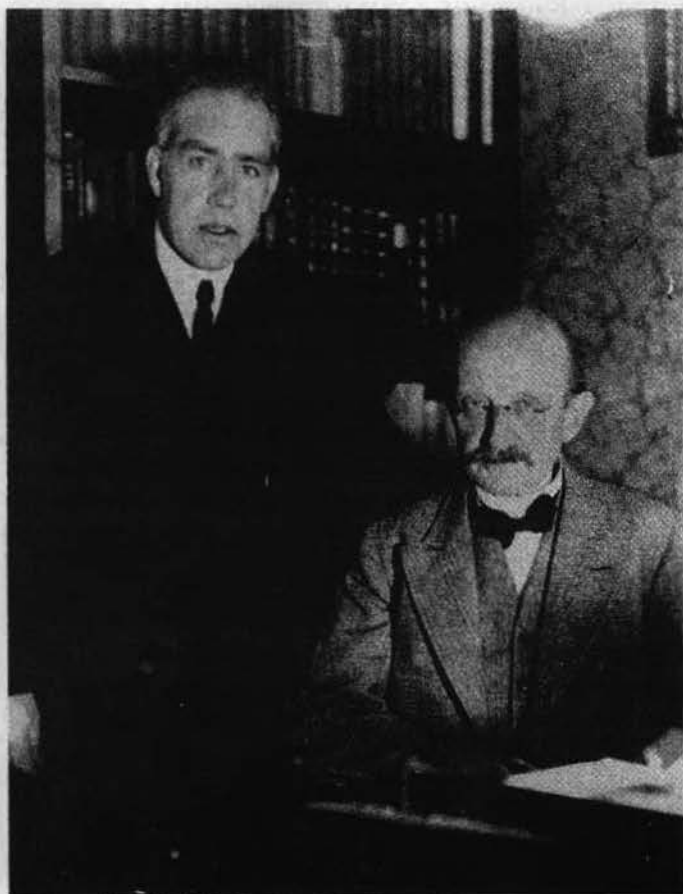
A comienzos de 1911, y como culminación de una serie de experimentos sobre la difusión de partículas α y β iniciados en 1909, Ernest Rutherford (1911) presentaba un modelo atómico en el que se suponía que el átomo está formado por una carga central concentrada en un volumen muy pequeño (10^{-13} cms.). Como se sabía que el átomo mide 10^{-8} cms., esto significaba que un átomo consiste en su mayor parte de espacio vacío: un núcleo densamente cargado situado en el centro y partículas cargadas de signo opuesto distribuidas de alguna manera en el vacío colindante. Con respecto a la distribución de estas partículas, Rutherford sugería al final de su artículo que tal vez fuese la de un modelo atómico que había propuesto el japonés Hantaro Nagaoka: anillos de electrones orbitando en torno al núcleo, aunque no se le escapaba la dificultad que representaba el que una órbita circular implicaba, según el electromagnetismo, la pérdida de energía por radiación electromagnética, lo que significaba que el radio de la órbita debía disminuir constantemente, terminando los electrones por caer al núcleo ⁹.

Bohr pudo captar el alcance de las investigaciones de Rutherford, puesto que en la primavera de 1912 se trasladó al laboratorio de éste, en Manchester. «El tema principal de las discusiones del grupo de Manchester era las consecuencias inmediatas del descubrimiento del núcleo atómico», escribía Bohr (1963, p. 119) poco antes de morir. Pues bien, a semejante proyecto se unió con inusitada rapidez el joven físico danés.

Bohr se dio cuenta de que para construir un modelo atómico satisfactorio tenía que incluir de alguna forma el cuanto de energía que Max Planck y Albert Einstein habían introducido en, respectivamente, 1900 y 1905. En el artículo (Bohr 1913, p. 2) en el que presentó sus ideas, escribía: «Cualquiera que sea la modificación en las leyes del movimiento de los electrones, parece

⁹ Este era un problema bien conocido. En su libro *Electromagnetic radiation*, premio Adams de la Universidad de Cambridge en 1909 y publicado en 1912, George Augustus Schott (1912, p. xii) escribía: «El capítulo XII trata del movimiento de un grupo de cargas eléctricas, en particular del movimiento estable de un anillo circular de electrones. Debido a la pérdida de energía por radiación, un movimiento uniforme estricto es imposible si las cargas no varían en absoluto, a menos que la pérdida sea compensada por algún agente externo, que produzca la fuerza tangencial necesaria para mantener la velocidad uniforme».

José Manuel Sánchez Ron



Bohr y Planck

necesario introducir en las leyes en cuestión una cantidad ajena a la electrodinámica; esto es, la constante de Planck (h). Para llegar a semejante conclusión, sin duda que le ayudarían los resultados de su tesis doctoral (1911), dedicada a la teoría electrónica de los metales, que le convenció de la insuficiencia de los principios de la física clásica, pero además hay que tener en cuenta que la idea de introducir la constante de Planck ya era manejada por algunos físicos. John William Nicholson, por ejemplo, propuso en 1911-1912 un modelo de átomo de Rutherford que pretendía explicar los espectros de la luz procedente de objetos astronómicos en el que h desempeñaba un cierto papel (Nicholson imponía la cuantificación, $h/2\pi$, del momento angular).

El siguiente paso dado por Bohr fue suponer que un átomo (de Rutherford) está formado por un electrón de carga negativa ($-e$) que gira en torno a un núcleo de carga $+e$. Combinando resultados tradicionales de la mecánica clásica con una condición de cuantificación que, de hecho, aparecía en la segunda edición de un tratado que Planck había publicado en 1913, *Theorie der Wärmestrahlung*, Bohr llegó a la conclusión de que el radio de las órbitas no puede disminuir gradualmente, sino *cuánticamente*, a saltos (en función de números enteros) ¹⁰.

Con esta base, Bohr fue capaz de introducir una forma radicalmente nueva de entender cómo se generan los espectros atómicos, un problema que a pesar de todos los esfuerzos realizados se encontraba aún abierto ¹¹. Lo que hizo fue calcular la energía que pierde (o gana) un átomo cuando un electrón pasa de una

¹⁰ Sobre la génesis del modelo atómico de Bohr, consultar Hirosige y Nisio (1964), Heilbron y Kuhn (1969) Hoyer (1981) y Sánchez Ron (1985).

¹¹ En su influyente *Report on radiation and the quantum theory*, Jeans (1914, p. 48) señalaba: «La incapacidad de la mecánica clásica para explicar las líneas espectrales se hace evidente si fijamos nuestra atención en el átomo de hidrógeno, que está formado solamente por dos capas, una positiva y otra negativa, y sin embargo da lugar al altamente complicado espectro asociado con el hidrógeno. Nos vemos inducidos inmediatamente a preguntarnos ¿cómo puede producir un sistema tan simple un espectro conteniendo tantas líneas? El número de grados de libertad es solamente seis, tres de los cuales representan su capacidad para moverse en el espacio ¿Cómo, entonces, pueden ser posibles tantas vibraciones? Y, de nuevo, ¿por qué no aparece la energía de estas vibraciones en la medida de los calores específicos?».

órbita superior (inferior) a otra inferior (superior), y a continuación suponer que esta energía es emitida (absorbida) bajo la forma de un cuanto de energía, con lo cual viene descrita por la fórmula de Planck ($E = h\nu$). Igualando ambas expresiones, la de la variación de la energía y la de Planck, obtenía una relación que daba frecuencias en función de parejas de números (los asociados a cada una de las órbitas). En consecuencia, saltos entre diferentes órbitas producían frecuencias (esto es, líneas espectrales) diferentes. A partir de ahí, Bohr era capaz de deducir las relaciones matemáticas correspondientes a diferentes grupos de líneas espectrales, que Johann Jacob Balmer y Johannes Robert Rydberg habían descubierto más o menos jugando con números. La espectroscopia se reducía a la física atómica ¹².

Pero los desarrollos de la espectroscopia y la física atómica que he explicado hasta el momento no son, a pesar de su interés, suficientes para poder entender el tipo de trabajos a los que se dedicó Miguel Catalán. Es necesario entrar en detalles algo más técnicos, más espectroscópicos.

2.2. ESPECTROSCOPIA. ALGUNOS ASPECTOS TÉCNICOS ¹³

La mayoría de los espectros de líneas son muy complejos, tanto por lo que se refiere al número de líneas, a su situación, como a la repartición de intensidades entre ellas. Este es el caso,

¹² Algunos trabajos que abordan aspectos de la historia de la mecánica cuántica en los que los temas espectroscópicos aparecen de forma prominente son: Forman (1968, 1970), Cassidy (1979) y Jammer (1989).

¹³ En esta sección utilizaré fundamentalmente la introducción de un trabajo inédito de Miguel Catalán: la memoria «Los movimientos electrónicos del átomo del hierro revelados por su espectro», que presentó al Concurso Pelford (Barcelona 1930). Este documento se encuentra en el Archivo Catalán. El contenido de la introducción se asemeja algo a la sección 2 de Catalán (11); esto es, a la publicación nº 11 de la bibliografía de Catalán incluida en este libro. La notación de Catalán no siempre coincide con la que seguían otros espectroscopistas. Sobre estos puntos ver también, por ejemplo, Fowler (1926), del que, por cierto, Catalán se inspiró para la introducción de su ensayo Pelford, copiando incluso algunos párrafos.

por ejemplo, del espectro del hierro en arco, que contiene más de 3.000 líneas (este espectro fue uno de los que más estudió Catalán a lo largo de su carrera). No es extraño que durante mucho tiempo fuese prácticamente imposible interpretar lo que representaban los espectros complejos; en cambio se lograron algunos éxitos con la interpretación de los sencillos, como el del hidrógeno, los metales alcalinos y hasta los alcalinotérreos.

En todos los espectros sencillos se descubrieron series de líneas formadas por unas cuantas rayas que van aproximándose unas a otras, según se va hacia el violeta, perdiendo su intensidad hasta que dejan de hacerse visibles, tendiendo hacia una posición límite que se denomina "frecuencia límite" de la serie. Ese conjunto de líneas podía ser representado por fórmulas matemáticas, una de las cuales era la de Rydberg, $\nu = A - R/(m + \mu)$, donde ν representa los sucesivos números de onda de las líneas correspondientes a valores consecutivos enteros de m , siendo R una constante universal, μ una constante de la serie (que para el hidrógeno, el más sencillo de todos los espectros, vale cero) y A el límite de la serie. Cada línea venía representada por la diferencia de dos valores: uno el límite de la serie a que pertenecía y otro el término variable correspondiente a un determinado valor de m en la fórmula.

Se reconoció que en los espectros coexistían diferentes tipos de series, relacionadas estrechamente unas con otras. Tales series tomaron nombres algo arbitrarios: principal, neta, difusa y fundamental, representadas por las iniciales de las correspondientes expresiones inglesas (*principal, sharp, diffuse y fundamental*), P, S, D, F ¹⁴.

Las partes variables o términos de estas series se representaron abreviadamente por mS, mP, mD y mF (posteriormente se encontraron otras series que dan origen a términos denominados mG, mH, mI, ...). Ahora bien, se encontró que los límites de estas series no eran sino una de las partes variables de otra serie, con el valor particular que corresponde a un determinado valor

¹⁴ En el ensayo al que me he referido (y en otros trabajos también) Catalán utilizaba minúsculas (pasaba a mayúsculas al introducir los multipletes). Yo sigo el criterio de Fowler (1926).

de m . Así, por ejemplo, la serie principal se formaba con el primer valor de la secuencia mS y la secuencia mP (esto es, $1S-mP$), mientras que las series neta, difusa y fundamental eran, respectivamente, $2P-mS$, $2P-mD$ y $3D-mF$.

Generalizando estos resultados se llegó al «principio de combinación» de Ritz, según el cual las líneas de una serie siempre aparecen como la diferencia de dos términos, uno de los cuales es el límite de la serie y el otro una “parte variable” o “término” de una secuencia dada por valores integrales sucesivos de m , siendo, en el caso de las series principales, el límite el primer término de la secuencia de una de las otras series. Para Catalán, el principio de combinación de Ritz venía a decir que «lo que existen son secuencias, es decir, términos variables mS , mP ... y combinando dos valores particulares cualquiera resulta una línea espectral, por ejemplo, $3P-5D$ ».

El principio de Ritz obligó a introducir un «cuanto azimutal», k , para restringir las transiciones (o diferencias) permitidas. Para ello se relacionaban los términos S , P , D , F , etc., con los k de la manera siguiente:

$$S \leftrightarrow k = 1; P \leftrightarrow k = 2; D \leftrightarrow k = 3; F \leftrightarrow k = 4; G \leftrightarrow k = 5; \\ H \leftrightarrow k = 6; \dots$$

siendo la regla de selección

$$\Delta k = +1, -1$$

Esto es, existen, por ejemplo, $2S-2P$ y $3P-4D$, pero no $2S-4D$ ni $3D-3S$.

Las tres líneas más importantes de un espectro son

$$1S-2P, 2P-2S, 2P-3D,$$

o, lo que es lo mismo, las cabezas de cada una de las series principal, neta y difusa.

Un punto muy importante es que todos los términos, salvo el

S, pueden ser múltiples. Así, en el sodio son dobles, en los alcalinotérreos unos son simples y otros triples. De esta manera, se entendió la existencia de series denominadas singletes, dobletes y tripletes. La evidencia espectroscópica obligó, no obstante, a introducir una nueva regla de selección, ya que, por ejemplo, las combinaciones posibles entre dos términos triples son nueve aritméticamente, mientras que físicamente solo se obtienen seis. A cada uno de los niveles que forman el término le atribuyó Arnold Sommerfeld (1920) un valor que denominó «número cuántico interno», j ¹⁵, que interpretaba como derivado de un campo magnético intra-atómico, estando la regla de selección formada por dos normas: la primera que solo son posibles las líneas que corresponden a transiciones en las que la variación de j esté determinada por

$$\Delta j = +1, 0, -1$$

y la segunda (introducida por Alfred Landé), que la transición $j=0$ a $j=0$ está prohibida (o es de intensidad cero)¹⁶.

Las intensidades de las líneas también estaban reguladas por transiciones cuánticas, siendo más intensas en cada grupo las líneas cuya variación en j era paralela a la variación de k .

En este punto podemos regresar al átomo de Bohr, en donde cada átomo está formado por electrones que se agrupan en «pisos»¹⁷, uno por cada período de la tabla periódica. Los electrones que ocupan los pisos incompletos más exteriores son los responsables de la producción del espectro óptico. En la teoría primitiva, el responsable era solamente un electrón de valencia, pero más tarde pasó a aceptarse la idea de que es el conjunto electrónico el que interviene en el espectro.

Como se apuntó en la sección anterior, según la teoría bohr-iana cada átomo se puede encontrar en diferentes estados esta-

¹⁵ Él utilizó inicialmente la letra n ; el cambio a j fue a propuesta de Bohr.

¹⁶ El número cuántico interno j nos volverá a aparecer de una manera destacada en el próximo capítulo.

¹⁷ Expresión de Catalán. Actualmente se denominan «capas».

cionarios, no radiantes, caracterizados por una cierta energía W . Cuando pasa de uno a otro estado, emite o absorbe una línea espectral, cuya frecuencia es proporcional a la variación de la energía según la ecuación cuántica de Planck,

$$W_1 - W_2 = h\nu$$

en donde W_1 y W_2 representan las energías de los dos estados.

Un átomo no puede radiar en cada tránsito más que una sola línea, pero como en cualquier sustancia existen millones de átomos, el conjunto de los cuales produce un espectro con muchas líneas, la intensidad de cada una de las cuales es la expresión de la probabilidad de la transición atómica en cuestión.

Existen diferentes clases de estados estacionarios caracterizados por los sucesivos valores cuánticos azimutales k del electrón radiante. Teniendo en cuenta la asociación que vimos se estableció entre k y S, P, D, F, ... , estas posiciones se designan por tales letras, anteponiéndoles un número para distinguir el piso que ocupa el correspondiente electrón. Así, un electrón 4S es un electrón que ocupa una órbita de número cuántico $k=1$ en el piso cuarto.

En los espectros sencillos, las tres líneas importantes a que me refería antes son producidas por un electrón de valencia, que pasa de la órbita mS, que es su órbita normal, a otra $(m+1)P$ y luego de ésta a $(m+1)S$ o a $(m+2)D$.

Este era, en esencia, el transfondo sobre el que apareció, en 1922, el trabajo de Catalán de los multipletes, que dio una clave esencial para la estructura de los espectros complejos. Aunque los multipletes son objeto del capítulo siguiente, avanzaré ahora que en los espectros complejos existen grupos de líneas o multipletes que responden a las reglas de selección expuestas antes y que están formados por términos de multiplicidades mayores que las tres encontradas en los espectros sencillos. En el manganeso (que era el elemento con mayor multiplicidad conocida), con el que Catalán hizo su descubrimiento, hay multipletes de cuartetes, sextetes y octetes.

Con los multipletes se pudieron entender muchos espectros que habían resistido hasta entonces los métodos analíticos exis-

tentes con anterioridad a 1922. Todos ellos resultaron estar formados por multipletes que proceden de la combinación de términos de multiplicidades diversas. En un mismo espectro solo se encuentran multiplicidades de la misma paridad. Así, en el hierro hay tripletes, quintetes y septetes. Los espectros de los elementos de un solo electrón de valencia presentan espectros de multiplicidad par y según se van añadiendo o restando sucesivamente electrones, de uno en uno, va cambiando alternativamente la paridad del espectro, y esto lo mismo en átomos que en iones. Por ejemplo, el espectro del hierro neutro es de orden impar, el del átomo ionizado una vez es, de acuerdo con esa regla, de orden par, y el doblemente ionizado, de nuevo de orden impar. Para dar cuenta de estas especificaciones se introdujo una notación en la que un índice superior izquierdo representaba la multiplicidad del sistema y otro inferior derecho el valor del número cuántico interno; así, por ejemplo, 3P_1 , representa un término de un triplete para el que $k=2$ (esto es, P) y $j=1$.

Como veremos en el próximo capítulo, Sommerfeld fue capaz de extender su número cuántico interno, que había sido introducido para espectros más sencillos, de manera que fuese compatible con las observaciones de Catalán, un trabajo que completaría Landé (1923).

Muy importante también fue la aportación de Henry Norris Russell y Frederick A. Saunders (1925), quienes demostraron que había que añadir dos nuevos grupos a los tres conocidos del calcio¹⁸. Ahora bien, estos grupos precisaban para su producción cantidades de energía mayores que las necesarias para arrancar un electrón de valencia. Russell y Saunders concluyeron que la energía debía estar dividida entre dos (o más) electrones, cada uno de los cuales está desplazado a un nivel superior de energía; o, en otras palabras, que el segundo electrón también contribuía a la producción del espectro. Ambos electrones (de valencia) podían, por tanto, saltar al mismo tiempo a órbitas exteriores o interiores y la pérdida neta de energía sería radiada como un cuanto (esto es, como una radiación monocromática).

En su análisis teórico, Russell y Saunders demostraron que

¹⁸ Algunos de estos grupos habían sido estudiados por del Campo (1922).

todo esto se podía explicar suponiendo que los momentos angulares de los dos electrones de valencia estaban cuantizados espacialmente el uno con respecto al otro y su suma cuantizada con respecto al momento angular del resto del átomo (de aquí surgió lo que se vino en llamar «acoplamiento Russell-Saunders»¹⁹).

Por cierto, es importante señalar que un factor que contribuyó a que Russell y Saunders produjesen el análisis teórico que acabo de citar, se encuentra en el trabajo de Meghnad Saha sobre el papel de la ionización en los espectros estelares. Durante el proceso de aplicar las ideas de Saha (que coincidió con Catalán en Londres, en el laboratorio de Fowler, y que de hecho fue quien notificó a Russell acerca del descubrimiento de los multipletes), apareció que las tierras alcalinas no se comportaban como se preveía. Analizando el espectro del bario, en particular, Russell se encontró haciéndose preguntas para las que los físicos no tenían respuestas, lo que le impulsó a buscar, junto a Saunders, una teoría racional de los espectros atómicos²⁰.

Del trabajo de Russell y Saunders, junto a contribuciones de Wolfgang Pauli (1925), Samuel Goudsmit (1925) y Werner Heisenberg (1925), surgió una teoría general de los espectros complejos que fue desarrollada de manera práctica por Friedrich Hund (1925 a y b). Se llegó de esta manera a la siguiente imagen atómica: un átomo aparecía como formado por un conjunto de electrones Z , igual a su número de orden en la tabla periódica. Este conjunto se distribuía en pisos (capas), cada uno numerado según orden creciente, partiendo del valor uno. Al número del piso se le denominaba n . Cada piso se dividía en varios subpisos, caracterizados por el valor k , igual a uno para el subpiso inferior, y creciendo de unidad en unidad hasta alcanzar el valor n , que es su límite máximo. De este modo, el primer piso solo tiene un subpiso pero el cuarto tiene ya cuatro. El número de electrones que contiene cada subpiso es igual a $4k-2$. Por consiguiente, los subpisos $k=1$ (esto es, los S) tienen dos electrones, seis los P y diez los D.

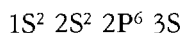
¹⁹ Ver, por ejemplo, Condon y Shortley (1967, cap. VII).

²⁰ Kenat y DeVorkin (1990).

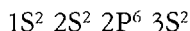
Se tiene, por consiguiente:

Subpiso n_k	1_1	2_1	2_2	3_1	3_2	3_3
Nº. electrones	2	2	6	2	6	10

A las letras S, P, ... se les añadió exponentes para indicar el número de electrones equivalentes de aquel subpiso. Así, el átomo de sodio ($Z=11$) se representaba con esta notación por



y el de magnesio ($Z=12$) por



Pero ya es hora de abandonar estas nociones de espectroscopia, por mucho que sean, inevitablemente, insuficientes.

2.3. SOBRE LA DIFICULTAD DE LAS INVESTIGACIONES ESPECTROSCÓPICAS

Esta sección constituye algo así como un breve apunte, un poco al margen, sobre la dificultad de los trabajos espectroscópicos. Su razón de ser es hacer uso de un espléndido documento de Catalán, no fechado (pero muy probablemente del Miguel maduro, posterior a la Guerra Civil), en el que nuestro protagonista daba, a propósito de un informe sobre un artículo, algunas normas que, en su opinión, debían seguir todos sus colegas ²¹.

«Todos los autores —comenzaba Catalán— que se dedican al análisis espectrográfico han tropezado con las dificultades de este importante método físico. La principal de todas ellas está en la pobre concordancia de los resultados si no se practican los análisis con las debidas precauciones para conseguir una rigurosa igualdad en las condiciones operatorias, igualdad no siempre fácil de

²¹ Archivo Catalán.

alcanzar». Fabricarse, por ejemplo, «unas escalas de diluciones y comparar con ellas después una mezcla problema para la identificación de los elementos de ésta no ofrece grandes dificultades operatorias. Pero a menos que se trabaje con la debida rigurosidad los resultados que se obtendrán en distintas ocasiones serán diferentes. Son muchos los factores de que depende la densidad de impresión de una raya espectral en la placa fotográfica y si estos no se controlan cuidadosamente la medida de esa densidad o su comparación con la densidad de la línea de la escala nada significarán».

Por todo esto, para Catalán era «indispensable al dar los resultados de un análisis espectrográfico [señalar] las condiciones en que se ha realizado. No basta con decir que se ha operado de tal modo sino que es preciso además especificar las líneas que se han encontrado adecuadas en la región espectral escogida para la identificación de los distintos elementos. Y, naturalmente, tratándose de una dosificación, aunque ésta tenga un carácter semi-cuantitativo solamente, deberá también especificarse qué línea o qué líneas han servido para la comparación con la escala correspondiente. Es de todo punto necesario el explicar además cuales han sido los cálculos empleados para fabricar las escalas y las cantidades determinadas de estos que se han empleado. Sólo figurando estos datos en el trabajo, podrán los lectores de este juzgar su valor».

Tales eran algunas de las dificultades, según nuestro protagonista, de la investigación espectroscópica.

2.4. PRIMEROS PASOS DE LOS ESTUDIOS ESPECTROSCÓPICOS EN ESPAÑA

Los ecos del trabajo pionero de Kirchhoff y Bunsen llegaron pronto a España. En el número del mes de noviembre de 1861, apareció en la *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, órgano de la Real Academia de Ciencias de Madrid, una noticia de Dumas (1861), tomada de la revista *Cosmos*, en la que se daba cuenta del descubrimiento del método

del análisis espectral²². «La filosofía natural —se lee en la noticia— acaba de enriquecerse con resultados inesperados. Si al principio del siglo, en manos de Davy, la electricidad, que llegó a ser un medio de análisis general y poderoso, pudo aislar los metales de los álcalis ... y también los metales de las tierras, en el día la luz no menos fecunda en portentos, después de haber dado la fotografía a las artes, viene a ser a su vez en manos de MM. Bunsen y Kirchhoff, dos eminentes profesores de la Universidad de Heidelberg, un instrumento de análisis universal sumamente delicado, que revela la existencia de metales desconocidos». A continuación, Dumas repasaba la historia anterior al descubrimiento de los dos profesores alemanes, pasando después a explicar muy brevemente en qué consistía el nuevo método de análisis químico, que calificaba de «extraordinario por su sencillez y certidumbre». «En adelante —señalaba— ningún elemento conocido o desconocido podrá ocultarse a las investigaciones de la química: se llenarán los vacíos que existen todavía en la lista de los cuerpos simples, que impiden completar su clasificación metódica; la análisis de las aguas minerales dará mejores resultados para explicar sus propiedades terapéuticas; la geología, que empleaba sobre todo los restos de los seres organizados como prueba de ser contemporáneos de los terrenos sedimentarios, invocando la presencia o la falta de ciertos elementos en estos mismos terrenos como caracteres no menos decisivos, restablecerá la constitución química de los mares antediluvianos en donde han sido depositados, del mismo modo que ha restituido hace medio siglo la población vegetal o animal ... Ya no será necesario tocar un cuerpo para determinar su naturaleza química; bastará verle».

Con semejante carta de presentación, es de suponer que el método espectroscópico recibiera rápidamente algún tipo de atención en España. Según López de Azcona (1988), en España la primera oferta de un espectroscopio la hizo el representante en nuestro país del instrumentalista "Strinhil" a José Granda, profesor de Química en la Escuela Especial de Ingenieros de Minas, quien después de realizar algunos experimentos de cátedra, elevó

²² Sobre la *Revista de los Progresos* y algunas de las novedades que introdujo en España, ver Pérez García y Muñoz Box (1988).

el 12 de enero de 1862 a la Junta de Profesores la propuesta de que se adquiriese el instrumento, solicitud que fue rechazada por considerar que representaba una técnica demasiado avanzada para la Escuela ²³.

Poco después se publicaban dos traducciones al castellano del artículo de Kirchhoff y Bunsen de 1860 («Análisis química fundada en las observaciones del espectro»): en la *Revista Minera* (en el número del 15 de febrero de 1862) y en la *Revista de los Progresos* (Kirchhoff y Bunsen 1862) ²⁴. Al mismo tiempo que aparecían estas traducciones, Granda informaba acerca del nuevo instrumento a un compañero, Antonio Casares Rodrigo, profesor de la Universidad de Santiago especializado en los análisis químicos de los medios minerales. Tuvo más suerte con su claustro Casares, ya que la universidad adquirió el espectroscopio. Más tarde construyó él mismo uno algo más perfeccionado, aplicándolo al estudio de aguas subterráneas gallegas de Burgas, Orense y Loujo. Encontró en ellas dos metales recién descubiertos, el rubidio y el cesio, precisamente los elementos que Dumas mencionaba en su noticia en la *Revista de los Progresos de las Ciencias* se habían descubierto con la ayuda del análisis espectral. Fruto de estas investigaciones fueron dos publicaciones (Casares Rodrigo 1865 y 1866) que muy probablemente sean los primeros trabajos sobre estos temas debidos a un científico español ²⁵.

Los intereses espectrográficos de Casares Rodrigo los heredó

²³ No estoy considerando aquí la aportación de los astrónomos españoles al análisis espectral, que aparentemente ya utilizaban este tipo de técnicas hacia 1860. Ver López Arroyo (1972), en donde se mencionan las observaciones realizadas por D. Barreda, catedrático de la Universidad de Salamanca, durante el eclipse de Sol que tuvo lugar el 18 de julio de 1860.

²⁴ «Se sabe —comienza este inmortal artículo de Bunsen y Kirchhoff— que muchas sustancias introducidas en una llama tienen la propiedad de producir en el espectro de ésta, rayas brillantes particulares: en la existencia de estas rayas puede fundarse un dominio de las investigaciones químicas, y permite resolver problemas hasta ahora insuperables. Nos limitaremos en esta Memoria a aplicar este método a la investigación de los metales alcalinos y alcalino-térreos, haciendo resaltar su valor con una serie de ejemplos».

²⁵ Antes (a partir de 1863), y también en la *Revista de los Progresos de las Ciencias*, habían aparecido bastantes noticias relativas al análisis espectral (Pérez García y Muñoz Box 1988, p. 548).

su hijo menor, el también químico José Casares Gil, quien aparecerá mencionado en algún momento a propósito de Ángel del Campo. Casares Gil fue profesor, primero de la Universidad de Barcelona y después de la de Madrid. Durante su etapa catalana fue nombrado miembro de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona, dedicando su discurso de ingreso al tema de «El espectroscopio y sus principales aplicaciones» (Casares Gil 1895). También publicó en los *Anales* de la Sociedad Española de Física y Química un artículo, aunque ya en 1909 y siguiendo la línea de investigación paterna, sobre algunos métodos espectrográficos empleados en el análisis de aguas minerales (Casares Gil 1909).

Si nos atenemos a la bibliografía de trabajos espectroscópicos preparada por López de Azcona (1969), los trabajos mencionados son los únicos que preceden a los del maestro de Miguel Catalán, Ángel del Campo, a quien paso a continuación.

2.5. ORÍGENES DE LOS ESTUDIOS ESPECTROSCÓPICOS EN LA JAE: ÁNGEL DEL CAMPO

Ya mencioné en el capítulo anterior que Catalán entró en el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la JAE en enero de 1915. En un documento preparado en 1918, él mismo resumía, en el impersonal estilo de las solicitudes oficiales, los principales aspectos de su vinculación inicial al Laboratorio ²⁶:

En el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la Junta para ampliación de estudios e investigaciones científicas lleva trabajando desde 1º de Enero de 1915 habiendo seguido el curso de Química-Física a cargo de los Dres. Moles y Guzmán, tomado parte en el curso de Electroanálisis a cargo del Dr. Guzmán, seguido el curso de Espectrografía que dirige el Dr. A. del Campo, ha colaborado en el curso que Mr. Urbain, Catedrático de la Sorbone, dio en dicho laboratorio en los meses de Marzo y Abril próximos pasados.

²⁶ Carpeta «Miguel A. Catalán», Archivos de la JAE.

Está claro que fue la espectroscopia la disciplina que atrajo su atención. Probablemente percibiese las enormes posibilidades que tenía el análisis espectral. Este sentimiento se apreciaba, de hecho, en su tesis doctoral, que trataré más adelante, en donde escribió ²⁷:

A primera vista [y en vista de la abundante literatura existente] parece imposible poder encontrar *algo nuevo* que estudiar [en espectrografía], en caminos al parecer tan trillados; sin embargo, cuando ya se han leído muchos trabajos de diversos autores, sobre parecidos asuntos, y se ve la dificultad tan grande que hay para unir unos con otros, ya que la más pequeña variación en las condiciones de producción de los espectros trae consigo un gran número de variaciones en su aspecto, comienza a comprenderse que el camino que queda por recorrer es inmenso; que faltan muchos hombres que por un trabajo intenso llenen las grandes lagunas que quedan entre las numerosas memorias publicadas, para que así pueda leerse de un modo claro el libro abierto que nos presenta hoy la espectrografía, y que apenas si sabemos deletrearlo.

Fue, por consiguiente, a la sección de espectroscopia del Laboratorio de Investigaciones Físicas a la que se unió Catalán, una sección dirigida por Ángel del Campo y Cerdán (1881-1944), quien también sería su director de tesis ²⁸. Veamos a continuación cómo del Campo entró en contacto con la JAE y cómo ésta decidió apoyar las investigaciones espectroscópicas.

Como otros jóvenes con aspiraciones científicas, Ángel del Campo se puso en contacto con la JAE para solicitar una de las pensiones que esta concedía. Su solicitud, fechada el 13 de sep-

²⁷ Catalán (3, p. 4).

²⁸ Parece ser (del Campo y Francés 1993) que fue el químico Emilio Jimeno Gil, que había estudiado Químicas y enseñado en la Universidad de Zaragoza (más tarde fue catedrático de Química Inorgánica de Oviedo, Barcelona y, finalmente, Madrid), quien recomendó a Catalán que hiciera su doctorado en espectroscopia y quien lo presentó a Ángel del Campo. Jimeno perteneció a la promoción 32 (1906-1910) y Catalán a la 35 (1909-1913).

Breves apuntes acerca del trabajo y carrera del Campo se encuentran en López de Azcona (1988) y en la contestación de Blas Cabrera (1927) al discurso de entrada de del Campo (1927) en la Real Academia de Ciencias de Madrid.

tiembre de 1908, se conserva en el archivo de la Junta. En ella del Campo, «de 27 años de edad, natural de Cuenca, Doctor en Ciencias y Auxiliar de la Universidad Central, en la Facultad de Ciencias sección de Químicas y asignatura de Análisis Químico General» (materia ésta de la cual sería más tarde catedrático, también en Madrid), solicitaba una de las pensiones que la Junta había convocado en la *Gaceta de Madrid* el 5 de agosto. En su solicitud, del Campo expresaba que deseaba estudiar «Análisis Químico Mineral por el método Electrolítico», un tema que a su juicio se encontraba comprendido en uno de los grupos de la convocatoria, el referido a «Métodos de análisis de minerales»²⁹.

El lugar en el que del Campo quería ampliar sus estudios era París, «u otro sitio como Lieja (Bélgica) donde se habla francés, idioma que traduce y puede hablar en poco tiempo el solicitante». De hecho, ya había realizado algunas gestiones, señalando que tenía «la certeza de ser admitido en el Laboratorio Central de la C.a française de los Metales, cuyo director, Mr. Augusto Hollard, eminencia francesa en asuntos de Electrólisis, ha tenido la bondad de ofrecerle plaza excepcional de alumno en su laboratorio mediante la retribución de 2.0 francos por día». A juicio de del Campo, este laboratorio, de una compañía comercial, tenía claras ventajas sobre los más convencionales de centros de enseñanza, ya que al «no estar sometido al rigor de plan de enseñanza oficial ... puede el alumno obtener mayor provecho en el tiempo y en la Ciencia del maestro, que en otro donde los alumnos sean varios, y que por serlo de enseñanza no realicen trabajos tan serios como los que indudablemente se han de efectuar en los laboratorios de tan importante Compañía francesa».

La poca experiencia que las palabras de del Campo parecían indicar se confirmaba cuando, al final de la solicitud, éste señalaba que en lo que a la duración de la pensión se refería, le era difícil

²⁹ Como mencioné en el capítulo precedente, durante los primeros años la JAE utilizó la táctica de seleccionar temas de investigación/estudio específicos para sus convocatorias, aunque también incluía un grupo de pensiones para temas libres; de hecho, del Campo señalaba en su solicitud que si se consideraba que el problema que proponía no entraba dentro del grupo «Métodos de análisis de minerales», pedía que se le incluyese «en alguna de las 12 pensiones de asunto no fijado».

José Manuel Sánchez Ron



Ángel del Campo en el laboratorio

«poder anticipar nada a quien como el firmante desconoce en absoluto la vida de París y la altura a la que encontrará sus conocimientos relativamente a los que puede adquirir de maestro tan eminente». Basándose en lo que Hollard le había indicado, se aventuraba a solicitar tres meses. Tal era la situación de las ciencias físico-químicas en la España de la época.

A pesar de lo que acabo de señalar, hay que mencionar que del Campo ya tenía alguna experiencia en el ámbito de la espectroscopia. Su tesis doctoral (del Campo 1907), defendida en diciembre de 1906, versaba precisamente sobre este tema ³⁰. Para llevar a cabo su investigación doctoral, había utilizado (del Campo 1907, p. 15) aparatos y material del Laboratorio de Física de la Facultad de Ciencias, al que ya me referí en el capítulo anterior. Habida cuenta de las disponibilidades del laboratorio, lo más probable es que se beneficiara de los instrumentos del departamento de Acústica y Óptica, en donde existían algunos espectroscopios. Con el que trabajó del Campo era uno, uniprisma, de la marca S. Dubosq, con ocular de gran aumento, de Pellin, que iba provisto de un retículo formado por solo dos hilos perpendiculares entre sí. Únicamente la parte luminosa del espectro estaba al alcance del espectroscopio, por lo cual las regiones ultrarroja y ultravioleta quedaban fuera del alcance de la investigación. Se trataba, por consiguiente, de un instrumento nada excepcional.

En cuanto al contenido de la tesis, éste era de naturaleza claramente química, como el doctorando dejaba claro en los primeros compases de su trabajo:

La mayoría de los trabajos hasta hoy efectuados, de aplicación práctica de los espectros de absorción, se refieren a lo siguiente: dada una reacción coloreada, común a un grupo de cuerpos de la misma función, pero de distinta composición química, se observa el espectro absorbido que cada uno de los cuerpos del grupo presenta al producir con él la reacción dada; siendo diferente el espectro observado en cada caso, queda la reacción primitiva, que aparentemente era la misma para todos, desdoblada en tantas otras como cuerpos comprende el grupo

³⁰ El tribunal que juzgó la tesis estaba compuesta por Eduardo Lozano y Ponce de León, Eugenio Piñerúa, Juan Fages, Blas Cabrera y Manuel de Justo.

estudiado; pudiendo los distintos espectros servirnos para diferenciar dichos cuerpos entre sí y para caracterizar a cada uno reconociendo su presencia, en muchos casos, se comprende perfectamente la importancia de estas observaciones, en las que el espectroscopio pone de manifiesto diferencias de coloración, imperceptibles a simple vista, y que responden sin duda alguna a diferencias de composición.

Lo que del Campo pretendía con su investigación era esencialmente atacar el problema inverso al anterior: «pensamos si cuerpos de composición química idéntica, pero constitución diferente, es decir, si cuerpos isómeros, que presentan pequeñas diferencias en su funcionamiento, producirán espectros absorbidos diferentes de aquellas reacciones coloreadas que les sean comunes. Y con esta idea por norma, susceptible a nuestro entender, de un mayor desarrollo, nos hemos limitado al estudio de un caso concreto».

No obstante el tema de la tesis, no parece que Ángel perseverase inicialmente en el campo del análisis espectral. Así, en 1909 aparecieron en los *Anales* de la Sociedad Española de Física y Química tres artículos (del Campo 1909 a, b y c), ninguno de los cuales tocaba la espectroscopia; se trataba de análisis en la tradición más clásica de la química, realizados en el Laboratorio de Análisis Químico General de la Facultad de Ciencias madrileña. Y cuando se revisa la lista de sus publicaciones, vemos que hasta los alrededores de 1914 no predominan los trabajos espectroscópicos, encontrándose artículos con títulos tan significativos como, por ejemplo: «Estudio estereoquímico comparativo de los cuerpos oxi-exano -2-5 y dimetilfurfurano» (*Revista de la Academia de Ciencias* 1910), «Algo acerca de los éteres fosforescentes deelepíne» (*Anales de la Sociedad Española de Física y Química* 1911), «Determinación volumétrica de muy pequeñas cantidades de zinc» (*ASEFQ* 1913) o «La determinación de agua en las grasas minerales» (*ASEFQ* 1914).

Volviendo a la pensión solicitada por del Campo en 1908, tenemos que le fue concedida a primeros de 1909 (R. O. de 26 de enero), pero no para lo que había solicitado en principio, sino para estudiar «Análisis de alimentos».

Conocemos los detalles principales de su llegada y actividades

en París, gracias a una memoria que envió a la Junta el 11 de agosto. Señalaba allí el nuevo pensionado que había encontrado todo tipo de facilidades en el estudio de los métodos de análisis de alimentos «gracias a los buenos oficios y amistades de los catedráticos españoles D. José Rodríguez Mourelo y D. Juan Fages». Como apuntaba en otro informe posterior a la JAE, estos estudios los realizó en el Laboratorio Central de Investigaciones dependiente del Ministerio de Agricultura francés ³¹. Pero del Campo no abandonó sus primeros, menos aplicados, intereses y así señalaba que en el tiempo libre que le dejaba este tipo de trabajos, se había «creído moralmente obligado ... a estudiar el tema que primeramente solicitó sobre *Métodos de análisis mineral*». Con tal fin, Rodríguez Mourelo le presentó al químico Georges Urbain, profesor de Química mineral en la Sorbona, en cuyos laboratorios encontró acogida, «no obstante la creencia generalmente extendida en España de que en los laboratorios de París no se trabaja durante el verano» ³². Y añadía:

Y es aquí donde el que suscribe ha encontrado una gran cantidad de procedimientos y conocimientos *prácticamente desconocidos en España*.

El tema al que del Campo se dedicó en el laboratorio de

³¹ Del Campo a la Junta, 7 de mayo de 1910. Archivo de la JAE. Del Campo preparó una memoria para la JAE sobre «Los métodos de análisis de alimentos» (1910), que no he podido localizar, pero que él mismo citó en la lista de sus publicaciones que presentó a la Academia de Ciencias (Archivo de la Academia de Ciencias, Madrid).

³² Estudiante de la École de Physique et de Chimie parisina, Urbain (1872-1938) obtuvo su doctorado en 1899 con una tesis sobre tierras raras. En 1906 fue nombrado profesor ayudante de Química analítica de la Sorbona, pasando poco después (en 1908) a ocupar una cátedra de Química mineral. Su nombre está ligado fundamentalmente al de las tierras raras, campo al que se dedicó entre 1895 y 1912. Su investigación más conocida es (1907) la separación del yterbio (considerado como un elemento por Jean Marignac) en yterbio y el hasta entonces desconocido lutecio, que nombró en honor a Lutetia, el antiguo nombre de la ciudad de París. Las determinaciones de Urbain de los pesos atómicos de estos y otros elementos harían que más tarde fuese nombrado presidente del Comité Internacional de Pesos Atómicos. Sobre Urbain consultar Kopperl (1974).

Urbain fue el de la espectrografía de las blendas españolas, para lo cual también se sirvió de los servicios de Rodríguez Mourelo, que le envió 15 kgs. de blenda de los Picos de Europa, así como de los del entomólogo Ignacio Bolívar, que le mandó cuantas existencias tenía de dicho mineral en el Museo de Historia Natural, del que era director. Los análisis espectrográficos realizados a estos minerales revelaron que además del galio y el indio, «cuya presencia se dudaba, incluso en muy recientes y notables trabajos que sobre la Blenda se han hecho en España por el Sr. Llord y Gamboa, también contenía «Germanio, de cuya presencia no se tenía la menor sospecha».

Para poder continuar con estas investigaciones, del Campo solicitaba a la JAE un mes más (septiembre) de pensión. La Junta, sin embargo, denegó la petición.

A pesar de este contratiempo, no hay duda de que la estancia de del Campo en París fue positiva. En colaboración con Urbain y otro miembro del grupo de éste, Claire Scal, preparó un artículo (fechado en París, septiembre de 1909) titulado «Estudio espectrográfico de las blendas. Investigación acerca de la blenda de Picos de Europa -Presencia del germanio en la misma», que aparecería publicado en los *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* (Urbain, del Campo y Scal 1909).

Una parte significativa del artículo de del Campo y los dos científicos franceses consiste en explicaciones de detalles técnicos³³: las ventajas, por ejemplo, de los espectros de arco sobre los de chispa, «que experimentan grandes variaciones cuando se modifican las condiciones de la descarga»; el método a seguir para producir el arco e impresionar las placas; la cantidad de materia necesaria para los ensayos; o recordar que para «llevar a cabo el estudio de cada espectrograma de una manera cómoda, es necesario poseer además una reproducción del espectro del hierro de tamaño conveniente, en la que las principales rayas tengan marcada su longitud de onda correspondiente ... sobre este espec-

³³ «Haremos —señalan los autores (p. 433)— una ligera reseña de aquella parte del método de que nos hemos servido, porque su técnica, aunque difiere un poco de la clásica adoptada en la mayoría de los laboratorios, *no aparece consignada todavía en casi ningún Tratado de Química Analítica*» (énfasis añadido).

tro de referencia se anota la posición relativa de las principales rayas de todos los elementos; de tal modo, un examen rápido del espectrograma que se analiza y su comparación con la región correspondiente del de referencia, permite determinar casi inmediatamente la naturaleza de los cuerpos que originan el espectro en cuestión».

Este tipo de comentarios confirma lo que el propio del Campo había apuntado en su petición de prorroga a la Junta: que una parte importante de sus trabajos con Urbain fue el aprender nuevas técnicas espectrográficas desconocidas en España. A la postre estos conocimientos llegarían a Catalán, que de esta manera se encontró en mejores condiciones para avanzar en el campo de la investigación espectrográfica que su maestro cuando comenzó su carrera científica.

En cuanto a los resultados del artículo de los *Anales*, eran los que ya apuntaba en su solicitud a la JAE: las blendas contenían también germanio. También establecía un método que permitía concentrar considerablemente el germanio, separándolo «casi en totalidad de los demás cuerpos que aparecían en las blendas». El que la investigación no podía considerarse completa, aparecía mencionado de forma explícita, como cuando se explicaba que habían observado cierto número de rayas extremadamente débiles, «que nos ha sido imposible atribuir a ningún elemento conocido», lo que les llevaba a concluir el artículo señalando que «Compone-mos actualmente un atlas de los espectros de todos los cuerpos conocidos, con el fin de asegurarnos de que las rayas nuevas observadas en nuestro trabajo no deben ser atribuidas a ninguno de ellos; pero se comprenderá fácilmente que es esta empresa muy larga y difícil a causa de la misma extraordinaria sensibilidad del espectro; por tales circunstancias, entendemos que todo el mundo encontrará discreto que reservemos la publicación de la parte más original e interesante de nuestras investigaciones para una fecha ulterior.

Movido por tales razones, en marzo del año siguiente del Campo volvió a solicitar a la Junta una nueva pensión; esta vez para cuatro meses (de julio a octubre), de los que tres los quería pasar en París, de nuevo con Urbain, «con quien me une una

gran amistad y afecto»³⁴, y uno en Bélgica. La pensión le fue concedida, pero por motivos que desconozco no hizo uso de ella, quedando, en principio, dispuesta para ser utilizada en otro momento.

Pero en Madrid las investigaciones de del Campo no progresaron. Veamos cómo describía sus problemas en una nueva solicitud a la JAE fechada el 5 de enero de 1911.

Exponía allí que desde su estancia en París en el verano de 1909, «o sea hace aproximadamente año y medio, tiene interrumpido este estudio [el de las blendas], que a Mr. Urbain prometió continuar en España, por falta de material necesario, del que se carece en todas las facultades de Ciencias de la Nación, constituyendo esto algo depresivo para nosotros, dada la importancia de estos estudios en el mundo, merced a los que se han llevado a efecto grandes descubrimientos». Y continuaba:

El que suscribe puede probar a la Junta de su digna presidencia, si ésta lo creyera necesario, el hecho indudable de existir en España los yacimientos más importantes conocidos hasta el día, de cuerpos tan raros y mal estudiados como el Germanio y el Galio, que en otros países, más ricos que no más estudiosos, han tenido la suerte de descubrir.

Posee además la prueba evidente, conocida en París, de la existencia en punto no alejado de Madrid, del mineral más rico en Galio, que se conoce hasta hoy, y tiene establecido el procedimiento que hay que seguir para su extracción; pero esta operación no puede hacerse en Madrid ni en sitio alguno de España por falta de un Espectrógrafo de Cuarzo, ni en París por la distancia y dificultades de transporte.

Esta abundancia de asuntos de investigación y esta falta absoluta de medios materiales con que realizarlas coloca al que suscribe en situación un tanto desairada ante sus Profesores y amigos de Francia a los que hace tiempo hizo saber que España no se quedaría sin aportar su grano de arena en este género de investigaciones.

Las consideraciones expuestas obligan al que suscribe a solicitar de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas lo siguiente:

³⁴ Solicitud de del Campo a la JAE, 29 de marzo de 1910. Archivos de la JAE.

a) Que le otorgue su apoyo moral y material [para] llevar a inmediato efecto las investigaciones hace año y medio interrumpidas.

b) Que se aplase la fecha de su actual pensión hasta tanto que pudiera ir a París, llevando pruebas de haber aprovechado las lecciones hace año y medio recibidas.

Si la ayuda solicitada es concedida inmediatamente, esta fecha podría ser 1º de Junio o 1º de septiembre próximos.

Si la Junta, en su superior criterio, no considera los estudios a que he aludido merecedores de protección; no hallara justificadas las razones que se exponen; o no pudiera otorgar la protección pedida, por creer preferente atender trabajos quizás más importantes de otros pensionados posteriores de mayor nivel científico que el que suscribe, éste, aceptando siempre y respetando las sabias decisiones de la Junta de su digna presidencia, rogaría a V. E. se dignase concederle el aplazamiento indefinido o de cambio de asunto de su actual pensión.

El 25 de febrero la JAE acordaba facilitar los trabajos y material a del Campo. Para ello autorizaba a que utilizara «en el Laboratorio de Investigaciones Físicas, que dirige D. Blas Cabrera, los aparatos y material que sean precisos para realizar las investigaciones sobre Espectro química que propuso a la Junta con fecha 5 de enero último», autorizándose asimismo, naturalmente, las adquisiciones pertinentes.

Esta autorización marcó en la práctica el inicio de la sección de espectroscopia del Laboratorio de Investigaciones Físicas. Del Campo recibió, en efecto, el apoyo solicitado, como reconocía, agradecido, en una carta que dirigió al presidente de la Junta el 30 de marzo. En esta misiva el químico conquesse también pedía que se aceptase su renuncia a la pensión que tenía concedida, pero sin utilizar. Su argumento era que no deseaba ir al extranjero «hasta tanto que tuviera aquí preparada labor científica suficiente».

Pasando ahora al grupo de espectroscopia que del Campo constituyó en el Laboratorio de la Junta, nos encontramos con que, como cabía esperar teniendo en cuenta lo que acabamos de ver, la mayor parte de sus miembros eran químicos. Ahora bien, cuando se consultan los informes que publicaban en las Memorias de la JAE, se observa cómo fueron evolucionando, de ocuparse de

problemas espectroscópicos muy próximos a la química (análisis espectroquímicos), a otros más relacionados con la física (de hecho, sería Catalán quien más profundizaría en semejante línea), una evolución paralela al desarrollo de la espectroscopia mundial en la época. En este sentido en la *Memoria correspondiente a los años 1914 y 1915* (Memoria 1916, pp. 199-200) se lee lo siguiente:

Trabajos de espectroscopia, bajo la dirección de don Angel del Campo (químico).

En el curso general sobre métodos espectroscópicos trabajó don Miguel Catalán, licenciado en Ciencias Químicas.

a) Se estudió detenidamente el espectro de bandas que presenta el silicio en el arco eléctrico, buscando su origen y las condiciones químico-físicas en que se produce.

b) Bajo la dirección de don Angel del Campo y de don Santiago Piña se hicieron estudios espectrográficos de minerales españoles y extranjeros, así como también de aguas minerales españolas.

Tomaron parte en ellos don Pedro Castro, licenciado en Ciencias Naturales, y don Alfredo Marín, licenciado en Medicina.

Concurrieron también al Laboratorio, para el estudio de algunos métodos, los señores don Hipólito R. Pinilla, catedrático de Hidrología Médica de la Universidad Central; don Manuel Blasco, profesor de Electrotecnia de la Escuela de Ingenieros Agrónomos, y el R. P. Filiberto Díaz, conservador del Museo de Ciencias Naturales.

En la *Memoria correspondiente a los años 1916-1917* (Memoria 1918) ya se observan cambios significativos. Se lee, por ejemplo, que «el señor del Campo continuó sus investigaciones acerca del espectro de bandas del silicio en el más extremo ultravioleta, y empezó el estudio de algunas particularidades del mismo, así como del de rayas, desde el punto de vista de su ordenación en series. De Catalán se decía que «estudió las condiciones físico-químicas en que se producen las series espectrales del magnesio y completó asimismo las series de otros metales».

En el Laboratorio de Investigaciones Físicas, Miguel se fue formando como científico, combinando las tareas de estudiante y de investigador. Un documento revelador en este sentido se

encuentra el Archivo de la JAE ³⁵; aunque no está datado, por su contenido debe proceder de los alrededores de 1917, es decir, de la época que estaba mencionando hace un instante. Ahí, Miguel indicaba que había participado en los «Trabajos de Químico-Física» bajo la dirección de Enrique Moles y Julio de Guzmán. El programa del curso era: «Determinación de pesos moleculares», «Calorimetría», «Velocidades de reacción», «Números de transporte», «Conductividad de los electrolitos» y «Fuerza electromotriz». Con Guzmán también había participado en «Trabajos de Electroanálisis». Por último, había seguido el curso de «Trabajos de Espectrografía» dirigido por del Campo, cuyo programa era el siguiente:

- I. *Espectroscopio.*
 - 1.- Espectros de llama.
 - 2.- Espectros de gases enrarecidos.
 - 3.- Espectros de chispa.
 - a.- Observación del efecto de la auto-inducción.
 - 4.- Espectros de arco.
 - a.- Empleo de electrodos de carbón, de cobre y de plata.
 - 5.- Medición de longitudes de onda.
 - 6.- Curva de corrección del tornillo graduado del espectroscopio.
- II. *Espectrógrafo para la región visible.*
 - 1.- Obtención de espectrogramas en esta región.
- III. *Espectrógrafo para la región ultravioleta.*
 - 1.- Obtención de espectrogramas en esta región.
- IV. *Espectrogramas.*
 - 1.- Medidas que se hacen con el "Comparador".
 - 2.- Cálculo de las longitudes de onda por diversas fórmulas.
 - 3.- Identificación de las rayas de un espectrograma.
 - 4.- Medidas hechas por proyección o ampliación fotográfica.
- V. *Espectros de absorción.*
 - 1.- Obtención de espectrogramas de absorción de varias disoluciones, empleando el tubo de Baly.

³⁵ M. A. Catalán, «Trabajos prácticos efectuados en el Laboratorio de Investigaciones Físicas».

José Manuel Sánchez Ron



Miguel con el espectrógrafo (1916)



Trabajando con el espectrógrafo en el laboratorio de Investigaciones Físicas
(9 de septiembre de 1916)

Se trataba, evidentemente, de una razonable formación básica en espectroscopia experimental. Como volveré a apuntar en su momento, cuando Miguel llegó a Londres, ya llevaba mucho ganado. No era, en absoluto, un novicio, aunque, como también veremos en otro lugar, la formación que recibió en el Laboratorio de la JAE sufría de importantes limitaciones; por ejemplo, en el manejo de redes de difracción.

Como indiqué, al mismo tiempo que aprendía los rudimentos de la espectroscopia, investigaba. Así, en el documento que estoy manejando, Miguel también explicaba el «Estado actual» de su investigación. La primera versaba sobre «Un trabajo de ampliación de la memoria 'Contribución al estudio del espectro del magnesio'»; es decir, una ampliación de su primer artículo (Catalán 1). «He preparado —escribía en su informe— una porción de sales de Magnesio, con el objeto de hacer extensivas las investigaciones a un número grande de compuestos de ese metal. He comenzado la obtención de espectrogramas de todos ellos, empleando diversos electrodos y condiciones variables de exposición, intensidad de corriente, etc.». Muy probablemente, utilizaría los resultados de este trabajo en su tesis doctoral, de la que me ocuparé enseguida.

En cuanto a la segunda investigación a la que hacía referencia, sobre «Las rayas últimas del arco», explicaba que había «investigado el orden de aparición de las rayas espectrales, al aumentar la concentración, en los siguientes elementos: Litio, Sodio, Potasio, Bario, Calcio, Magnesio, Germanio, Galio e Indio», y que en aquel momento se hallaba ocupado con «la determinación de las rayas últimas de todos los elementos, habiendo ya obtenido, además de las de los cuerpos citados, las de Níquel, Cobalto, Manganeseo, Zinc y Aluminio». Esta investigación daría lugar a dos artículos (Catalán 6 y 7), publicados en 1917 y 1918.

Visto el escenario en el que Catalán iba a hacer sus primeras armas como investigador, y habiendo incluso hecho referencia a alguna de sus primeras investigaciones, es hora de que pasemos ya, plenamente, a nuestro protagonista, aunque en este capítulo sea todavía brevemente. Para ello, nada mejor que abordar su tesis doctoral, que preparó bajo la supervisión de del Campo.

2.6. TESIS DOCTORAL

El aprendizaje del oficio de investigador suele coincidir con la preparación de una tesis doctoral. Así ocurrió también en el caso de Catalán, que se había trasladado a Madrid desde Zaragoza precisamente para obtener el doctorado.

Consecuente con su formación geoquímica, en un primer momento Ángel del Campo le sugirió que el tema de la tesis fuera el análisis de los meteoritos del museo de Ciencias Naturales. «Estudié —señalaría Catalán en el curso de doctorado que sobre estructura atómica desarrolló en 1946³⁶— la composición espectrográficamente y en vez de mirar los espectros como cantidades de materia, me obsesionaron como indicadores de los átomos. Estudié el por qué de las líneas»³⁷. Declaración evidente de hacia dónde se dirigían ya sus intereses: hacia la estructura atómica que subyacía en la producción de rayas espectrales y no hacia la utilización de éstas para determinar la composición de minerales, al estilo de los trabajos que he mencionado de su maestro.

Finalmente, la tesis doctoral de Catalán (3) estuvo dedicada a la «Espectroquímica del magnesio. Nuevas líneas en su espectro y en el de la plata»³⁸. Fue juzgada el 22 de Junio de 1917, por un Tribunal formado por José Muñoz del Castillo, Eugenio Piñerúa Álvarez, Felipe Lavilla Llorens, Ignacio González Martí y Ángel del Campo. Recibió la calificación de Sobresaliente.

Antes de comentar el contenido de la tesis, es necesario explicar, aunque solo sea superficialmente, en qué consisten dos términos (o métodos) básicos en las investigaciones espectroscópicas, que, naturalmente, Catalán también utilizaba y que, de hecho, ya han aparecido mencionados en alguna ocasión.

El primer término es «espectro de arco», que hace referencia

³⁶ *Apuntes de estructura del átomo*, p. 96.

³⁷ Algunos años más tarde, Manuel Martínez-Risco (1924), que, recordemos, había ampliado estudios con Zeeman en Amsterdam, realizaría una investigación de este mismo tipo, analizando espectralmente un trozo de medio kilogramo de un meteorito que había caído el 19 de junio de 1924 en Olivenza (Badajoz).

³⁸ Reproducida en el «Anexo I» de este libro.

a uno de los cinco métodos posibles de iluminación de un elemento (o sustancia) para obtener su espectro. Los cinco métodos en cuestión son los de: llama, arco, chispa, tubo de vacío y horno eléctrico. En palabras del propio Catalán ³⁹, «la iluminación por el arco se logra haciendo saltar el arco voltaico en posición vertical entre dos cilindros del metal que se estudia, por ejemplo, el hierro, a condición de que no fundan; así la plata y el aluminio no pueden utilizarse. Si son sustancias en polvo o se dispone de poca cantidad se emplean electrodos de carbón y el inferior tiene hecha una concavidad donde se coloca la sustancia que se analiza». Cuando se estudiaban sustancias no aptas para utilizar el espectro de arco (lo que Catalán hacía con frecuencia), se tenía que recurrir al espectro de chispa que «se obtienen de modo análogo a los de arco cuando se trata de sustancias metálicas; si son sales sólidas la práctica corriente es hacer saltar primero el arco en electrodos de carbón y esos electrodos ya impregnados de sustancia emplearlos para obtener espectros de chispa. El soporte es análogo al de arco, sin embargo el aislamiento cristal es mucho mayor, lo que es necesario, ya que la descarga en el arco se hace con corriente continua de 110 o 220 volts; para la chispa se emplean diferencias de potencial que varían mucho: del orden de 2.000 a 20.000 volts».

También ayudarán a la comprensión de los logros de Catalán, los siguientes comentarios contenidos en una obra con la que nos volveremos a encontrar, *Report on Series in Line Spectra*, de Alfred Fowler (1922, p. 3):

La investigación de las series espectrales a menudo necesita conocer el comportamiento de las líneas cuando son producidas bajo diferentes condiciones de excitación. Los espectros de elementos metálicos se obtienen con más frecuencia utilizando el arco eléctrico o la descarga condensada [chispa] de una bobina de inducción y el espectro es habitualmente diferente en los dos casos ... Al pasar del arco a la chispa, con frecuencia sucede que la intensidad relativa de algunas de las líneas

³⁹ *Apuntes de espectroscopia*, curso 1947-1948 (multicopiado), pp. 6-7.

disminuye, mientras que otras se hacen más brillantes, y frecuentemente líneas nuevas hacen su aparición en la chispa.

Entrando ya en la tesis doctoral de Catalán, son varios los detalles a resaltar. En primer lugar, se hace patente a través de su lectura la complejidad de las investigaciones espectroscópicas. De hecho, los primeros párrafos (p. 3) de la tesis apuntan en tal dirección:

Los estudios de espectrografía que se han hecho en una infinidad de cuerpos y en las más diversas formas de excitación, han suministrado un caudal enorme de conocimientos interesantísimos para caracterizar los cuerpos y relacionar unos con otros, sobre todo bajo el punto de vista, tan interesante, de la constitución atómica.

Y añadía el autor: «La bibliografía que a cada elemento corresponde, es verdaderamente abrumadora; trabajos de todas clases hechos por los autores más eminentes, se suceden en unos y otros cuerpos». Era, efectivamente, difícil abrirse camino en la maraña de investigaciones espectroscópicas, que ocupaba a investigadores de todo el mundo, pero por lo que se ve en su tesis, Miguel ya se defendía bastante bien en este campo. El primer capítulo, en concreto, muestra el amplio dominio que tenía de la literatura existente; un logro que, como él mismo reconocía, le había facilitado enormemente el célebre *Handbuch der Spektroskopie* de Heinrich Kayser, profesor de la Universidad de Bonn, «en el cual se resumen concienzudamente todos los trabajos que a cada elemento se refieren; se hace una crítica de ellos y por último, se detallan en cuadros todas las medidas más importantes de las longitudes de onda de millares de millares de rayas. En la misma obra se tratan magistralmente todos los puntos teóricos y prácticos en el estado actual de esta ciencia y ella permite, rápidamente, hacerse cargo de la materia que se va a estudiar. Esta obra ha sido el eje de guía que me ha servido en mis investigaciones» (Catalán 3, p. 4).

Heinrich Gustav Johannes Kayser (1853-1940), es uno, junto, entre otros, a Balmer, Rydberg y Paschen, de los grandes nombres

de la espectroscopia de la década que va de 1885 a 1895⁴⁰. Después de ser ayudante de Helmholtz en Berlín, en donde obtuvo su doctorado (1879), pasó a Hannover (1885) como catedrático (*Ordinarius*) de la Technische Hochschule. Allí, y en colaboración con Carl Runge (catedrático de Matemáticas) estudió sistemáticamente los espectros de los elementos, mostrando, por ejemplo, cómo se reforzaban o debilitaban las líneas con la temperatura (Kayser y Runge 1888-1893). En 1894 se trasladó a Bonn, como catedrático de Física de la universidad⁴¹. Veremos en otro capítulo que Miguel llegó a visitar el Instituto de Bonn, aunque con Kayser ya jubilado.

No obstante sus numerosas e importantes contribuciones originales al desarrollo de la espectroscopia, su *Handbuch der Spektroskopie*, una obra en seis volúmenes (el primero apareció en 1900 y el último en 1912), ocupa un lugar especial en la historia de esa disciplina, siendo uno de los trabajos más citados de Kayser (1900, 1912). El caso de Catalán constituye buena muestra de semejante popularidad⁴².

En cuanto a los resultados obtenidos en la tesis, tenemos que cubrían dos elementos: el magnesio y la plata. En la parte referente al magnesio, los resultados obtenidos eran de dos clases: químicos y físicos. Con relación a los primeros, su conclusión principal fue que el espectro del metal (magnesio) era el más completo, cualquiera que fuese la naturaleza de los electrodos empleados; el de las sales era menos completo, ya que se obtenía con menor intensidad, perdiéndose por consiguiente las líneas más débiles, y el del óxido era, por motivos similares a los anteriores, el más incompleto.

En lo que a la parte física del espectro del magnesio se refiere, Miguel daba las longitudes de onda de doce nuevas líneas

⁴⁰ Hund (1974, p. 92).

⁴¹ Al abandonar Hannover, Runge, que había colaborado durante ocho años con Kayser, continuó investigando en el campo, esta vez junto a Louis Paschen, asistente de Kayser, a lo largo de siete años. En 1904 Runge pasó a Gotinga como catedrático de Matemáticas aplicadas. Algunos aspectos de los trabajos de Kayser son abordados en Kangro (1976).

⁴² En su tesis, Catalán hacía referencia al tomo V (Kayser 1910).

espectrales, que había obtenido con el método del arco, situándolas en las series espectrales ya conocidas como tripletes adicionales. También suministraba once líneas que aparecían con el método del arco y que hasta entonces solamente habían sido vistas en el espectro de chispa.

Del espectro de la plata, encontró, con el arco, diez líneas nuevas, algunas bastante intensas, y treinta y cuatro líneas de chispa presentes en el espectro de arco. Asimismo, demostró experimentalmente la existencia de la serie principal en el espectro de la plata, viendo el completo acuerdo que existía entre el cálculo y la experiencia para la longitud de onda del doblete situado en la región extrema ultravioleta.

Con su tesis doctoral, y con dos artículos que publicó previamente (Catalán 1 y 2), y que de hecho formaban parte de su investigación doctoral (estaban dedicados al magnesio y a la plata), comenzaba en realidad la carrera científica de nuestro protagonista.

CAPÍTULO 3

UN DESCUBRIMIENTO FUNDAMENTAL: LOS MULTIPLETES

3.1. PROFESOR DE SEGUNDA ENSEÑANZA Y ASPIRANTE A PENSIONADO EN EL EXTRANJERO

Antes incluso de haber obtenido el título de doctor, Catalán se había planteado la posibilidad de ampliar sus estudios en el extranjero. Habida cuenta de su vinculación con el Laboratorio de Investigaciones Físicas de la JAE, no podía ignorar las posibilidades que ofrecía esta institución con su política de pensiones. Así, el 6 de febrero de 1917 se dirigía al presidente de la Junta, Cajal, para solicitar que se le concediese una de las pensiones en el extranjero ofrecidas en la convocatoria publicada el 7 de enero en la Gaceta. Miguel deseaba una pensión «por un año, comenzando en el próximo Octubre y en las condiciones ordinarias, para ampliar estudios de "Químico-Física" y en especial de "Espectrografía" en los Estados Unidos de América o en Suiza y si la guerra mundial hubiera terminado, ... para Alemania, Inglaterra o Francia»¹.

La Junta le seleccionó; fue examinado de lengua inglesa, hablada y escrita, y el 27 de octubre se le concedió definitivamente una pensión de un año para Estados Unidos. Sin embargo, no pudo disfrutar de la beca. Los motivos aparecen en una carta que escribió el 5 de febrero de 1919 a José Castillejo y en la que después de manifestar que estaba de acuerdo en que se declarara caducada su pensión, señalaba que le había sido imposible utilizarla «por causas ajenas a mi voluntad, ya que el Ministerio de la Guerra se negó a concederme el necesario permiso para ir a los

¹ «Carpeta Miguel A. Catalán», Archivo JAE. Salvo indicación en contra, los documentos que se citan a continuación proceden de este archivo.

Estados Unidos, por ser este un país en guerra y estar yo dentro del servicio de los tres años» ².

En el mismo documento apuntaba que «habiendo desaparecido en la actualidad las causas que impedían mi marcha, yo pienso solicitar de nuevo pensión en la convocatoria de este año, para ver si puedo alcanzar los Estados Unidos antes de comenzar el curso próximo. Algunos días después, el 27 de febrero, y desde la Residencia de Estudiantes, donde vivía entonces, llevaba a la práctica su intención dirigiendo al presidente de la Junta una nueva solicitud de pensión por un año, para comenzar en octubre. Estados Unidos seguía siendo, efectivamente, su elección, pero en su solicitud daba más detalles que antes, ya que señalaba que quería «estudiar Química-física y Espectrografía con los profesores A. Noyes y Th. Ryman [sic] en la Universidad de Harvard y en el Institute of Technology de Boston» ³.

Catalán no lo sabía, pero uno de sus objetivos, Arthur Amos Noyes, probablemente el mejor químico-físico de Estados Unidos entonces, estaba a punto de abandonar, después de treinta años de permanecer en él, el Massachusetts Institute of Technology para incorporarse a un nuevo y arriesgado proyecto: convertir un oscuro centro educativo de Pasadena, California, denominado Throop College, en el California Institute of Technology, una aventura que había puesto en marcha un gran amigo de Noyes: el astrofísico George Ellery Hale ⁴. Empujado por Hale, que también consiguió para Throop a Robert Millikan, Noyes comenzó a pasar unos meses todos los años en Pasadena en 1915, estableciéndose allí definitivamente a finales de 1919, para dirigir

² Catalán pertenecía al reemplazo de 1915. Se acogió a los beneficios del capítulo XX de la ley de Reclutamiento y Reemplazo y sólo tuvo que cumplir cinco meses de servicio activo, aunque no por ello fue licenciado. Así, fue nombrado cabo el 1 de julio de 1916 y sargento el 1 de mayo de 1917.

³ Es interesante mencionar que en una hoja de méritos que adjuntaba, Catalán señalaba que en aquel momento se ocupaba en el Laboratorio de Investigaciones Físicas «del montaje de un aparato por mí ideado y construido por el Laboratorio de Automática, para la producción de espectros en el vacío y en diversas atmósferas».

⁴ Sobre Hale, ver Wright, Warnow y Weiner, eds. (1972). Acerca del establecimiento del California Institute of Technology, Kargon (1977).

Un descubrimiento fundamental



Cumpliendo el servicio militar

un laboratorio de Química-Física creado especialmente para él: el Gates Chemical Laboratory ⁵.

Entrando por un momento en el resbaladizo terreno de la especulación, es natural pensar que si Catalán hubiese trabajado durante un tiempo con Noyes, la naturaleza de sus investigaciones posteriores habría sido bastante diferente a las que finalmente llevó a cabo. En Pasadena, Miguel, además de ver con sus propios ojos cómo se creaba una institución de enseñanza superior e investigación ejemplar, habría desarrollado intereses en el campo (de enorme actualidad y posibilidades) de la química-física; incluso en el caso de que se hubiese centrado en estudios de naturaleza espectroscópica, tales trabajos no habrían tenido la orientación (física) que, de hecho, terminaría caracterizando su carrera científica. Ni hubiera, cabe suponer, descubierto los multipletes.

En cuanto al «Th. Ryman» mencionado, se trata, sin duda, de Theodore Lyman, que desde 1910 era director del Jefferson Physical Laboratory de la Universidad de Harvard. Lyman era, efectivamente, una buena elección. Su tesis doctoral (1900) había estado dedicada al problema de aplicar redes cóncavas a la medida de las líneas espectrales en el violeta extremo. Los problemas técnicos eran muy grandes y empleó seis años en la investigación. Encontró líneas falsas («fantasmas»), que fue capaz de explicar como debidas a errores periódicos en la rejilla. Más tarde, se dedicó a medir espectros y propiedades ópticas de diferentes materiales, extendiendo en 1917 el espectro del ultravioleta hasta el límite final de 500 angströms. En 1914 había descubierto la serie fundamental del hidrógeno, que resultó ser un elemento esencial para que Bohr desarrollase su teoría atómica. En el próximo capítulo nos volverá a aparecer este físico norteamericano con el que Miguel no pudo trabajar en 1917-18.

Pero volvamos a los acontecimientos que realmente ocurrieron.

Es significativo que en su solicitud de pensión a la Junta, Catalán incluyera también el siguiente párrafo:

⁵ Servos (1990, pp. 253-25) y Kargon (1977). Fue precisamente Noyes quien, inmediatamente después de instalarse permanentemente en Pasadena, comenzó una campaña para cambiar el nombre de su nueva institución, de Throop College a California Institute of Technology.

Además desearía hacer prácticas adecuadas a una formación de profesorado de segunda enseñanza por las diversas escuelas de los Estados Unidos.

Esto parece indicar que nuestro protagonista pensaba que su futuro laboral se encontraba en la segunda enseñanza y no en la investigación científica, ejercida como parte de un empleo de profesor universitario. O al menos, que consideraba la primera posibilidad como mucho más factible que la segunda. Veamos, por consiguiente, cómo fue desarrollándose su carrera docente.

Al comenzar el curso 1919-20, el 11 de octubre de 1919, Miguel fue nombrado aspirante al Magisterio secundario en la sección de Ciencias Físico-químicas del Instituto-Escuela. Poco después ganó por oposición la cátedra de Física y Química del Instituto General y Técnico de Palencia, no tardando en obtener por concurso la cátedra del Instituto de Avila.

Antes incluso de ganar esta cátedra, la JAE intervinió para que Catalán no se tuviese que mover de Madrid. El 14 de abril de 1920, Cajal se dirigía al ministro de Instrucción Pública solicitando que Miguel fuese «agregado al servicio del Instituto-Escuela, en virtud de lo que prescribe el art.º 8º del Real Decreto de 10 de Mayo de 1918, con destino a las enseñanzas de Física y Química». En realidad, con esta solicitud la Junta no estaba sino siguiendo su propia filosofía educativa, que buscaba evitar adscripciones definitivas, por oposición, al profesorado del Instituto-Escuela ⁶. En la solicitud firmada por Cajal, tal filosofía quedaba expresada con claridad:

Siendo la oposición el medio legal de ingreso en el profesorado a él tendrán que recurrir los Aspirantes que se preparan en el Instituto-Escuela. Pero considera la Junta que convendría no dejar cortada esa preparación siempre que se trate de Aspirantes que hayan dado pruebas de sacar de ella el fruto esperado. Será mucho más provechoso para su futura actuación docente que esos Aspirantes completen en el Instituto-Escuela la etapa de dos años fijada como mínimo en el artº 43 del

⁶ Sobre el Instituto-Escuela, consultar Palacios Bañuelos (1988).



Catalán con estudiantes de bachillerato (posiblemente del Instituto-Escuela)



Peñora 12 Abril 18

De excursión en la Peñora

Reglamento del Instituto-Escuela aprobado por Real Orden de 10 de Julio de 1918.

El 30 de abril una R. O. aprobaba la solicitud de la Junta, quedando Catalán adscrito al Instituto-Escuela como catedrático, una situación que de hecho mantendría hasta obtener su cátedra universitaria. En consecuencia, no tenía que trasladarse a Avila. Sin embargo, esto no quería decir que quisiese quedarse en Madrid. En él pugnaban dos fuerzas, la de profesor de segunda enseñanza y la del investigador. Veamos los pensamientos que circulaban entonces por su cabeza, utilizando una carta que dirigió a Castillejo; esta misiva no está fechada, salvo por la anotación «Curso 1919-1920», pero claramente fue escrita poco después de ser agregado al Instituto-Escuela:

En mi deseo de continuar la labor emprendida, tanto en el terreno pedagógico como en el de investigación, tres soluciones son posibles para lo que debo hacer el año próximo.

La primera consistiría en abandonar el Instituto-Escuela y el Laboratorio e irme a mi cátedra de Avila, con lo cual quedaría bruscamente cortada mi labor y mi preparación y sería casi perdido todo lo hecho en estos años.

La segunda consiste en seguir por un año agregado al Instituto-Escuela para seguir mi preparación pedagógica, asistir al laboratorio de investigación y después marchar un año al Extranjero a terminar esa preparación. Esta presenta el inconveniente de que retrasaría mi vuelta hasta dentro de dos años y me sería imposible prestar mi colaboración al Instituto-Escuela cuando es posible que más se necesitara, es decir, dentro de un año.

La tercera consiste en que este año marche ya al extranjero, de este modo si mis servicios pudieran ser útiles a principio del otro curso estaría ya preparado.

Añadía Catalán que «de marchar pensionado mi deseo sería ir a Sheffield, Inglaterra, para seguir los estudios de Espectrografía con Mr. Hicks, que trabaja en esa Universidad y a la vez estudiar muy detenidamente la Escuela de segunda enseñanza inglesa, especialmente en lo que se refiere a la Física y la Química, y

además su relación con los grados primario y universitario y por último la vida escolar fuera de la escuela».

El «Mr. Hicks» al que se refería Catalán era, con seguridad, William Mitchinson Hicks (1850-1934), que de joven había trabajado bajo la dirección de Maxwell en el Laboratorio Cavendish de Cambridge, al poco de inaugurarse éste oficialmente en 1874. Más tarde, Hicks llegó a ser professor y Principal de la Universidad de Sheffield. En 1910, Hicks había comenzado a publicar un exhaustivo estudio sobre las series espectrales, que vio su última entrega en 1919 (Hicks 1910-1919). En estos artículos no se limitaba a comentar trabajos de otros científicos, sino que también aportaba contribuciones originales. Da una idea del interés que suscitaron estos artículos, el que en su influyente *Report on Series in Line Spectra*, Alfred Fowler (1922), con quien, como veremos inmediatamente, terminaría trabajando Catalán, dedicase un capítulo (el VII) al «Trabajo de Hicks». Probablemente, estas aportaciones fueron las que atraieron la atención de Miguel y le hicieron desear ir a trabajar con él.

Estados Unidos había dejado, por consiguiente, su lugar a Inglaterra en las preferencias del joven científico. Y hacia Inglaterra dirigió sus pasos Catalán, que optaba de esta manera por la tercera de las posibilidades que había estado considerando. De hecho, marchó al Reino Unido antes de que fuese autorizado oficialmente el traslado de la pensión que ya se le había concedido para Norteamérica (esto ocurriría en octubre de 1920, y él debió llegar a Inglaterra a finales de agosto o principios de septiembre).

Naturalmente no lo sabía todavía, pero en Inglaterra iba a entrar a formar parte de la historia de la física.

3.2. PENSIONADO POR LA JAE EN LONDRES

El 26 de septiembre de 1920 Catalán escribía a Castillejo desde Londres (29 Torrington Square). Después de mencionar que había dado un curso de español en Liverpool hasta el 15 de septiembre, señalaba:

Después vine aquí [Londres], he hablado con Mr. Hicks bajo cuya dirección voy a hacer investigaciones en Espectroscop-

pia y en la actualidad estamos esperando contestación de Mr. Rutherford para ver si puedo trabajar en Cambridge, si no, lo haré aquí, en el Laboratorio de Mr. Fowler. Mr. Hicks me ha recibido muy bien y estoy aprendiendo mucho con él. En cuanto tenga noticias seguras de si voy a Cambridge o me quedo aquí, le avisaré por si tiene V. la bondad de indicarme y recomendarme a alguna escuela secundaria, para practicar, según hablamos en el mes de Junio pasado.

Observamos aquí dos detalles. El primero, que el relacionarse y aprender de las escuelas secundarias inglesas seguía siendo una parte importante del programa que Miguel se había establecido. El segundo, que estaba considerando la posibilidad de Rutherford y el Cavendish Laboratory, uno de los centros más avanzados en la investigación atómico-nuclear, pero en el que, probablemente, se habría alejado un tanto de la espectroscopia, al menos a la manera como la practicó en Londres.

El 24 de octubre, después de haber recibido la comunicación oficial de que se le había concedido la pensión en Inglaterra, escribía de nuevo a Castillejo. En primer lugar le decía que ya estaba «*definitivamente* instalado en Londres en el Royal College of Science con el prof. A. Fowler, F.R.S.» La posibilidad de Rutherford y Cambridge se había, por consiguiendo, desvanecido y Catalán se relacionaba con uno de los espectroscopistas más eminentes del mundo, Alfred Fowler (1868-1940), formado con Norman Lockyer en el Royal College of Science, el germen del que surgiría el Imperial College of Science and Technology⁷. Autor de una de las biblias de la espectroscopia, *Report on Series in Line Spectra* (Fowler 1922), de sus trabajos en el campo de la espectroscopia también se derivaron, como subproductos, la primera determinación precisa de la constante de Rydberg y del cociente de la masa del electrón y del protón.

⁷ Sobre Fowler y Lockyer, ver Fowler (1928 a). Acerca de la historia del Imperial College, consultar Hall (1982). Todavía en tiempos de Catalán se empleaba el nombre de Royal College of Science para, parece, designar a la parte más "científica" del Imperial College.

Además de suceder a su maestro en su cátedra⁸, Fowler fue *fellow* de la Royal Society, presidente de la Royal Astronomical Society (1919-1921) y el primer secretario general, en 1920, de la International Astronomical Union. Junto a Fowler, Miguel mejoró sustancialmente su dominio de las técnicas espectrográficas, pudiendo además utilizar instrumentos de mejor calidad que los que había podido disponer en Madrid. (Parece que siguió el curso de «Spectral analysis» al que tenían opción los estudiantes de tercer año del Imperial College. Entre las lecciones —y prácticas— de aquel curso se encontraban: «On the measurement of spectrograms and the calculation of wave lengths», «On concave grating» y «To observe the iron arc spectrum, iron flame spectrum and the pole lines of iron with the 4-prism spectroscope»⁹. Entre los espectroscopios utilizados por los estudiantes figuraban los de Littrow.)

Clarificada ya su situación en Londres, hacía notar a Castillejo en la carta mencionada antes que «para seguir el plan adoptado sería conveniente que V. me diera cuantas instrucciones crea pertinentes para mi visita y práctica en escuelas secundarias. Ya sabe V. que el Royal College está en S.W.7, por consiguiente de haber una escuela *cerca* sería preferible por razones de tiempo y de dinero (crea V. que está esto tan caro que en la actualidad estoy haciendo equilibrios metálicos). Pero si no es buena sería preferible otra aunque esté más lejos».

Aparentemente, Castillejo no contestó a sus peticiones, como se deduce de otra carta que Catalán le escribió algunos meses más tarde (20 de febrero de 1921):

Mi distinguido amigo: Recordará V. que el día que salí de España para esta me habló V. de que me enviaría una reco-

⁸ Es interesante citar los siguientes comentarios realizados por Herbert Dingle a Catalán (9 de mayo de 1934): «Cuando se hizo cargo del Departamento de Astrofísica del Royal College of Science, en 1910, Fowler sólo disponía de un pequeño espectroscopio. Al retirarse, en 1934, su departamento era reconocido como uno de los principales centros mundiales de investigación espectroscópica». Archivo Catalán.

⁹ Como veremos en su momento, Catalán dedicó grandes esfuerzos al estudio del espectro del hierro.

José Manuel Sánchez Ron



Catalán delante, probablemente, del Imperial College

mendación para el Sr. Twentyman del Board of Education. Pues bien nada más llegar, escribí al Sr. Bernardo de Quirós pidiéndole ambas cosas y esto hace más de un mes. Hasta la fecha no he recibido contestación, indudablemente mi carta *se ha perdido* y hoy vuelvo a escribirle a dicho Sr. y a la vez le escribo a V. para que me haga V. el favor de darle esa recomendación.

Por mediación de una Srta. que trabaja en este Laboratorio he visitado algunos colegios pero ya sabe V. que lo que yo quiero es estar dentro de alguno durante algún tiempo.

3.3. LOS MULTIPLETES

Parece, sin embargo, que por entonces Miguel ya estaba completamente dedicado a sus investigaciones espectroscópicas, como se puede comprobar por una larga carta que el 9 de marzo de 1921 escribía a Ángel del Campo. He aquí algunos extractos de lo que decía: ¹⁰.

Mi querido profesor y amigo: Cuando reciba V. ésta de seguro que se asombra de que dé señales de vida; tiene razón, ya es hora de que escriba, pero es que dejándolo de un día para otro he llegado a cumplir casi los dos meses desde que salí de ahí ¹¹.

Tantas cosas querría contarle que no sé por donde empezar. Bueno empezaré por lo mío. Cuando regresé seguí con el Mn [manganeso] a vueltas, hice una porción de fotos en todos los aparatos y seguí haciendo *números y más números*. Hubo día que me dieron las 11 de la noche en ello. Pero fue fructífera la labor.

Quedó un esquema completo de las cuatro series p, s, d y f perfectamente determinado ¹², unas cuantas líneas de combina-

¹⁰ Una reproducción facsimilar de esta carta (una copia de la cual me fue facilitada por el Dr. Fernando Rico) se incluye como «Anexo 2».

¹¹ Probablemente Catalán pasó las vacaciones de Navidad en España.

¹² Recordemos que en el capítulo anterior he denotado estas series con mayúsculas.

ción y la novedad de los satélites que le expliqué a V. Desgraciadamente la serie f está en el infrarrojo y lo mismo que sucede con el Mg [magnesio] (se parecen las constantes de las fórmulas mucho a las del Mg) sólo se pueden encontrar dos términos pero que sin embargo no cabe duda que responden casi exactamente a la fórmula de Rydberg como les sucede a todas las series f. Pero me quedaba todo aquel enorme fárrago de combinaciones que no era posible ordenar, y entre ellos estaban los grupos más inquietantes del Mn. Desde luego había una idea fundamental y es que eran dos series distintas, una con las separaciones 44,1 y 35,8 y otra 14,1 y 8,7, que estaban separadas siempre por una distancia, ¡asómbrese!, de 10967,78. ¿No le recuerda a V. este número algo? Parece $N/10$ ¿verdad? Bueno, eso no sé aún si es coincidencia numérica o qué. Pues no encuentro explicación.

Y en este punto, Catalán intensificaba sus consideraciones espectroscópicas de todo tipo: «Atacando el problema en busca de dobletes no ha sido muy fructífera mi labor, seguramente habré de proseguirla pero desde luego existe un grupo ... de líneas intensísimas que llama extraordinariamente mi atención ... Pero al presente no he conseguido hallar series completas. Este es el estado actual del trabajo». Lejos no obstante de finalizar su misiva aquí, Catalán volvía a sumergirse en posibles interpretaciones del espectro del manganeso, hasta que, algunas páginas más adelante, y ante la complejidad del problema declaraba:

Ahí hice punto hace algunos días y empecé a trabajar con el escandio. William Crookes hizo heredero a Fowler de 1/2 gr. de óxido de escandio que él purificó a costa de grandes esfuerzos y me ha encargado a mí de hacer la revisión del espectro que Fowler en arco y Crookes en chispa estudiaron incompletamente. Ya he conseguido algunas buenas fotos de óxido de escandio en chispa pero tengo que hacer más. También he hecho alguna de arco pero estoy esperando a ver si consigo hacerlo dentro de un globo de vidrio porque si se volatiliza figúrese V. que pronto me quedará sin él y precisamente está dispuesto Fowler a que haga unas fotos en infrarrojo y rojo (con dicianina) y tendré que hacer largas exposiciones. Ya he trabajado numéricamente algo en el espectro del Sc y desde

luego entre las líneas "enhanced" he encontrado ya tripletes y combinaciones, así que por ello ya hay buenas posibilidades de que la hipótesis de Sommerfeld vaya siendo comprobada.

También explicaba Miguel a su maestro su régimen de trabajo: «Como ve V. he trabajado intensamente. Entro a las 10 de la mañana y excepto un rato que dedico a comer y otro al te jestay hasta las 10 de la noche! He aprendido a manejarme con los espectros de chispa bastante bien y hasta con los tubos». Y mostraba que no se olvidaba de sus compañeros de Madrid: «[por el] correo de mañana recibirá V. tres cuadernos de papel mm como aquel que les gustó. Uno es para D. Blas, otro para V. y otro para Izaguirre que me lo encargó. Acéptenlos como recuerdo de mi estancia aquí».

Como es natural, también informaba sobre las investigaciones en curso en el laboratorio de Fowler: «Trabajos que por aquí hacen conozco los siguientes: Uno anda a vueltas con espectros en la región Lyman, otro midiendo líneas de los alcalinos *en vacío*, otro intentando obtener el espectro del amoniaco, otra Srta. revisión del espectro del azufre, otro que parece que lo del Hg no son series de líneas y tripletes sino cuádrupletes y no recuerdo otros». Y en este punto detenía su, como él mismo reconocía, «deshilachada» carta, ya que «acaba de entrar Fowler con el profesor Russel [sic; es Russell] (americano) el de la teoría estelar y les he estado enseñando algunas fotos de Sc».

Y en una posdata añadía:

Olvidaba decirle que hago progresos en los espectros *de los astros* pues aquí se *oye* mucho, que he asistido a 3 conferencias de Fowler preciosas, que ahora oigo a Rutherford (electricity and matter) y pasado mañana a Michelson.

El descubrimiento de los multipletes debió tener lugar poco después (me ocuparé de este punto más adelante, utilizando una reconstrucción del propio Catalán). En preparar el artículo en el que presentaba su descubrimiento tardó algún tiempo, ya que el manuscrito, presentado por Fowler, fue recibido por la Royal Society el 22 de febrero de 1922; probablemente fue complicado

pulir todos los detalles. Finalmente apareció (Catalán 10) ¹³ en las *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, bajo el título «Series and other regularities in the spectrum of manganese» («Series y otras regularidades en el espectro del manganeso»).

El descubrimiento de Catalán consistió en demostrar que grupos formados por numerosas líneas distribuidas sin aparente regularidad en el espectro pueden tener un origen físico común. Generalizaba de esta manera las ideas que se tenían con respecto a los dobletes y tripletes de los metales alcalinos y alcalinotérreos. La introducción de los multipletes constituyó, como es sabido, un paso muy importante en el desarrollo de la teoría cuántica (y subsidiariamente de la astrofísica), ya que permitió, al ser aplicada a los espectros complejos, avanzar en la interpretación de la estructura electrónica de los átomos que producen tales espectros ¹⁴. Así lo reconocieron los científicos implicados en estos campos. Fowler, por ejemplo, fue siempre generoso reconociendo el mérito del descubrimiento de Catalán, a quien en su autobiografía (inédita) caracterizó como «un brillante hombre que realizó un descubrimiento de importancia fundamental para el análisis de los espectros» ¹⁵. El discurso que pronunció como presidente de la Sección de Ciencias físicas y matemáticas del Congreso de la British Association for the Advancement of Sciences celebrado en Oxford en agosto de 1926, es buena prueba de ello. En aquella ocasión Fowler (1926, pp. 21-22) declaró:

Aparte de los dos primeros grupos y del subgrupo del aluminio en la tabla periódica, los espectros de los elementos son, con pocas excepciones, extremadamente complejos y han desafiado su análisis durante mucho tiempo. Es cierto que ciertas "diferencias constantes" han sido advertidas en muchos

¹³ Reproducido en el «Anexo 3».

¹⁴ Sobre los multipletes y Catalán ver, por ejemplo, Velasco (1958, 1977), Shenstone (1958?), Hund (1974, especialmente, p. 114 y ss.), Kenat y DeVorkin (1990, pp. 179-180), Jammer (1989, p. 125) y Mehra y Rechenberg (1982).

¹⁵ Alfred Fowler, «Personal notes», manuscrito autobiográfico inédito. Agradezco a David DeVorkin que me suministrase una copia de este párrafo. Aparentemente este manuscrito se encuentra en la «Fowler Collection» de los Archivos del Imperial College de Londres; sin embargo, yo no he podido localizarlo allí.

de estos espectros por Kayser y Runge, Paulson, y otros, pero estas daban poca información sobre la estructura real de los espectros. No se consiguió una clave para la estructura de espectros complejos hasta las investigaciones que en 1922 realizó Catalán, que estaba trabajando entonces en el Imperial College. Catalán realizó primero un amplio estudio del espectro del manganeso (para el que ya Kayser y Runge había desentrañado parcialmente la estructura de series de tripletes de un carácter bastante peculiar), y descubrió que, mientras que las series principal y neta consistían de tripletes simples, los miembros de la serie difusa consistían cada uno de nueve líneas en lugar de las seis que hasta entonces se había considerado que caracterizaba un "triplete" difuso. Se siguió de ello que los términos D tenían cinco valores, frente a los tres en el calcio y en otros elementos del grupo segundo. Además de líneas que forman series regulares, Catalán también identificó varios grupos complejos que denominó "multipletes", uno de los cuales incluía nada menos que catorce líneas. En cada multiplete las líneas eran de carácter similar y generalmente de la misma clase en la clasificación de temperatura de King, y se podía disponer las líneas según un sencillo plan para mostrar la regularidad de su distribución.

El rasgo esencial del trabajo de Catalán fue el descubrimiento de que en los espectros de arco y de chispa del manganeso y en el espectro de arco del cromo existían términos de mayor complejidad que los triples términos conocidos hasta entonces. Fue este descubrimiento el que abrió el camino para el análisis de los espectros complejos en general. Ha sido continuado con extraordinario éxito por el propio Catalán, por Walters, Laporte, Meggers, Sommerfeld y otros, y se han obtenido los principales rasgos de la estructura de muchos espectros tan complicados como el hierro ¹⁶.

¹⁶ En otra ocasión, una conferencia que pronunció en la Chemical Society de Londres, Fowler (1928 b, p. 768) afirmó que «La clave de la estructura de los espectros más complicados fue dada por Catalán en 1922. Hasta entonces se habían obtenido resultados solamente en una cuarta parte de los elementos. Singletes, dobletes y tripletes era lo único que se conocía. Catalán descubrió grupos de líneas que envolvían términos de mayores multiplicidades. La identificación de lo que Catalán denominó multipletes en todos los demás elementos fue obtenida rápidamente. Se vio que muchos espectros que habían resistido los métodos de análisis estaban formados principalmente por multipletes complicados»

Otro espectroscopista importante, William Meggers (1958, p. 11), con el que nos volveremos a encontrar, señalaba:

Con anterioridad a 1921 los términos espectrales derivados del análisis de espectros atómicos relativamente sencillos consistían únicamente de niveles simples, dobles y triples. Catalán atacó valientemente los espectros más complejos del manganeso y del cromo, y felizmente encontró términos que contenían 5, 6 o 7 niveles que se combinaban para producir grupos de 9 a 15 líneas espectrales, para los cuales acuñó el término "multiplete". El descubrimiento de Catalán de términos espectrales de gran multiplicidad fue una clave correcta a la interpretación de los espectros complejos; pronto fue adoptada por muchos espectroscopistas, produciéndose una avalancha de multipletes. Esto inspiró el desarrollo de la interpretación cuántica de los espectros atómicos y trajo la edad de oro de la espectroscopia en 1926 cuando se hizo posible explicar teóricamente todas las radiaciones discretas en términos de energías y números cuánticos asociados con electrones de átomos e iones.

En lo que se refiere al descubrimiento en sí, disponemos de una reconstrucción, larga y no siempre clara, pero interesante para cualquier reconstrucción histórica futura más detallada, del propio Catalán, realizada en un curso (ya citado) de doctorado de Ciencias Químicas sobre «Estructura del átomo», desarrollado entre febrero y mayo de 1946 ¹⁷. Allí explicó a sus alumnos cómo llegó a descubrir los multipletes:

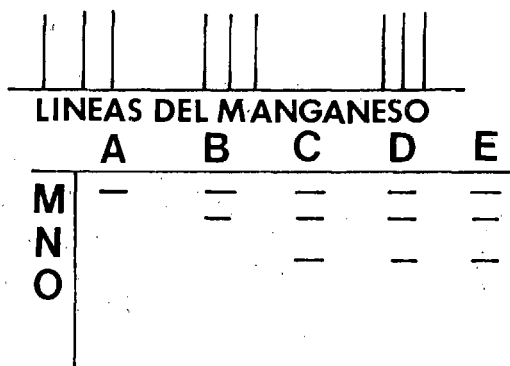
Fowler, profesor de astrofísica en Londres, propuso un estudio sobre la serie del Sc. Se había hecho el estudio de la primera y segunda columna de la tabla periódica y era justo acometer un trabajo sobre los trivalentes. Teníamos un poco de escandio proporcionado por uno de los profesores de la Universidad de Londres, pero ese trabajo no me gustaba, yo estaba obsesionado con los dos espectros que había tenido ocasión de observar en los meteoritos ¹⁸. Los espectros que más

¹⁷ *Apuntes de estructura del átomo* (multicopiado), pp. 96-99

¹⁸ Meteoritos que, como vimos, le había suministrado del Campo cuando le propuso un primer tema de tesis doctoral.

abundaban eran los del Cr y Mn. En las horas que tenía libres dejaba a un lado el escandio y trabajaba sobre el cromo y manganeso pero con preferencia me concentré sobre el estudio del manganeso.

Con el manganeso Catalán obtuvo los siguientes resultados: «Había encontrado unos grupos que no estaban hechos de dos ni de tres líneas, sino que tenían más, es decir que estas tres líneas en el manganeso estaban dispuestas en la forma que indica la figura. Tres pequeños grupos de tres que podían ponerse según



una relación numérica muy curiosa ... La relación numérica era la siguiente: se escribían las frecuencias de las líneas y se hallaba la diferencia ... La distancia entre 1 y 2 es igual a la que hay entre 3 y 4, es decir las líneas ofrecían la particularidad de que por tener entre sí esas diferencias permitían obtener los términos. Pero así como antes teníamos un término de tres cosas o de dos, aquí aparecían cinco. Con esa idea continué mis trabajos durante enero, febrero y en marzo un día al lado de una bomba de vacío, con un ruido espantoso; logré interpretar el fenómeno; tenía ante mi vista un caso de siete contra cinco, es decir, había un grupo de una organización muy grande y se veía que los grupos de tres y dos conocidos antiguamente eran simplemente casos

particulares de una ley mucho más general. Es decir, que esos dobletes y tripletes no representaban más que un caso en que las diferencias se agrupaban en grupos de tres o de dos porque estábamos en el comienzo de la tabla periódica, pero que según íbamos avanzando se iban complicando y se presentaba algo mucho más complejo del cual se podía sacar lo simple pero no al contrario. Tuve que demostrarlo fotográficamente. Solo me quedaba darle nombre. Durante varios días estuve tratando de encontrar el nombre más apropiado hasta que se me ocurrió darle el nombre de multiplete, del cual podía salir después el de septete, octete, etc.».

Por una «verdadera casualidad, Catalán fue a dar con el máximo de la tabla: octete. «Pero después, como siempre, vi que eran coeficientes binomiales que empiezan a bajar. Ya tenía la herramienta, es decir, en un espectro de muchas líneas ya teníamos la manera de analizarlo ¿cómo? Buscando multipletes porque de estos podemos deducir los términos espectrales y con estos ya teníamos todo. ¿Es general el problema o particular? Estudié el cromo y ví que se encontraba también (1922 Real Sociedad Inglesa)».

Y en este punto, repasaba lo que ocurría con otros elementos:

En la serie del hidrógeno se ve que es completamente regular, va disminuyendo la intensidad a la vez que se van aproximando las líneas.

En la serie de los alcalinos Li Na K Rb Ca, se ve que las líneas se van aproximando hacia un límite. Na, K, Rb, Cs, todos tienen espectros sencillos. Se ven unas líneas dobles, dobletes, cuya separación crece con el peso atómico. Esta serie es análoga a la del hidrógeno, pero con las líneas dobles. Las del hidrógeno también son dobles, pero su peso atómico es tan pequeño que los dobletes son estrechísimos.

En el espectro del manganeso se ven tres líneas divididas a su vez en tres líneas.

Las líneas que se obtuvieron no eran consecuencia numérica sino que tenían un sentido físico, quiere decir esto que todas las líneas de un multiplete sufren la misma variación. Cuando se modifican las condiciones atmosféricas, si una varía de una forma y la segunda de otra es prueba de que las líneas se han

escogido al azar, por coincidencia numérica. Por eso se hacen fotografías, para demostrar que son iguales físicamente.

Y aquí se detenía con los aspectos más instrumentales de su trabajo, aprovechando para explicar a sus alumnos la importancia que estos tenían en espectroscopia:

En la investigación de un espectro hay que fotografiar a alta temperatura. Las fotografías con alta temperatura se logran en unos 5 ó 6 segundos y para fotografiar a baja temperatura se requieren exposiciones de quince a veinte minutos, o media hora. Pero en este último caso el arco puede fallar por oscilación, con lo que se cambia lo que se estaba fotografiando, la de baja por la alta y como esta tiene tanta intensidad la fotografía que sale es la correspondiente a las de alta temperatura. La dificultad es grande pero para convencer al mundo es preciso fotografiar.

Y así, un día «por casualidad, cuando ya se había ido todo el mundo, Miguel encontró unas placas preparadas especialmente para el verde.

Cogí las placas y me puse a fotografiar, la primera no me salió muy bien, pero la segunda fue de una rapidez formidable. Antes se requería mucho tiempo pero ahora bastaban unos minutos para que el arco no variara. En el arco hay una zona muy brillante rodeada de una llama de menor temperatura. El problema estaba en fotografiar la llama que lo rodea. Si el arco estuviera quieto sería muy sencillo.

Había que ponerle muy al borde un imán que soplara para que se mantuviera el arco un poco quieto.

Revelé la fotografía y serían ya las cinco de la mañana cuando lo acabé.

Miguel se fue entonces a su casa. Cuando, al día siguiente, volvió al laboratorio, «encontré gran revuelo, comprendí que estaban buscando algo. Habían desaparecido dos placas fotográficas preparadas para que el profesor Fowler fotografiara [unas] bandas del amoníaco». Pero el pensionado de la JAE estaba tan satisfecho

de su éxito que no le importó el alboroto. «Fui a buscar al profesor, persona bondadosísima y entré en su despacho con las placas delante de mí. Cogió las fotografías, las miró y quedó maravillado. En las placas se veía un espectro de alta temperatura que contiene muchísimas rayas, desciende la temperatura y empiezan a desaparecer, pero de todas ellas quedaban intermedias unas cuantas. Cuando la temperatura era bajísima, de todo el espectro no quedaban más que dos líneas, estas dos líneas eran precisamente las que buscaba. ¿Qué le ha pasado a ese átomo? Cuando la temperatura es alta los electrones se alejan y caen desde muy alto. Cuando la temperatura desciende la excitación es tan pequeña que los electrones apenas se alejan y entonces solo se producen unas líneas especiales que provienen de la primera órbita. Por este método pude saber cuales eran las rayas correspondientes a la órbita más próxima y todas ellas me dan una distancia. La clave de todo el espectro. No hay más que buscar la misma distancia por todo el espectro y cada vez que aparece una diferencia se sacan los términos. No hay más que buscar más líneas y obtener más términos; el cuadro iba creciendo por un lado y por otro y todo el espectro se podía ir analizando».

Ahora bien, con la fotografía todavía no tenía la clave definitiva. Primero hizo unos cálculos mentales. «No acertaba a hacer los números, tan excitado estaba. Poco después hice el cálculo y salió lo que buscaba; ví que aquello era la interpretación del espectro y todo quedó aclarado. A partir de entonces solo hacía falta ir buscando, con el arco, con la chispa. Los tres de arco casi desaparecen con la excitación grande de la chispa, pero el multiplete desaparece casi al hacer la excitación pequeña. ¿Qué ha pasado? Arco y chispa representan dos excitaciones diferentes. En el arco el primer electrón salta de una órbita a otra. Cuando se le da una excitación tan grande como la chispa, el electrón se va al infinito, se ioniza y entonces el segundo electrón empieza a moverse y queda otro espectro diferente distinto del anterior. En general nos aparecen mezclados los dos, pero predomina el de la excitación con el arco. Este medio que yo logré fotografiar enseña el modo de separar los dos espectros haciendo las dos excitaciones y comparándolas, como las líneas de uno se debilitan al pasar al otro y al revés, quedaban separados. Ya teníamos otro método de

clasificar: por el arco y por la chispa, ya que los espectros son totalmente diferentes. La estructura que nos da es como si hubiéramos saltado en la tabla, el que corresponde al manganeso es un espectro análogo al del hierro».

En este punto, Catalán empezaba a conectar su descubrimiento con los números cuánticos: «El espectro del manganeso es un tipo de multiplete. En este aspecto se ven todas las frecuencias diferenciadas en un cierto valor que es el mismo para un término distinto. No salen más que tres en vez de llenarse los otros cuadros por un principio de selección. A cada término hay que darle un número llamado cuanto interno y luego hay que darle una unidad mayor y una unidad menor».

Llegaba aquí Catalán a una de las implicaciones de su descubrimiento que más interés suscitó entre los físicos teóricos de la época, que pugnaban por construir una teoría cuántica. Pero me ocuparé de este apartado en el capítulo próximo.

3.4. RECEPCIÓN DEL DESCUBRIMIENTO DE LOS MULTIPLETES

Las investigaciones de Catalán en Londres comenzaron a atraer la atención de los espectroscopistas, astrofísicos y físicos cuánticos incluso antes de que se publicase su artículo en las *Philosophical Transactions*. Las siguientes cartas de, o a, el astrofísico estadounidense Henry Norris Russell, que ya nos apareció y con el que nos volveremos a encontrar, así lo demuestran ¹⁹. La primera, fechada el 1 de diciembre de 1921, está dirigida a F. A. Saunders, del Jefferson Physical Laboratory de Princeton ²⁰:

Mi querido Saunders:

Poco después de regresar aquí, me topé, por accidente, con

¹⁹ «H. N. Russell papers»; copia existente en el Center for History of Physics, American Institute of Physics, Nueva York (las cartas que citaré a continuación proceden también de este archivo). Russell era desde 1912 director del Observatorio de la Universidad de Princeton, así como *professor* de la Universidad.

²⁰ Recordemos que en el capítulo anterior ya nos aparecieron Russell y Saunders a propósito del “acoplamiento Russell-Saunders”.

un artículo de Saha en *Nature*, 28 de julio de 1921, p. 683, en el que cita el potencial de ionización de 7,38 voltios para el manganeso, basado en la determinación todavía no publicada del término 1S de Mr. Catalán, que por lo visto es un estudiante de Fowler ²¹. Parece, por consiguiente, que la serie del espectro de manganeso ya ha sido trabajada, de manera que le escribo inmediatamente para que no emplee su tiempo en hacer este trabajo otra vez.

Saha fue, por consiguiente, el "canal" a través del cual Russell, una voz que se oía en toda la física y la astrofísica mundial, supo del descubrimiento de Catalán. El que Russell estuviese interesado en las investigaciones de Saha es perfectamente explicable; como además esas investigaciones tienen que ver con la espectroscopia, me detendré un momento en analizar la "conexión Saha" ²².

Megnad Saha estudió matemática aplicada en el Presidency College de Calcuta, graduándose en 1915 y doctorándose en 1918. Influido por trabajos de Bohr, Nernst, Sommerfeld y Eddington, examinó el efecto de la presión de radiación selectiva sobre la distribución de elementos de la cromosfera solar y en 1919 aplicó los conceptos de equilibrio termodinámico e ionización térmica al estudio de la imagen espectroscópica de la atmósfera solar. Estimulado también por un estudiante de Nernst, Johan Eggert, Saha se dio cuenta de la utilidad del potencial de ionización para calcular con precisión la ionización, sencilla o múltiple, de un elemento dado, bajo cualquier combinación de presión y temperatura. En particular, consiguió obtener una expresión que relacionaba la temperatura, presión, potencial y grado de ionización para cualquier elemento de la atmósfera solar. Su artículo, «Ionisation in the solar chromosphere» (Saha 1920 a) demostró por primera vez que el potencial de ionización de un elemento, su grado de ionización y la temperatura y presión de su entorno gaseoso, están todos relacionados entre sí.

²¹ Obviamente Russell no se acordaba de que se había topado con Catalán en el laboratorio de Fowler en el mes de marzo, como se ve en la carta de Catalán a del Campo que cité antes. Lo más probable es, por supuesto, que no se hablaran entonces.

²² Más detalles en DeVorkin y Kenat (1983 a y b).

Que semejantes resultados interesaban a los astrofísicos (Russell entre ellos), es algo fácil de entender; más aún si tenemos en cuenta que en su siguiente artículo, publicado muy poco después, Saha (1920 b) se preguntaba por qué algunos elementos aparecían (eran visibles) en el espectro solar y otros no.

Estos dos artículos fueron completados cuando Saha estaba en Calcuta, pero pronto pudo conseguir la financiación necesaria para trasladarse a la metrópoli; más concretamente, al laboratorio de Fowler, en donde coincidió con Catalán. De ahí que pudiera informar a Russell de los trabajos del español. Podemos, por consiguiente, retomar la exposición que dejé con la carta de Russell a Saunders del 1 de diciembre de 1921.

Menos de una semana después, el 7 de diciembre, Saha escribía a Russell remitiéndole datos solicitados por el estadounidense; al final de su larga carta señalaba:

remito la ionización del Fe, Ti, Co, Ni ... lo que afirmé era más o menos conjeturas, basadas en el comportamiento de las líneas de estos elementos en el arco y en la chispa, y en el espectro estelar. Las líneas de estos elementos no han sido clasificadas en series todavía, pero recientemente Mr. Catalán, trabajando en el laboratorio del Prof. Fowler ha logrado reducir [en el original aparece tachada la palabra «conquistar»] el espectro del manganeso, que, en lo que a complejidad se refiere, no está lejos del del Fe. [Catalán] demuestra que el triplete, fuerte, 4030,76, 4033,07, 4034,48, que aparece con fuerza en el espectro solar son las líneas principales del Mn, y el término 1S es 59939, del que se obtiene un potencial de ionización de 7,38 voltios. Estas líneas alcanzan en la cromoesfera el nivel de 750 kms. y en el espectro estelar tienen las siguientes intensidades [y aquí suministraba una larga lista].

...El comportamiento de los elementos está bastante de acuerdo con mi teoría. Catalán encuentra que la línea 4344,4, que es la línea característica del protomanganeso, no está incluida en las series del espectro del Mn, siendo debida a Mn^{+} . Pero no ha sido capaz de asignar la posición exacta de esta línea en el marco espectral del Mn ... Mr. Catalán me dijo que lo siguiente que intentará es encontrar la morfología del átomo de Fe a partir de los datos espectrales.

José Manuel Sánchez Ron



Henry Norris Russell

La siguiente carta conocida del intenso intercambio epistolar que mantenían entonces Russell y Saha, data del 17 de enero de 1922 y en ella también se menciona el trabajo de Catalán. Después de discutir las intensidades de las líneas H y K, y el trabajo de Compton sobre el problema del bario, Russell manifestaba que estaba de acuerdo en la importancia del trabajo sobre los espectros del manganeso y del hierro, para manifestar a continuación:

Lo que dice acerca de Mr. Catalán es de muy gran interés, al igual que sus [esto es, de Saha] sugerencias acerca del espectro del hierro. Espero discutir esto con mis amigos del Monte Wilson.

(En Monte Wilson, Russell continuaría extendiendo la teoría de la ionización de Saha.)

Naturalmente, Russell pronto buscó noticias más de primera mano (hay que insistir en que el artículo de Catalán no se había publicado todavía). Así, escribió a Fowler (18 de enero de 1922):

Una carta que acabo de recibir del Dr. Saha contiene alguna información extremadamente interesante acerca del trabajo de Mr. Catalán sobre el espectro del manganeso. Voy a salir hacia Mt. Wilson para mi segundo periodo de trabajo allí, y planeo trabajar con Adams en la mejora de la interpretación de los espectros estelares en base a la teoría de ionización. Sería extraordinariamente útil para nosotros el saber más acerca de los resultados de Mr. Catalán; cuanto más mejor. Si Vd. o él pudiesen comunicárnoslos antes de que sean publicados, y también cualquier cosa que Vd. pueda haber obtenido sobre el hierro, u otros de los muchos espectros de líneas, sería también de gran ayuda para nosotros. Estaremos encantados de seguir cualquier indicación de Vds. con respecto a publicación, si quieren que las cosas vean la luz por primera vez en sus propios artículos.

Nótese de esta carta, por cierto, el gran interés que mostraba Russell por datos sobre el espectro del hierro. Semejante interés no decayó, como tendremos ocasión de comprobar a propósito de

las relaciones de Russell y Catalán durante y después de la Guerra Civil.

Fowler tardó un poco en contestar (el 20 de febrero) y no fue demasiado explícito, tal vez para salvaguardar la originalidad del trabajo de Miguel:

No sé muy bien qué decirle acerca del trabajo de Catalán sobre el manganeso, ya que trata en esencia de detalles espectroscópicos que no pienso sean de utilidad inmediata para usted, y requeriría escribir mucho. Aquello en lo que, imagino, más interesado estará es el valor del potencial de ionización que ha deducido de su prolongación de nuestro conocimiento de las series. Encuentra 2,3 voltios para el potencial de resonancia (combinación $1s - 1p_2$), y 7,4 voltios para el potencial de ionización. El artículo ha ido y vuelto entre nosotros desde su regreso a Madrid, pero por fin lo he enviado a la Royal Society. En breve, espero, se publicará un pequeño resumen de sus conclusiones y le enviaré una copia. Catalán ha realizado avances sustanciales con otros elementos, pero dudo que haya obtenido series lo suficientemente completas como para deducir potenciales...

El resto de la carta se refería al viaje que Fowler tenía planeado para asistir a la reunión de la International Astronomical Union (IAU) en Roma, en la que también pensaba participar su colega de Princeton.

Russell sin duda entendió la reluctancia de Fowler. El 17 de marzo le daba al británico las gracias por la información que le había enviado sobre el manganeso, mencionando que se daba cuenta de que los detalles completos tendrían que esperar a la publicación. Pero también pedía listas de líneas y detalles acerca de lo que Catalán había encontrado en otros elementos. Comentaba que pronto saldría para Grecia y para la reunión de Roma de la IAU.

El interés de Russell emanaba de sus investigaciones astrofísicas, que aunque en aquellos años cruciales se solaparon cada vez más con los trabajos de los físicos "atómicos" (como demuestra el acoplamiento de Russell-Saunders) tenían su propio ámbi-

to ²³. Pero los físicos que se estaban ocupando de intentar desentrañar la estructura atómica también advirtieron la importancia del descubrimiento del científico español. Un ejemplo en este sentido lo suministra nada menos que Niels Bohr. Entre el 12 y el 22 de junio de 1922, Bohr dictó un, ahora célebre, curso de siete conferencias sobre la «Teoría de la estructura atómica» en Gotinga, al que además de científicos establecidos, como Born, asistieron jóvenes estudiantes como Heisenberg y Pauli ²⁴. Pues bien, en la sexta conferencia (21 de junio) Bohr mencionaba los resultados obtenidos por Catalán (Nielsen, ed. 1977, p. 402):

El espectro del manganeso, que, ha sido investigado por Catalán, es esencialmente diferente del de los alcalinos y alcalinotérreos. El motivo es que el momento angular del sistema interno es en este caso considerablemente más grande. La comparación de los espectros de arco y chispa demuestra que el espectro de chispa del manganeso es muy similar al espectro de arco. Esto es lo que esperaríamos de nuestra suposición de que se está completando un grupo interno en el período cuarto. No encontramos condiciones simples hasta que llegamos de nuevo al cobre, cuyo espectro exhibe una gran similitud al del sodio.

En otras palabras, los resultados obtenidos con el manganeso constituían una valiosa ayuda para Bohr, que por entonces pugnaba por utilizar lo que se conocía de la estructura atómica para explicar la tabla periódica de los elementos, un programa que culminaría poco después (Bohr y Coster 1923) ²⁵.

²³ Los espectroscopistas (algunos, al menos) veían con gusto el interés de Russell. En este sentido, Fowler le escribía, 21 de enero de 1924: «Es bueno saber el gran interés que ha tomado en las series espectrales y me alegra que ya haya tenido tales éxitos en conexión con el titanio. Espero que encontrará algunas interconexiones entre su [gran número] de multipletes. ¡Catalán tiene aquí algo por lo que interesarse!».

²⁴ El texto de estas conferencias no fue publicado en su momento, pero una traducción al inglés ha aparecido en el volumen 4 de los *Niels Bohr Collected Works* (Nielsen, ed. 1977, pp. 341-419).

²⁵ Sobre Bohr y la tabla del sistema periódico ver, por ejemplo, Pais (1991, pp. 202-209). Dirk Coster era un físico experimental holandés que pasó un año en Copenhague.



Einstein visitando en 1923 el Laboratorio de Investigaciones Físicas. Aparecen (de izda. a dcha.) entre otros, A. del Campo, B. Cabrera, A. Einstein, J. Palacios y M. A. Catalán

Para terminar esta sección, quiero mencionar, muy brevemente, la reacción que suscitó el descubrimiento de Catalán entre sus colegas del Laboratorio de Investigaciones Físicas.

Comencemos por Ángel del Campo, su maestro, quien tuvo pronto ocasión de expresar la admiración que sentía por el descubrimiento de su discípulo durante el noveno congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, que se celebró entre el 24 y el 29 de junio de 1923. Del Campo fue el encargado de pronunciar el discurso inaugural de la sección 3.^a («Ciencias físico-químicas»). Y esto fue lo que dijo (del Campo 1923, p. 90):

Un suceso extraordinario de gran importancia para nuestro país, y que supone un paso adelante en el progreso de la Ciencia española, es, en efecto, el constituido por el triunfo de nuestro antiguo discípulo de espectroscopia Miguel Catalán; de tal puede, en verdad, calificarse la gran resonancia que en todas partes han tenido sus notables y originales trabajos.

El caso de Catalán, hacia el que me permito llamar vuestra atención, no es uno más de la serie muy estimable, y por fortuna ya no escasa, de jóvenes que van al extranjero y al volver continúan desenvolviendo con éxito las ideas o los temas que un buen maestro les suministra. El caso de Catalán es muy otro: su extraordinaria afición a la espectroscopia, su creciente interés por tantas interrogaciones como en ese campo surgen a cada instante, le llevan al lado del insigne espectroscopista inglés Fowler; y en su laboratorio, donde no tarda en ponerse a la cabeza de sus habituales asistentes, perfecciona la técnica, y, lejos de necesitar temas del maestro, acomete con tesón admirable los que él mismo había ya encontrado, y no sólo consigue éxitos en la empresa, que nadie había osado, de ordenar espectros tan complicados como el del Manganeseo, descubriendo sus sistemas de series, sino que halla regularidades nuevas para las que él mismo sugiere la denominación de *multiplétes*, y extendiendo su campo de acción, halla nuevos *multiplétes* en el Cromo, y en el Escandio, en el Molibdeno y en la mayor parte de los elementos químicos.

De la gran trascendencia que el descubrimiento de estos *multiplétes* tiene para completar el conocimiento de la constitución del átomo, dan idea la preocupación de sabios tan

eminentes como Bohr y Sommerfeld, que se ocupan una y otra vez en dar la explicación a los hechos observados por Catalán, y el que en los momentos actuales, desde Alemania a los Estados Unidos, en los laboratorios de Meggers, Fowler, Sommerfeld, Paschen y de otros espectroscopistas de análogo fuste, se apresten los investigadores a continuar por los nuevos rumbos que los trabajos de Catalán señalan.

Para los científicos del Laboratorio de la Junta, era obvio que se estaba ante una buena oportunidad para competir con otros centros extranjeros, y Cabrera, como director del Laboratorio, así se lo trasmitía a Castillejo en una carta fechada el 18 de julio de 1923 ²⁶:

Mi querido amigo: Hace unos días le hablé por teléfono anunciándole mi doble propósito de pedir a esa Junta un crédito extraordinario con el fin de poner a Catalán, y los que con él trabajan, en condiciones a confirmar sus investigaciones sobre la constitución de los espectros, que tanta resonancia han tenido entre los especialistas. He recibido ya los presupuestos pedidos para el material indispensable y por ello le pongo estas líneas, pues sería conveniente (si es posible) que la resolución de esa Junta caiga antes del verano con el fin de hacer los pedidos correspondientes y al regresar a Madrid poder empezar la instalación.

Decía arriba que me mueve a solicitar este crédito la resonancia que los trabajos de Catalán han tenido entre los especialistas y parece lógico que comience especificándolo. En efecto, el problema de la constitución de los espectros es hoy el que parece conducir de modo más directo a dilucidar la estructura de los átomos, y por ello es uno de los que apasiona más a los hombres de ciencia, y entre ellos de manera más especial a N. Bohr y A. Sommerfeld.

Pasaba entonces Cabrera a describir el descubrimiento de Catalán, así como las publicaciones de otros científicos (Bohr, Sommerfeld, Landé, Saha y Russell) que había generado. «Puede decirse —continuaba— que los principales laboratorios espectro-

²⁶ Archivos de la JAE.

gráficos de Inglaterra, Alemania y los Estados Unidos, tienen hoy como uno de sus temas interesantes este género de investigaciones».

Felizmente —según diciéndole al secretario de la Junta— cuantos resultados han sido hoy publicados en este orden de ideas no añaden cosa especial a los dados a conocer por Catalán en el trabajo antes citado y en otras publicaciones hechas en los C. R. de la Academia de París y en los An. de la Soc. Esp. de Física y Química. Pero el material asequible con nuestros medios experimentales y los datos que pudo recoger durante su permanencia en el laboratorio de Fowler en Londres se va ya agotando, y hay que pensar en perfeccionar aquellos si, como es lógico y de justicia, queremos que conserve lo más posible la posición conquistada en el mundo científico, que al fin y al cabo nos honra a todos.

Está claro que el éxito científico obtenido por Catalán servía también para que Cabrera viese reforzada ante las autoridades de la JAE la posición de su Laboratorio. De hecho, como veremos en otro capítulo, la futura conversión del Laboratorio de Investigaciones Físicas en Instituto Nacional de Física y Química se vio favorecida también por las investigaciones de nuestro protagonista.

En cualquier caso, era evidente que la ciencia española, en general, y la promovida por la JAE, en particular, tenían motivos para estar de enhorabuena.

3.5. MIEMBRO DESTACADO DE LA COMUNIDAD INTERNACIONAL DE ESPECTROSCOPISTAS

Con su descubrimiento Catalán entró en el “circuito” de los espectroscopistas, que seguían con interés sus trabajos, sometidos también, como es natural, a críticas. Un buen ejemplo en este sentido son algunos párrafos de una carta que H. N. Russell envió a W. F. Meggers el 5 de octubre de 1923 ²⁷. «No he sido

²⁷ «H. N. Russell papers».

capaz —escribía el astrofísico estadounidense— de obtener el artículo de Catalán sobre el escandio ²⁸. ¿Sería posible que hiciese Vd. una copia fotostática del que tiene en el [National] Bureau [of Standards] y que me la enviase?». Más adelante, Russell señalaba que «Catalán ha realizado un gran descubrimiento, pero también puede equivocarse. Back acaba de obtener algunos bellos resultados en M. N. que Catalán obtuvo a medias, pero que obtuvo mal. Da todos sus datos y cualquiera podría haberlos puesto bien en media hora de trabajo, en cualquier momento del año pasado. Ojalá que me hubiese molestado en mirar el asunto en lugar de suponer que Catalán había obtenido todo lo que había que obtener. De manera que si yo fuese Vd. no me preocuparía de sus anteriores publicaciones y continuaría adelante».

Algunos meses después, el 6 de febrero de 1924, Russell indicaba a Meggers que Catalán era «un competidor activo», pero que no le consideraba «uno muy peligroso. No ve todo lo que debiera, y algunas veces ve cosas que no están ahí. Por ejemplo, la clasificación de temperatura de los pares característicos en el Sc muestra conclusivamente que todos se originan del mismo nivel bajo, mientras que Catalán hace que algunos suban de este nivel y otros que bajen, simplemente porque ha supuesto que este nivel es un término p, lo que ciertamente no es» ²⁹.

Si la ciencia es aciertos y errores, caminos fructíferos y equivocados, elogios pero también críticas, comentarios como los anteriores muestran que Miguel Catalán era considerado, plenamente, un científico por sus colegas extranjeros.

²⁸ Probablemente se refiera a Catalán (12).

²⁹ «H. N. Russell papers».

CAPÍTULO 4

CATALÁN Y SOMMERFELD
EL EJE MADRID-MUNICH

4.1. ENCUENTRO CON ARNOLD SOMMERFELD

Ignoro cuando regresó Catalán a Madrid. Probablemente fue durante el otoño de 1921¹. Ya en Madrid, de nuevo en el Laboratorio de Investigaciones Físicas, continuó a ritmo acelerado sus investigaciones espectroscópicas. Especialmente interesante es un trabajo que Blas Cabrera le presentó a la Real Academia de Ciencias el 10 de mayo de 1922, en el que Catalán (11) trataba con cierta extensión los «resultados alcanzados en la interpretación del espectro del manganeso». En realidad, este artículo constituía una presentación, ampliada, de su trabajo en las *Philosophical Transactions* (en 1923, 1930 y 1933 aparecieron otros tres artículos, con el mismo título genérico —y también en la *Revista de la Real Academia de Ciencias*— «Estudios sobre series espectrales», sólo que ahora con el añadido de II, III [Cobalto] y IV [Molibdeno], respectivamente)².

Pero en cierto sentido más importante que estos trabajos es un acontecimiento que influiría de manera destacada en algunos aspectos de su vida posterior, así como en el alcance científico de su descubrimiento de los multipletes. Me estoy refiriendo a la visita a Madrid, entre finales de febrero y principios de marzo de 1922, de Arnold Sommerfeld, el famoso físico teórico alemán y director de un Instituto de Física Teórica en la Universidad de

¹ En el curriculum manuscrito por Catalán, al que ya me referí con anterioridad, simplemente se indica: «Pensionado por la Junta para Ampliación de Estudios trabaja como "Research student" en el Imperial Institute de Londres bajo la dirección del Profesor A. Fowler. 1920-1921».

² Catalán (11, 22, 42, 47).

Munich, autor, además, del célebre *Atombau und Spektrallinien*, la auténtica "biblia" de la física atómica, en cuyas sucesivas ediciones (la primera apareció en 1919) varias generaciones de físicos configuraron sus conocimientos de la vieja teoría cuántica ³.

En marzo y abril de 1922, las Facultades de Ciencias y de Farmacia de la Universidad de Madrid organizaron un programa de conferencias a cargo de Sommerfeld, Otto Honigschmid y Kasimir Fajans, todos profesores de la Universidad de Munich. Las conferencias de Sommerfeld se dieron en el salón de Grados de la Facultad de Ciencias, mientras que las de sus dos colegas tuvieron lugar en el aula de Mineralogía de la Facultad de Farmacia (todas se pronunciaron en francés). Es interesante reproducir los programas de sus cursos:

Sommerfeld: «Fundamentos de la teoría de Bohr; espectro del hidrógeno» (6 de abril); «Estructura fina del espectro del hidrógeno» (7 de abril); «Teoría de los espectros de los rayos X» (25 de abril); «Estructura fina de los espectros de los rayos X» (26 de abril); «Espectros ópticos en general» (27 de abril); «Complementos matemáticos acerca de las integrales de fase» (28 de abril).

Honigschmid: «Métodos clásicos para la determinación de los pesos atómicos» (28 y 29 de marzo); «Radiactividad y la determinación de pesos atómicos» (1 de abril); «La determinación de los pesos atómicos y la isotopía» (5 de abril); «Resultados recientes en la determinación de los pesos atómicos».

Fajans: «Radiactividad natural» (30 de marzo); «Isotopía de los radioelementos» (31 de marzo); «Isotopía de los elementos ordinarios» (3 de abril); «Radiactividad artificial» (4 de abril); «La estructura cristalina y la química» (4 y 5 de abril) «La constitución del átomo y la química» (8 de abril).

En el curso de doctorado de 1946 en el que se refirió a la historia del descubrimiento de los multipletes, Catalán comentó también su encuentro y relación con Sommerfeld ⁴. Veamos lo que dijo en aquella ocasión:

³ Sobre Sommerfeld, ver Eckert, Pricha, Schubert y Torkar (1984).

⁴ *Apuntes de estructura del átomo*, pp. 99-100.

Cuando se publicó el trabajo del manganeso dio la casualidad de que todavía no se había mandado el manuscrito y entonces vino Sommerfeld ... a dar aquí [Madrid] una conferencia. Le di mi trabajo y se lo llevó una noche a su casa. Se excitó muchísimo con mi trabajo porque él había creado su teoría de los cuantos internos casi sin datos con los alcalinos y alcalinotérreos y de repente se encontró con que yo le proporcionaba una gran cantidad de datos para su teoría. Al día siguiente me llamó y tuvimos una conversación que iba a ser el principio de una relación muy estrecha que todavía hoy conservamos. Yo le fui explicando todo aquello entendiéndonos en inglés porque yo no comprendía bien el alemán. Se marchó y hubo una circunstancia que estuvo a punto de que yo perdiera la paternidad del descubrimiento. La memoria que yo le di la llevó él a un laboratorio y allí no fueron leales, lanzaron una publicación con unas interpretaciones basándose en los conocimientos que mi memoria les proporcionaba. La autora fue una señorita. Yo publiqué mi trabajo en Inglaterra en marzo de 1922 y ella en Alemania en noviembre del mismo año. Además yo había dado para el manganeso un caso general y presentaba los multipletes ya publicados en el trabajo del manganeso⁵.

Poco después salieron en América unos trabajos con el espectro del hierro y así vinieron los primeros multipletes (Walter). Después salieron en todos los laboratorios.

Sommerfeld quería que yo fuese a enseñar el método a Munich. Pidió para mi una pensión y fui a explicar mi método. Uno de sus alumnos trabajaba conmigo [K. Bechert] y sobre esta materia estuvo trabajando aquí en España pensionado por Rockefeller.

En el capítulo 2 ya me referí a la introducción del número cuántico interno debida a Sommerfeld (1920). En esencia, lo que señalé entonces es que estimulado por la observación de que el principio de combinación de Ritz era violado en ocasiones, esto es, que se podían encontrar casos en los que no aparecían líneas que en principio podían tener lugar, Sommerfeld llegó a la idea

⁵ Catalán se refiere aquí a Helde Gieseler, una estudiante de Paschen en Tubinga. El artículo de Gieseler (1922) fue recibido en los *Annalen der Physik*, en donde fue publicado, el 19 de junio de 1922, apareciendo finalmente el 2 de noviembre. Los comentarios de Catalán corrigen lo que se indica en Mehra y Rechenberg (1982, pp. 480-481).

José Manuel Sánchez Ron



Miguel Catalán

de que debía existir un principio de selección todavía no descubierto que prohibiese tales líneas. Para descubrir tal principio asignó provisionalmente a cada término espectral un número, n_1 , que denominó «número cuántico interno»⁶, al que más tarde se terminaría designando, siguiendo una propuesta de Niels Bohr, con la letra j .

La información suministrada por Catalán a Sommerfeld en Madrid sirvió para que éste desarrollara más su idea de los números cuánticos internos. Rapidamente escribió un artículo (Sommerfeld 1923) titulado «Interpretación de los espectros complejos (manganeso, cromo, etc.) por el método de los números cuánticos internos», en cuya introducción se lee⁷:

En este trabajo vamos a demostrar cómo el esquema de los números cuánticos internos, debidamente ampliado, da buen resultado para explicar estructuras muy complicadas de líneas correspondientes al final del sistema periódico. El estímulo para llevar a cabo esta ampliación la encontré cuando pude conocer el análisis del espectro del manganeso que había realizado el Sr. Catalán en el laboratorio de A. Fowler. Se vio que los nuevos conjuntos de líneas analizados por el Sr. Catalán encajan excelentemente en el esquema de los números cuánticos internos. Además de los espectros de arco y chispa del manganeso, presentaba también especial interés extender el estudio al espectro del cromo, estudiado asimismo por el Sr. Catalán, pero sólo parcialmente⁸.

A partir de entonces se estableció algo así como un eje Madrid-Munich, con un constante intercambio de información entre ambos grupos⁹. El 19 de abril de 1923, por ejemplo,

⁶ Sommerfeld utilizó este nombre porque pensaba que debía corresponder a alguna oscilación interna del átomo todavía desconocida.

⁷ El artículo fue recibido en la redacción del *Annalen der Physik* el 20 de agosto de 1922.

⁸ Catalán (13 y 14).

⁹ Copias de estas cartas se encuentran en el archivo «Sources for History of Quantum Physics» (para una descripción de este archivo, ver Kuhn, Heilbron, Forman y Allen [1967]). Algunos datos acerca de la relación epistolar entre Catalán y Sommerfeld aparecen en Sánchez Ron (1983).

Catalán escribía (en inglés) a Sommerfeld una carta en la que señalaba que «hacía unos pocos días le había enviado algunas separatas de sus trabajos sobre el escandio y el cromo ¹⁰. Por favor, dé algunas de ellas a sus discípulos si están interesados en la estructura espectral». Asimismo le anunciaba que pronto le enviaría un artículo sobre la estructura del molibdeno que acababa de enviar a publicar ¹¹. «Creo —añadía— que los trabajos sobre el cromo y el molibdeno darán un fuerte apoyo al *Methoden der inneren Quantenzahlen*» ¹². Y a continuación, se sumergía en complejos cálculos espectrales.

Algo más de un mes después, el 14 de mayo, Catalán volvía a escribir a Sommerfeld agradeciéndole —en su nombre al igual que en los de Cabrera, Moles y del Campo— el envío de una separata del artículo con el método de los números cuánticos internos (Sommerfeld 1923). Tras comunicarle que el artículo de del Campo sobre multipletes (pp') en el calcio no estaba todavía preparado, Miguel señalaba que «desde que llegó a mis manos su carta he estado ocupado con los multipletes $pd^3 + p^3d^3$ del Cr+Mo para ver si era posible completarlos como en el esquema de su carta». Es evidente que Catalán se esforzaba por confirmar con sus observaciones el método de los números cuánticos internos; en este sentido apuntaba que «la dificultad es solamente con los valores *absolutos* de j . Los valores relativos por supuesto están bien explicados. En su esquema en Ann. p. 46 vol. 70 [Sommerfeld 1923], no hay problema para Mn porque ... no existen valores de j mayores de 3, pero el caso del Cr es diferente». Tres semanas más tarde, el 5 de junio, el científico aragonés parecía haber resuelto algunas de sus dificultades con la teoría de Sommerfeld: «Entiendo ahora muy bien su 'regla de intensidad'. Desgraciadamente el Mo está impreso y no puedo cambiar nada. Muy pronto publicaré el mismo artículo, más completo, en la Academia y entonces podré efectuar los cambios necesarios». Y a

¹⁰ Seguramente se refiere a Catalán (12, 13 y 14).

¹¹ Seguramente Catalán (15).

¹² Recordemos que el título de Sommerfeld (1923) era «Über die Deutung verwickelter Spektren (Mangan, Chrom usw.) nach der Methode der inneren Quantenzahlen».

continuación añadía: «Es muy importante señalar que *todo* lo del Cr, Mo ha sido explicado con el "inneren Quantenzahlen".

El artículo al que se estaba refiriendo corresponde al segundo de sus estudios sobre series espectrales (Catalán 22). Animado por los excelentes resultados obtenidos en la primera parte, en la que había discutido con detalle la estructura del espectro del manganeso, en esta segunda entrega Catalán aplicó los mismos métodos a otros espectros más complejos, como eran los del cromo y el molibdeno (miembros del grupo VI de la tabla periódica), con buenos resultados. «Mediante la ayuda de los principios de combinación de Ritz y de selección de Bohr y de Sommerfeld —escribía— hemos conseguido ordenar en series un gran número de líneas intensas que forman la trama, digámoslo así, de esos espectros tan complicados».

Una de las secciones en las que se veía claramente el apoyo que las observaciones de Catalán brindaban a las aportaciones teóricas de Sommerfeld es la sexta («Intercombinaciones entre septetes y quintetes»). Refiriéndose a los multipletes de intercombinación

$$4_{5,3,j=4,3,2,1,0}-4_{7,2,j=4,3,2} \text{ y } 4_{5,3,j=4,3,2,1,0}-4_{7,2,j=4,3,2}$$

del cromo, Miguel explicaba que había identificado en primer lugar las cuatro líneas más intensas, que ya figuraban en las tablas de longitudes de onda del cromo más utilizadas. Ahora bien, Sommerfeld le había comunicado en una carta que según su hipótesis de los números cuánticos internos, esos multipletes debían estar integrados por 8 líneas, no por 4, distribuidas en 2+3+2+1 componentes; pero tales líneas no observadas debían, de acuerdo a las reglas de intensidad, ser las menos intensas, lo que inducía a pensar que probablemente habrían pasado desapercibidas por los científicos que habían trabajado con el espectro del cromo. Después de varios intentos de obtener tales líneas, «especialmente por lo que se refiere a las del multiplete verde, ya que en esa región la presencia de una banda hacía verdaderamente penoso la busca de líneas de tan pequeña intensidad, conseguimos —señalaba Catalán— obtener las líneas que habían de completar esos multipletes, según Sommerfeld, y fueron medidas con toda la exactitud que su corta intensidad permitía».

Semejantes resultados permitían al espectroscopista español concluir que

De todas las líneas de combinación aritméticamente posibles, *sólo aparecen como líneas reales aquellas que permite el principio de selección de los cuantos internos*, que queda por esto reforzado considerablemente.

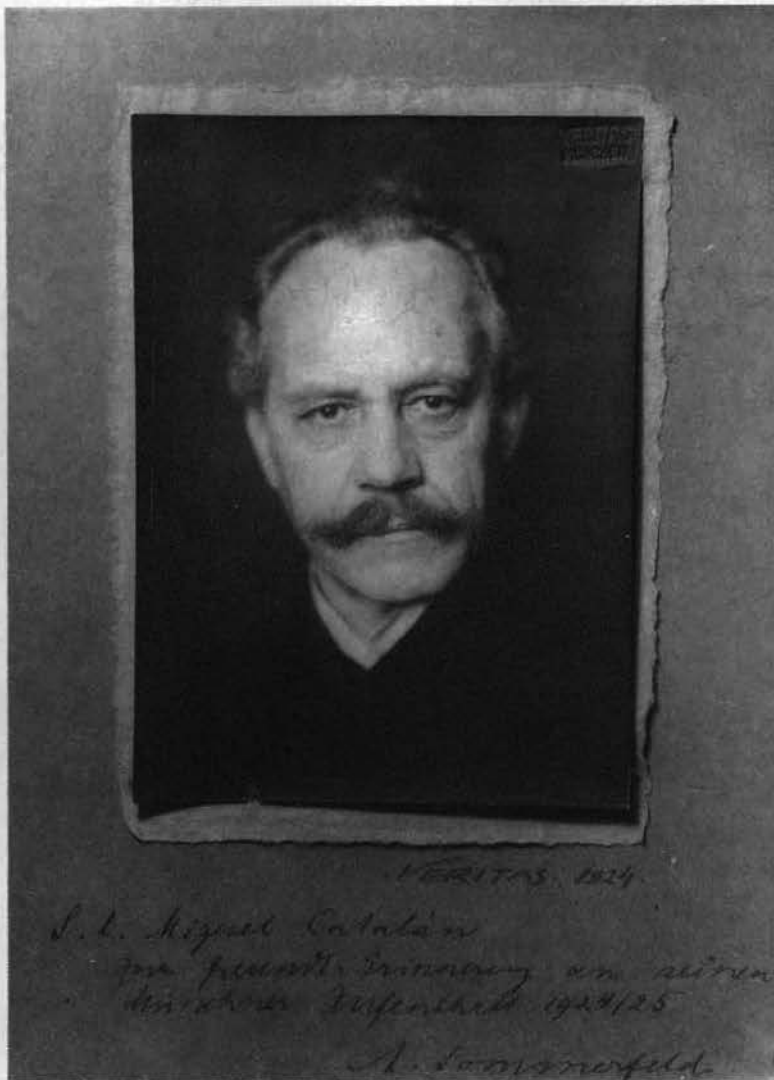
En la carta a Sommerfeld que estaba comentando antes, Catalán también mencionaba sus dificultades con el titanio, en el que había trabajado algunos días hacía tiempo: «me fue imposible obtener buenos resultados. La temperatura más baja de la tabla de King no es suficiente para separar completamente las diferentes clases de líneas. *Pienso* que es posible encontrar multipletes entre las líneas de la clase I, pero el único que he encontrado no es suficientemente convincente. Por el contrario, entre las líneas de la clase II tengo evidencia de que hay algunos importantes y fuertes multi-dobletes».

Aunque Catalán era el principal interlocutor de Sommerfeld en Madrid, otros miembros del Laboratorio de Investigaciones Físicas también mantenían algún contacto con él. Ángel del Campo era uno de ellos. El 4 de junio de 1923, por ejemplo, escribía a su colega de Munich agradeciéndole «el regalo de la edición de su libro» (obviamente el *Atombau*). Aprovechaba del Campo para mencionar que acababa de publicar una nota sobre el espectro del calcio, «presentada varios meses antes de su inolvidable visita a Madrid y en la que no he podido hacer más que algunas aclaraciones, según sus indicaciones, en las pruebas»¹³. En lo que se refiere a la teoría cuántica, Sommerfeld se había

¹³ Del Campo (1922). En la lista de publicaciones que del Campo presentó a la Academia de Ciencias cuando fue elegido miembro, escribía acerca de este artículo suyo:

«LOS GRUPOS DE LÍNEAS NO SERIADAS EN EL ESPECTRO DEL CALCIO. Este trabajo ha modificado un estudio dedicado exclusivamente a él en el *Physikalische Zeitschrift*; una mención detallada especial por el profesor Sommerfeld en la 4ª colección de la obra *ATOMBAU* etc; también está comentado en el VII tomo de Kayser, *Handbuch für Spektroskopie*».

(Archivos de la Academia de Ciencias, Madrid.).



A. Sommerfeld. Fotografía dedicada a Catalán

convertido, está claro, en el guía espiritual de los espectroscopistas madrileños.

Por su parte, Sommerfeld estaba impresionado por Catalán, como reconocía Augustus Trowbridge, un antiguo profesor de Princeton y en aquel momento director para Europa de la Sección de Ciencias Físicas y Biológicas del International Education Board, en uno de sus diarios (entrada del 24 de marzo de 1925, escrita en Munich) ¹⁴:

Catalán es un joven que parece muy inteligente, y que ha impresionado a Sommerfeld inmensamente con su peculiar habilidad para advertir (casi intuitivamente) oscuras relaciones entre líneas especiales de los espectrogramas de los elementos. Aparentemente tiene poca o nula habilidad experimental, pero siempre será un hombre altamente especializado que, según el Prof. Sommerfeld, es seguro que realizará grandes descubrimientos de gran importancia ¹⁵.

El motivo de la reacción tan favorable de Sommerfeld queda, por supuesto, claro con lo visto hasta el momento: Catalán se había erigido en un valiosísimo punto de apoyo para su teoría de los números cuánticos internos, que podría ser una piedra angular en la mecánica cuántica que tan afanosamente buscaban los físicos teóricos de la época.

De hecho, los halagos que Sommerfeld prodigaba al científico español no los limitaba a recomendaciones más o menos privadas, o durante su visita a España. En una ocasión, hasta cierto punto tan solemne como las tres conferencias que pronunció en la Universidad de Londres en 1926, y que enseguida fueron recogidas en un libro, *Three Lectures on Atomic Physics*, Sommerfeld (1926, pp. 31-32) aireó la importancia de la aportación de Catalán:

Nuestro conocimiento de los espectros complejos ha experimentado un rápido progreso durante los últimos años. Se

¹⁴ Rockefeller Archives.

¹⁵ Más adelante volveremos a la cuestión de los juicios de Trowbridge sobre Catalán.

han analizado, por ejemplo, los espectros del hierro, níquel, cobalto y paladio y están siendo atacados los altamente complejos espectros del tungsteno y el platino. De hecho, no se tardará mucho antes de que los espectros más difíciles y extraños, los de las tierras raras, sean dominados. El impulso principal de este desarrollo lo dio un artículo de Mr. M. A. Catalán, que trabajó durante los años 1920 y 1921 en el laboratorio del profesor Fowler. Este trabajo trata del espectro del manganeso. Participé en este artículo porque conocí a Mr. Catalán en 1922 en Madrid y pude obtener información de primera mano sobre sus nuevos multipletes y sus abundancias de líneas; fui capaz de, inmediatamente, adscribir a sus términos de nivel números cuánticos internos, cuyas reglas de selección explicaban la ausencia de componentes. Dos de mis pupilos, Laporte y Bechert, han continuado trabajando con este método.

4.2. EN MUNICH

Las relaciones entre Catalán y Sommerfeld condujeron a que el primero pasase el curso 1924-25 en Munich con su esposa, Jimena Menéndez-Pidal (1901-1990), con quien se había casado después de regresar de Londres. Fue la International Educational Board (IEB) de la Fundación Rockefeller quien financió su estancia en Alemania, tras una solicitud del propio Sommerfeld el 20 de junio de 1924, en la que el profesor germano hacía referencia al «trabajo fundamental [de Catalán] sobre el espectro del manganeso» y a que desde su encuentro en Madrid ambos habían mantenido «continuamente ... intercambios de ideas sobre temas científicos», para pasar a continuación a indicar que «su trabajo en el espectro del manganeso ... encajó admirablemente con el aspecto de la teoría cuántica que yo desarrollé en 1920 ... Yo mismo he interpretado teóricamente los resultados del Sr. Catalán. Desde entonces el Sr. Catalán ha utilizado mi método en una serie de importantes trabajos (publicados en «Anales de Sociedad

Española») sobre los espectros del Sc, Mo, Cr. También ha obtenido buenos resultados con el espectro del hierro»¹⁶.

El 4 de septiembre, la IEB comunicaba a Sommerfeld que se concedía la ayuda que había solicitado para Catalán (también la de Laporte). Las condiciones eran de un año, comenzando el 1 de octubre, con una dotación que no excediese los 150 dólares mensuales «para gastos de mantenimiento de él y su esposa», más los necesarios gastos de viaje; además, se requería que las autoridades madrileñas le concediesen una excedencia por un año¹⁷. El 25 de octubre, Castillejo escribía a Wickliffe Rose, que dirigía la IEB desde la creación de ésta en 1923, informándole que el permiso requerido había sido concedido y que Catalán saldría hacia Munich en unos pocos días. No hubo problemas, aunque el inicio de la estancia de Miguel en Alemania sufrió algún retraso.

Sobre el Instituto de Física de Sommerfeld y, en general, sobre la extraordinaria capacidad de éste como maestro, se ha escrito bastante. Una medida de semejante habilidad surge sin más que dar el nombre de algunos de sus estudiantes, de los más brillantes. Con anterioridad a 1914 tuvo como estudiantes, doctorandos, *privatdozenten*, ayudantes o investigadores asociados a, Peter Debye, Ludwig Hopf y Max von Laue; entre 1914 y 1925, Walter Friedrich, Peter P. Ewald, Léon Brillouin, Alfred Landé, Paul Epstein, Walther Kossel, Gregor Wentzel, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg, Otto Laporte, Karl F. Herzfeld, Karl Bechert y Adalbert Rubinowicz (además de Catalán, por supuesto); y

¹⁶ A. Sommerfeld a Wickliffe Rose, director de la International Educational Board; Archivos Rockefeller. En esta misma carta, Sommerfeld también solicitaba ayuda para Otto Laporte, un doctorando suyo con el que había estado trabajando «en la clasificación de espectros complicados, especialmente en el vanadio y el hierro». Sommerfeld deseaba que Laporte pasase un año con William Meggers en el National Bureau of Standards, ya que las investigaciones espectroscópicas de su estudiante habían coincidido con las del físico estadounidense. Como veremos a partir del próximo capítulo, Meggers también estuvo relacionado con Catalán (aunque parece que todavía no en 1924), lo que nos da una idea de algunas de las redes de comunicación existentes en el ámbito de la espectroscopia a partir de, digamos, los años 20.

¹⁷ Archivos Rockefeller.

entre 1926 y 1938 a Walter Heitler, Albrecht Unsöld, Rudolf Peierls, Hans Bethe, Linus Pauling, Carl Eckart, William V. Houston, Edwin Kemble, Isidor Rabi, Edward U. Condon, Philip M. Morse y Herbert Fröhlich ¹⁸. (Si nos fijamos, observaremos el importante número de científicos estadounidenses que, sobre todo a partir de 1926, recibió Sommerfeld, la mayoría con ayudas de la Fundación Rockefeller. Esto nos muestra que sus relaciones con la Fundación norteamericana debieron ser excelentes).

Poco después de llegar a Munich, Catalán informaba a Castillejo, el 19 de noviembre de 1924, acerca de cómo se desenvolvía su vida allí ¹⁹:

Mi distinguido amigo: Ya estamos instalados en esta ciudad. El prof. Sommerfeld nos ha recibido con mucho afecto y he comenzado en su seminario de física a trabajar mañana y tarde. También asisto a algunas de sus enseñanzas, a las discusiones científicas de su seminario y a alguna conferencia. No entiendo gran cosa de lo que allí se dice pero así voy acostumbrando el oído.

Naturalmente, Miguel también tenía que mantener informada de sus actividades a la International Education Board; en este sentido, el 23 de febrero de 1925 escribía a Trowbridge, incluyendo más detalles que los que envió a Castillejo ²⁰:

Abandoné Madrid el 1 de noviembre. Pasé una semana en París visitando los laboratorios de investigación más importantes, especialmente aquellos relacionados con la espectroscopia. Dejé París el día 8 y llegué a Munich el 9 de noviembre; el día siguiente comencé mi trabajo bajo la dirección del profesor Sommerfeld en su Instituto für Theor. Physik. He encontrado allí todo lo que quería para mi trabajo científico y he tenido la oportunidad de reunirme con físicos interesantes de los que he

¹⁸ Una lista más completa se encuentra en Eckert, Pricha, Schubert y Torkar (1984, pp. 111-112).

¹⁹ Archivo de la JAE.

²⁰ Rockefeller Archive Center; original en inglés.

aprendido muchas cosas. Me encuentro muy feliz en este Instituto.

Los primeros resultados de mi trabajo aquí son los siguientes:

Una nota presentada por el Prof. Sommerfeld a la Bayerische Akademie sobre la relación entre los espectros de los elementos del grupo del hierro [Catalán 28] y un artículo relativamente largo sobre la estructura del espectro del cobalto, que será publicado en el «Zeitschrift für Physik». Este último trabajo ha sido realizado en colaboración con Herrn Bechert [Catalán 29 y 32] ...

He encontrado muy fructífera la colaboración con Herrn Bechert y acaso todavía la encontraría más si esta colaboración continuase un año más en Madrid; el Profesor Cabrera, director del Laboratorio de Investigaciones Físicas de Madrid nos da la oportunidad de utilizar los instrumentos espectroscópicos de su laboratorio.

Pocos días después de esta carta, el 8 de marzo, Miguel escribía a Gonzalo G. de la Espada, uno de los funcionarios de la JAE, dándole más noticias de su estancia en la capital bávara ²¹. Seguía sin novedad en el Instituto de Sommerfeld y anunciaba la futura aparición de los dos trabajos que había mencionado a Trowbridge. «Estos dos artículos —señalaba— representan el fruto del trabajo de estos primeros meses». Y en cuanto a otros temas, no relacionados con lo puramente científico, volvía a aparecer el amante de la naturaleza:

Ya estamos acostumbrados a la vida y comida de aquí y hasta al clima también. Creíamos que ya había pasado el invierno pero sin embargo la temperatura ha saltado atrás y hace tres días que nieva sin cesar. Pero aprovechamos mucho la nieve para las excursiones de skis.

Como estamos viendo, Karl Bechert, un ayudante de 24 años de Sommerfeld, con quien estaba completando su tesis doctoral, se convirtió en el colaborador de Catalán en Munich. La colabo-

²¹ Archivo de la JAE.



En una estación de esquí alemana (3 de enero de 1925)

ración resultaba tan satisfactoria que todos desearon que se prolongará un año más, aunque ahora en Madrid. Con tal motivo, Sommerfeld, secundado por Catalán, se dirigió a la IEB para solicitar que concediese a su estudiante (que debía completar su tesis doctoral aquella primavera) una de sus becas. Trowbridge era la persona clave para decidir sobre este punto ... y sobre otros, como veremos pronto. El 16 de abril, después de haberse entrevistado con Bechert en Munich, Trowbridge enviaba su informe a Wickliffe Rose. La impresión que había extraído del joven ayudante de Sommerfeld era «en conjunto favorable». Para el representante de la IEB, «esta solicitud de beca para Bechert es en mi opinión una petición de apoyo para el trabajo que Catalán está realizando con gran éxito en la actualidad sobre las regularidades en los espectros de los elementos». Ahora que Catalán tenía que regresar a Madrid, quería conservar con él un año más a Bechert, que según Sommerfeld mostraba «una notoria aptitud para este trabajo tan especial». En vista de todo esto, la opinión de Trowbridge era que «la designación de Bechert para que acompañase a Catalán a Madrid es deseable por las siguientes razones: Bechert ya ha mostrado una habilidad considerable en este campo tan especializado; ya ha estado asociado durante un año con Catalán; si va a permanecer en esta especialidad, otro año de asociación con Catalán es muy deseable. Creo que, decididamente, será del interés de esta bastante nueva y especial rama de la espectroscopia el tener más investigadores en ella de los que hay en la actualidad y anticipo que Catalán va a ser el centro de una escuela de investigadores en este campo. Haríamos bien en continuar su asociación con Bechert». Recomendaba, por tanto, que se le concediese una beca de un año, a partir de octubre de 1925, con un estipendio de \$120 mensuales, «que es la suma que la Division of Medical Education de la Rockefeller Foundation ha determinado es apropiada para un soltero en España». Con semejante informe, la beca le fue, por supuesto concedida. Adviertase, la muy positiva opinión de Trowbridge sobre Catalán, de quien anticipaba que iba «a ser el centro de una escuela de investigadores en este campo». Es conveniente recordar este juicio para algunas manifestaciones posteriores de Trowbridge.

Éste, de hecho, era informado con cierta frecuencia de las actividades de Miguel en Alemania. Una nueva carta, fechada en Tubinga el 15 de mayo, arroja información muy interesante acerca de esas actividades, así como sobre problemas que deseaba abordar en el futuro ²²:

Estamos en Tubinga desde el 1 de mayo. Vinimos a esta ciudad siguiendo los consejos del Prof. Sommerfeld. Estoy aprendiendo cómo obtener buenas placas del efecto Zeeman y la utilización de muchos instrumentos.

He sido muy bien recibido por todos en este Instituto, en especial por los Prof. Gerlach, Prof. Landé y Dr. Back. He tenido ocasiones de hablar con ellos acerca de diferentes problemas físicos.

He estudiado con cierto detalle los dispositivos de las redes, que como usted sabe, son los instrumentos más útiles en un laboratorio de investigación espectroscópica general y al mismo tiempo para el estudio de la estructura de los espectros.

Para el año que viene tengo la idea de comenzar en Madrid el estudio de la estructura de los espectros de *las tierras raras*, porque nadie ha atacado todavía este importante problema y, al mismo tiempo, porque es muy necesario completar, desde el lado espectroscópico, el trabajo que el Prof. Cabrera ha realizado sobre esos elementos estos últimos años en Madrid, desde el punto de vista magnético.

Mañana vamos a ir durante algunos días al Physikalische Institut de Bonn. Pretendemos permanecer allí para hablar con los físicos de este Instituto y ver sus investigaciones experimentales, y después regresar a Munich.

El Physikalische Institut de Tubinga, el lugar en el que Catalán pasó dos semanas, era un magnífico centro de física. Lo había dirigido Friedrich Paschen hasta el 1 de septiembre de 1924, cuando pasó a presidir el Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, siendo sucedido por Walther Gerlach, que llegó desde la Universidad de Frankfurt-am-Main (estuvo en Tubinga hasta 1929, cuando pasó a Munich), en donde había realizado, en 1922, su famoso experimento con Otto Stern, que probaba la cuantización direccional de los átomos al pasar a través de un campo

²² Archivos Rockefeller.



El Instituto de Física de Tubinga cuando lo visitó Catalán

magnético inhomogéneo ²³. Alfred Landé, otro de los nombres mencionados por Catalán, era *Ordinarius* (catedrático) —continúo refiriéndome a Tubinga— desde 1922 (lo fue hasta 1931, año en que se trasladó a Estados Unidos). Finalmente, Ernst Back fue *privatdozent* entre 1923 y 1926.

La tradición espectroscópica del Instituto de Física de Tubinga se remontaba, cuando menos, a los tiempos de Paschen. Para dar idea de algunos de los intereses espectroscópicos de Paschen y, al mismo tiempo, involucrar a Landé, que, de hecho, ya nos ha aparecido en este libro, me referiré brevemente al efecto Zeeman anómalo.

En abril de 1921, Alfred Landé (1921) enviaba al *Zeitschrift für Physik* un artículo titulado «Sobre el efecto Zeeman anómalo», en el que demostraba cómo se podía modificar de manera *ad hoc* la teoría cuántica del efecto Zeeman, que había tenido solo un éxito muy limitado en los cinco años desde su construcción por Arnold Sommerfeld y Peter Debye, para que pudiera dar cuenta de los multifacéticos efectos Zeeman anómalos —los muy complicados esquemas en que se separan las líneas espectrales cuando el átomo emisor está en un campo magnético ²⁴. Utilizando números cuánticos semienteros, incorporando el recientemente introducido número cuántico interno y, especialmente, introduciendo en cada estado atómico una constante especial, g (el cociente constante entre la energía adicional de un átomo en un campo magnético y la energía prevista por la teoría cuántica), Landé consiguió analizar los niveles de energía que se encontraban en el efecto Zeeman anómalo, poniendo por primera vez los fenómenos en contacto íntimo con el aparato de la teoría cuántica ²⁵.

En Tubinga, Paschen y sus estudiantes aplicaron en seguida el análisis de niveles de energía de Landé, al igual que su fórmula del factor g , a una variedad de nuevos casos (por ejemplo, a transiciones prohibidas de dobletes y tripletes compuestos).

²³ Sobre Gerlach, consultar Heinrich y Bachmann (1989).

²⁴ Ver Forman (1970).

²⁵ En este punto, es oportuno mencionar que a lo largo de su carrera Catalán (51, 68, 69 y 70) publicó varios trabajos relacionados en el factor g .

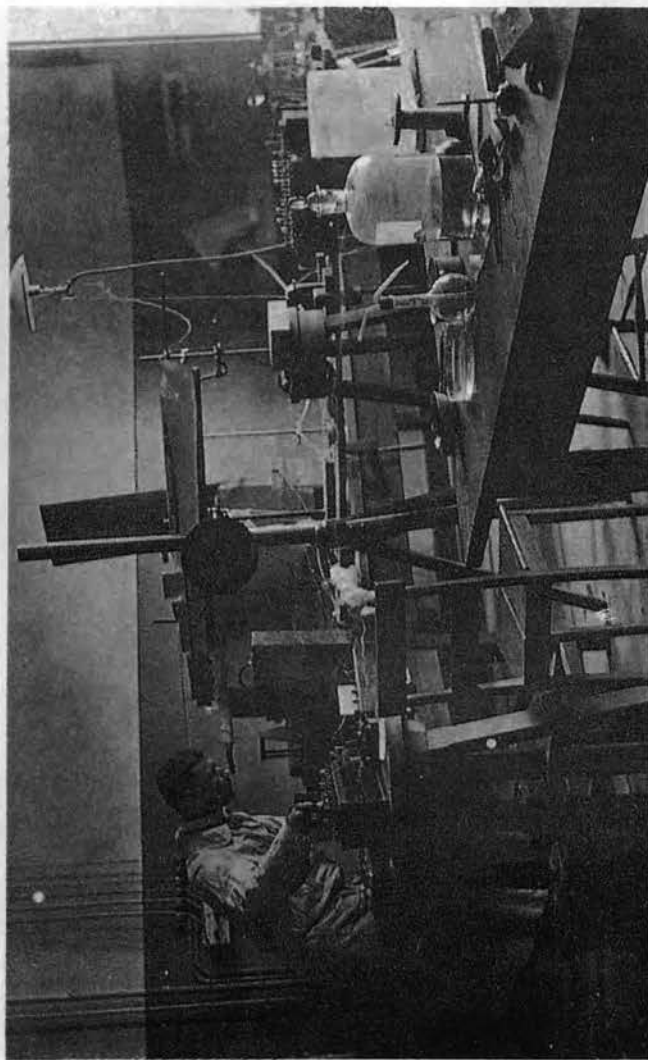
Durante la primavera de 1921, Paschen había descubierto que un campo magnético moderadamente fuerte —esto es, lo suficientemente fuerte como para producir algunos desdoblamientos en las líneas del grupo— hacía que apareciesen estas combinaciones previamente prohibidas. Con alguna dificultad logró implicar a Back, el otro científico mencionado por Catalán ²⁶, en las medidas y juntos fueron capaces de determinar los esquemas Zeeman de estas líneas prohibidas ²⁷ «El efecto Zeeman —escribía Paschen a Sommerfeld el 24 de julio— es en los tres casos *exactamente* lo que resulta de las nuevas reglas de Landé» ²⁸.

El consejo de Sommerfeld a Catalán de que visitase Tubinga, era, en definitiva, una magnífica recomendación, y no sólo en el plano experimental, sino también en el teórico. Notemos, sin embargo, que Miguel parecía estar más interesado en el aspecto experimental, y en particular en las redes de difracción, un punto éste en el que no parecía encontrarse demasiado fuerte, o, si se prefiere, en el que consideraba que debía mejorar todavía bastante, como tendremos ocasión de comprobar más adelante en este capítulo a propósito de ciertos intercambios con Trowbridge. También estaba interesado en aprender a obtener buenas placas del efecto Zeeman, que siempre constituían un elemento importante en las tareas de los espectroscopistas. De hecho, parece que consiguió algún material que pronto pudo utilizar en sus investigaciones. Así, en un artículo que publicó en 1929 sobre la estructura del espectro del manganeso, se lee (Catalán 38, p. 68):

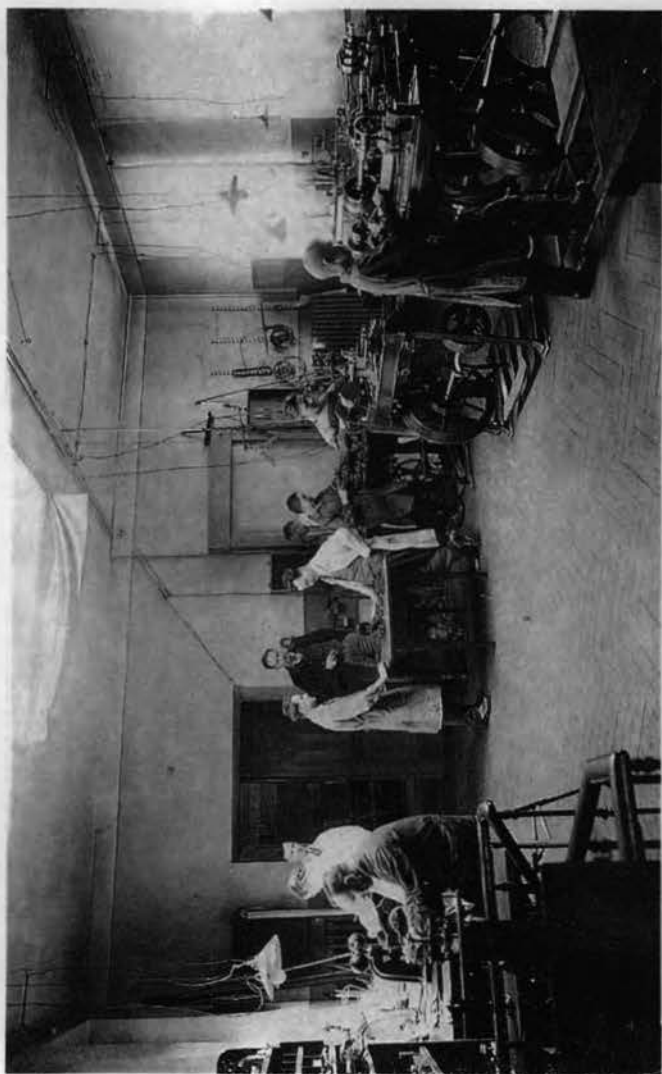
²⁶ Back fue un espectroscopista notable. Construyó, por ejemplo, un foco luminoso que podía ser situado en el pequeño espacio ocupado por un campo magnético muy intenso, y de tal manera, que la descarga se efectuara paralelamente al campo. Pudo obtener rayas de vapores metálicos y de gases, tan finas, que le permitieron poner de manifiesto descomposiciones hasta entonces ocultas. De hecho, según Zeeman (1929, p. 774), Landé «no hubiera podido encontrar su fórmula del factor g si no hubiera estado en contacto permanente con Back, cuyos excelentes trabajos han dado una admirable aceleración a nuestros conocimientos de la descomposición magnética». También es, por supuesto, el Back del efecto Paschen-Back.

²⁷ Catalán (70) también se ocupó de contribuciones de Paschen y Back: el mencionado efecto Paschen-Back.

²⁸ Citado en Forman (1970. p. 235).



W. Gerlach en su laboratorio



Taller del Instituto de Física de Tubinga (1927)

Hallándonos analizando con detalle la estructura del espectro del manganeso, tanto en su estado neutro como en el de primera ionización, ayudados muy especialmente por placas del efecto Zeeman, que Back ha puesto amablemente a nuestra disposición ...

En cuanto a Bonn, el lugar al que se disponía a visitar, era el centro en el que estaba, desde 1894, Heinrich Kayser, el autor del gran *Handbuch der Spektroskopie*, la "biblia" de los espectroscopistas, con la que Miguel se había familiarizado desde sus comienzos en el dominio de la espectroscopia²⁹. Aunque había pasado a emérito en 1920 (lo fue hasta 1940) es de suponer que la influencia de Kayser —y sobre todo las instalaciones espectroscópicas que habían crecido en torno a él— no desapareciera tan rápidamente, mas aún teniendo en cuenta que quien le sucedió fue Heinrich Konen, que se había doctorado con el propio Kayser en 1897, siendo después su ayudante (1899-1902) y ayudante y *privatdozent* (1902-1905) en Bonn, hasta que pasó a Munich, desde donde regresaría a su *alma mater*.

En su carta a Trowbridge, Catalán también se refería a que el año siguiente planeaba comenzar a investigar los espectros de las tierras raras. Como él mismo reconocía, aparte del hecho de que la espectroscopia de estos elementos se encontraba prácticamente inexplorada³⁰, su interés en el campo se basaba en que de esta manera podría colaborar, a su regreso a Madrid, con Blas Cabrera, el director del Laboratorio de Investigaciones Físicas, un especialista en magnetismo, entre cuyos intereses se encontraba el magnetismo de las tierras raras³¹.

²⁹ De hecho, Kayser había sido el fundador del Instituto Espectroscópico de Bonn.

³⁰ En su *Report* de 1922, Fowler (1922, p. 152) escribía a propósito de las tierras raras: «Todavía no han sido identificadas claramente series en los elementos de este subgrupo. Por analogía con los grupos anteriores, se esperaría que el espectro de arco fuera parecido al de los elementos del Grupo IIIB y diese series de dobletes. El espectro de *chispa*, por otra parte, podría mostrar tripletes».

³¹ La familia de las tierras raras está integrada por el lantano, cerio, praseodimio, neodimio, promecio, samario, europio, gadolinio, terbio, disprosio, holmio, erbio, tulio, yterbio y lutecio.

El interés de Cabrera por las tierras raras, que comenzaron a aparecer en sus escritos precisamente hacia 1924, estaba relacionado con su defensa del magnetón de Weiss, la unidad de momento magnético que pugnaba con el magnetón de Bohr ³². Según él, la totalidad o casi totalidad de los datos que se poseían sobre los momentos atómicos se referían a los elementos de la familia del hierro. Ahora bien, el magnetismo de estos elementos era muy sensible a las acciones químicas, lo que obligaba a analizar atentamente los resultados experimentales directos, antes de deducir consecuencia alguna. Pero si se prescindía de estos resultados, el resto del conocimiento experimental daba la impresión de una inexactitud en el valor de los momentos magnéticos.

En esta aparente inexactitud se encontraba —para Cabrera (1924, p. 289)— la razón de que «últimamente, varios físicos hayan pensado que no existe contradicción entre los resultados empíricos obtenidos en las medidas magnéticas y el llamado magnetón de Bohr, deducido teóricamente del primer postulado que éste ha formulado al construir la teoría del átomo. Los que hemos estudiado el problema experimentalmente no participamos de este juicio; pero no es posible desconocer la dificultad para comunicar nuestra convicción a quienes oponen a las consideraciones que nos mueven a estrechar los límites del error probable en los momentos magnéticos empíricos, la masa de pruebas que hoy puede aducir la teoría de Bohr».

Cabrera pensaba que la solución a este problema podría facilitarla el conocimiento de las propiedades magnéticas de los elementos de las tierras raras («escasas» las denominaba también), ya que según «las ideas sugeridas primeramente por Ladenburg y Bury, y desarrolladas por el propio Bohr, los electrones que se adicionan a estos átomos vienen a situarse en pisos relativamente profundos, donde las acciones químicas deben perturbar muy

³² «Desde el punto de vista de la teoría del magnetismo —escribía Cabrera (1924, p. 289) por entonces— el problema de mayor interés, actualmente planteado, es el de la realidad del magnetón de Weiss». Otro artículo de la época en el que el director del Laboratorio de Investigaciones Físicas abordaba el estudio del magnetismo de las tierras raras es Cabrera (1925, secciones 30 y 31). Sobre Cabrera y el magnetón de Weiss, ver Quédec (1988), Sánchez Ron (1991) y Sánchez Ron y Roca Rosell (1993).

poco a la estructura del piso, el cual se considera, además, como origen del momento magnético». En otras palabras, al ser estos elementos menos sensibles a las acciones químicas que los elementos de la familia del hierro ³³, sus propiedades magnéticas serían más sencillas y patentes, y por tanto sería más difícil para los defensores del magnetón de Bohr obviarlos (naturalmente, Cabrera pensaba que los resultados que obtendría favorecerían al magnetón de Weiss).

El magnetismo de las tierras raras, un tema que podía fácilmente incluir consideraciones espectroscópicas, era, por consiguiente, un tema de investigación familiar en el Laboratorio de Investigaciones Físicas *circa* 1925; no es extraño, por tanto, que Catalán deseara familiarizarse con él, con lo que, de paso, estrecharía relaciones con Cabrera, participando, además, de una cierta tradición de colaboraciones existente entre los científicos del laboratorio de la JAE (recordemos en este sentido, por ejemplo, que por entonces Cabrera había firmado artículos con Moles, J. Guzmán, M. Marquina, S. Piña de Rubiés, J. Torroja y A. Dupe-rier).

No obstante, y a pesar de sus deseos, por lo que sé, Catalán no entraría en el campo de la espectroscopia de las tierras raras. Tal vez el motivo se encontrase en la dificultad de conseguir muestras lo suficientemente puras para poder ser analizadas espectroscópicamente. En este sentido, unos años después de la época a que me estoy refiriendo en este momento, William Meggers (1937, p. 31) escribía: «Pequeñas diferencias en las propiedades físicas permiten separarlas entre sí parcialmente (mediante cristalización fraccional o mediante electrolisis), pero

³³ Las tierras raras son elementos químicos (entre el 57 y el 71 de la tabla periódica). El que sus propiedades químicas sean prácticamente iguales (lo que dificulta enormemente su separación o purificación por métodos químicos) se debe a lo siguiente: en el lantano, de número atómico 57, la estructura atómica es $1s^2, 2s^2 2p^6, 3s^2 3p^6 3d^{10}, 4s^2 4p^6 4d^{10}, 5s^2 5p^6 5d^1, 6s^2$, en la cual el electrón en exceso respecto al elemento anterior, el bario, ha empezado a formar el subnivel 5d. En los elementos de las tierras raras que siguen al lantano (de ahí su nombre genérico de *lantánidos*), no se continúa formando este subnivel sino que se inicia y se completa el subnivel 4f con 14 electrones y por ello, al tener todos los elementos de las tierras raras los dos últimos subniveles idénticos, sus propiedades físicas y químicas son extraordinariamente parecidas.

es dudoso que se haya dispuesto alguna vez de alguna tierra rara de *pureza espectroscópica* para su estudio. Tierras raras impuras, o una mala identificación de espectros, explican el descubrimiento equivocado de nuevos elementos, tales como el demonium, por Rowland; incognitium e ionium, por Crookes; celtium, por Urbain; denebium, dubhium, eurosamarium y welsium, por Eder».

4.3. LOS JUICIOS DE TROWBRIDGE SOBRE CATALÁN Y EL PROBLEMA DE LOS INSTRUMENTOS ESPECTROSCÓPICOS EN MADRID

Al final del capítulo anterior, vimos cómo Cabrera solicitaba a la JAE que proporcionara a Catalán los instrumentos adecuados para poder mantener el nivel de sus investigaciones espectroscópicas. Parece que satisfacer completamente tales necesidades estaba fuera del alcance de las posibilidades de la Junta. Al menos esto es lo que se deduce del hecho de que Cabrera —y también Catalán— se dirigieran a la IEB en busca de ayuda. Y aquí, de nuevo, Trowbridge era el personaje clave.

Augustus Trowbridge, bien entrado ya en los cincuenta, procedía de una bien establecida familia de comerciantes de Nueva Inglaterra. Muy joven había sido enviado a Italia, en donde recibió instrucción de un tutor, convirtiéndose en un gran amante de la cultura europea (hablaba francés, alemán e italiano)³⁴. Pertenecía, además, a una generación para la que la ciencia y la educación —dos aspectos de una misma realidad— eran más que una profesión, una misión y una llamada.

Como investigador, Trowbridge fue competente pero no brillante. Siempre fue un experimentalista; no demasiado preocupado por publicar, pero sí por diseñar nuevos instrumentos. Estudiante graduado en Berlín, se interesó allí en la óptica y la radiación, especializándose en infrarrojos, estando sus trabajos más conocidos relacionados con redes de difracción.

Después de servir a su país, Estados Unidos, en la Primera Guerra Mundial (en el campo de la detección acústica), Trow-

³⁴ Sobre Trowbridge y su papel en la IEB, ver Kohler (1991), especialmente pp. 145-147.

bridge —que regresó a Princeton en 1919— desarrolló un fuerte interés y habilidad por labores administrativas y, como denominaríamos hoy, de política científica. Ferviente internacionalista, buen conocedor de la física, pero no absorbido por la investigación, con una buena experiencia en el diseño y construcción de laboratorios, preocupado por la educación, Trowbridge era un candidato ideal para encargarse de los asuntos europeos de la International Educational Board. Y en sus manos puso Wickliffe Rose tales asuntos.

Como cabeza de la sección europea, Trowbridge no se limitó a decidir si apoyaba o no las propuestas que le llegaban, sino que quiso intervenir de manera activa; contribuir, en definitiva, a orientar el rumbo que tomaba la ciencia europea y, más concretamente, las investigaciones de algunos de sus científicos más destacados. Para ello, entrevistaba personalmente a todos los candidatos y visitaba las instituciones involucradas. Es desde esta perspectiva que debemos entender sus intervenciones con respecto a Catalán. Pasemos ya a ellas.

En los archivos de la IEB se encuentra un interesante memorandum —extraído del libro de notas de Trowbridge— de una conversación que éste mantuvo con Cabrera y Moles durante una visita que realizó el 25 de abril de 1925 al Laboratorio de Investigaciones Físicas. Se lee ahí:

La situación con respecto a Catalán, cuando regrese, es una cantidad desconocida. A. T. [Augustus Trowbridge] señaló que Catalán ha estado utilizando los resultados experimentales de otros durante años en sus propias investigaciones; que si Catalán deseara continuar en Madrid su trabajo experimental según las líneas en las que ha estado trabajando teóricamente durante los últimos años, el instituto de aquí [Madrid] simplemente no podría suministrar el equipo y que A. T. no creería justificado el proponer a la I.E.B. que concediese ayuda financiera para este propósito ya que, francamente, A. T. era escéptico acerca de la habilidad experimental de Catalán.

A.T. está dispuesto a considerar, para recomendar a la Board, una ayuda modesta para el equipo de los proyectos experimentales no antes de tres meses después del regreso de Catalán a Madrid. En opinión de A. T. sería mejor para la

física española actual si se urgiera a Catalán a dejar en manos de Bechert, si se le designase *fellow* de la Board, su campo de trabajo actual, supervisándolo él, por supuesto, y dedicándose a un campo de investigación en el que la espectroscopia requiera aparatos menos costosos de lo que sería necesario si continuara en la vertiente experimental de su campo actual. Cabrera está de acuerdo con esto y le urgirá en este sentido. Por consiguiente, el tema de la petición de equipamiento fue dejado de la siguiente manera:

A.T. apoyará como esencialmente razonable la petición ya hecha a la Board y que el asunto de una lista suplementaria de equipamiento para Catalán será presentada a A. T. en algún momento antes de las Navidades de 1925.

Al expresarse en estos términos, Trowbridge, no hacía sino reafirmarse en lo que había anotado el 24 de marzo en su diario: «aparentemente tiene poca o nula habilidad experimental». Ahora bien, hay que entender los puntos de vista del profesor estadounidense, ya que, como vimos, también manifestó que, Catalán «iba a ser el centro de una escuela de investigadores». El filo de la navaja en donde se movían los juicios del representante de la IEB se pone de manifiesto de manera espléndida en otra de sus frases ya citadas: «siempre será un hombre altamente especializado que, según el Prof. Sommerfeld, es seguro que realizará grandes descubrimientos».

En opinión de Trowbridge, Catalán carecía de una sólida formación como físico experimental, algo que, hay que reconocer, era cierto (de hecho, no era —recordemos— físico, sino químico y poco pudo aprender en la Facultad de Ciencias de Zaragoza o bajo la tutela del químico Ángel del Campo sobre técnicas físicas). Es natural, por consiguiente, que a mediados de la década de los años 20, todavía muy joven, predominara en él el especialista centrado en un campo muy particular. Más aún, ahí residía una de las razones del éxito científico que había obtenido. Trowbridge, el gran conocedor de laboratorios, el científico experimental a quien no le importaba mucho publicar, sino perfeccionar instrumentos, no podía entender muy bien la filosofía, surgida en buena medida de la necesidad, que animaba la carrera de Catalán.

De hecho, esta "limitación" de nuestro personaje no era sino



To Dr. M. Catalán, on the occasion
of his visit to my laboratory
May 23, 1925.

P. Zeeman

Hilke Zeeman

Fotografía dedicada de P. Zeeman a Catalán

una característica general de los físicos y químicos españoles, que pocas veces se alejaron de los temas y técnicas de investigación que aprendieron pensionados por la JAE en el extranjero; Cabrera fue un notable ejemplo en este sentido, con su dedicación al magnetismo y dentro de él en particular a los magnetones de Pierre Weiss, con el que, como vimos, trabajó en Zurich en 1912 ³⁵. Robert Kohler (1991, p. 193), uno de los historiadores que ha advertido este punto ³⁶, ha señalado, a propósito de Catalán, que éste no se inclinaba a arriesgarse, científicamente, más allá de lo que le era familiar. En marzo de 1926, Miguel dijo a Charles E. Mendenhall, otro representante de la IEB, profesor de física en Wisconsin, que le gustaría mucho tener un espectroscopio más grande, pero que no se atrevía a comenzar su construcción porque tardaría dos años en perfeccionarlo ³⁷.

Aunque signifique el traicionar por un momento la secuencia temporal que estoy siguiendo, es interesante detenerse con detalle en las apreciaciones de Mendenhall sobre Catalán, ya que no solo coinciden, en esencia, con las de Trowbridge sino que muestran también el "círculo de presiones" que la IEB trató durante bastante tiempo de imponerle para que se comportase como sus representantes opinaban. «Catalán —apuntaba Mendenhall— está interesado en puntos de vista más modernos y aunque es considerado por sus colegas como un experimentalista, ha tenido una formación muy estrecha y parece relucante a involucrarse en trabajo experimental que implique equipo con el que no está ya familiarizado. Hablé con él un buen rato acerca de sus planes

³⁵ Charles Mendenhall, con quien nos encontraremos inmediatamente, caracterizó a Cabrera de la siguiente manera: «ingenioso experimentalmente, pero acaso demasiado interesado en desarrollar bonitos dispositivos que pudiesen ser utilizados con el mayor aprovechamiento por el experimentador durante una larga serie de observaciones. Me mostró un número de instrumentos muy bellamente contruidos que habían sido realizados en el taller del laboratorio, pero ví poco a nada que indicase mucho interés en mejorar aparatos o en intentar nuevas ideas». Glick (1988, pp. 291-292), Kohler (1991, p. 192).

³⁶ Ver también Glick (1988) y Sánchez Ron y Roca Rosell (1993).

³⁷ Charles E. Mendenhall, «Report of visit ... in Madrid», 24 de marzo de 1926; Archivos Rockefeller. En el capítulo siguiente me ocuparé con mayor detenimiento de esta visita de Mendenhall.

para investigaciones futuras, con referencia especial a su utilización de la beca que le concedió la I.E.B. A pesar de los buenos técnicos que evidentemente tiene, parece poseer una idea exagerada del tiempo que se necesita para reunir y montar cualquier nuevo aparato que pueda obtener ... Lo que necesita ahora es una red [de difracción] y le urgí a que obtuviese de Woods una red cóncava de 10 pies y que improvisase un montaje hasta que hubiese ganado alguna experiencia en su utilización. Su plan era conseguir una red de 21 pies y entonces emplear dos años en montarla antes de realizar ninguna investigación con ella. Entre tanto, mientras se ocupaba del montaje del nuevo aparato, no sería capaz de escribir ningún artículo y piensa que su posición en el laboratorio peligraría si dejase de escribir artículos y algún otro investigador le tomase la delantera. Creo que esta situación explica el que no haya hecho uso todavía de la ayuda de la I.E.B.³⁸ Le di algunas sugerencias muy obvias acerca de la posibilidad de cómo situar los nuevos aparatos y al mismo tiempo continuar investigando con su actual e inadecuado equipo de cuarzo, y en particular le urgí a que comenzase con una red de tamaño pequeño (10 pies) y que no intentase instalar una red de 21 pies hasta que no se hubiese ido al nuevo laboratorio. Él y el Dr. Bechert han diseñado un programa de investigación bastante interesante, gran parte del cual puede ser realizado con el equipo actual, que ellos utilizan simplemente de una forma cuantitativa para identificar líneas, cuyas longitudes de onda han sido determinadas por otros observadores. Su equipo actual es sin duda demasiado pequeño para permitirles realizar medidas comparativas de longitudes de onda con suficiente precisión como para que sean útiles. Catalán y Bechert parecen estar colaborando muy bien juntos y han planeado más trabajo del que puede ser completado durante el período de la beca de Bechert. Ambos se manifiestan muy interesados en que se pueda ampliar la beca de

³⁸ En otro lugar de su informe, Mendenhall escribía: «creo que Catalán puede necesitar algún empujón antes de que haga uso de la ayuda que la Board le ha concedido. Es muy vivo y está muy bien informado de los últimos avances y es en gran medida su inexperiencia lo que le impide el desempeñar en el laboratorio el papel que he mencionado. Sería bueno que Catalán pudiese ser enviado un año o seis meses con Wood».

Bechert. Dada la diferente formación y puntos de vista de Bechert, me parece que es un hombre muy estimulante para tener en el laboratorio. Sin duda que hace mucho bien al laboratorio y parece satisfecho en lo que se refiere a lo que él está obteniendo del mismo».

Como veremos en el capítulo próximo, al tratar con más detalle su visita a Madrid, para Mendenhall el problema no estaba solamente en Catalán, sino en todos los físicos y químicos del Laboratorio de Investigaciones Físicas, que carecían de la ambición, iniciativas e ideas necesarias para avanzar debidamente en sus investigaciones.

Los documentos que se han conservado indican que las recomendaciones de Trowbridge no cayeron en saco roto (ya hemos visto que Cabrera parecía estar de acuerdo). En realidad, era difícil que fuese de otra manera, ya que él era la llave para el dinero de la IEB; de hecho, por entonces comenzaba a germinar la idea de solicitar su apoyo para un nuevo laboratorio de investigación en física y química en Madrid. Catalán, en concreto, dio pasos que revelan que se tomaba muy en serio las consideraciones de Trowbridge, especialmente en el terreno de mejorar la óptica de sus instrumentos (el campo en el que el oficial de la IEB era un auténtico especialista), al igual que sus conocimientos ópticos. Así, se puso en contacto con dos especialistas de talla mundial: Robert Wood (mencionado por Mendenhall) y Theodore Lyman³⁹. Pero antes de entrar en este punto, es conveniente realizar algún comentario sobre la importancia de las redes de difracción en la espectroscopia, con lo que, de paso, completamos indicaciones realizadas en el capítulo 2.

«En 1882 —escribía Kayser (1900, pp. 121-123) en su célebre *Handbuch der Spektroskopie*—, gracias a la aparición de Henry A. Rowland, se abrió una etapa completamente nueva del análisis espectral. Utilizando un principio nuevo, Rowland logró producir un tornillo prácticamente libre de error. Con este tornillo, cons-

³⁹ Como veremos enseguida, Catalán escribió a Woods unos meses antes de la visita de Mendenhall a Madrid, así que cabe deducir que en su recomendación éste estaba siguiendo una dirección ya en marcha.

truyó una máquina para rayar redes ópticas que hacía palidecer todo lo que se había conseguido hasta entonces».

De hecho, podemos utilizar también citas parecidas del propio Catalán. En un curso de doctorado de espectrografía que dictó en la Facultad de Ciencias Químicas de Madrid en 1946-47 ⁴⁰, hacía notar que

A Rowland se debe sin embargo la iniciación de la espectroscopia moderna al introducir el empleo de potentes redes de difracción. El lograr rayar 10.000 líneas cm. con regularidad es muy difícil por el desgaste del diamante y la regularidad en el paso del tornillo; no obstante, su genio mecánico consiguió en 1882 una máquina de dividir tan perfecta que ha llegado hasta nuestros días sin modificaciones esenciales. De esta manera consiguió un espectro de 17 m. de anchura en el que midió con gran precisión las longitudes de onda.

Pero Rowland no se limitó a perfeccionar una técnica ya conocida, sino que introdujo nuevos elementos; el principal, construir redes con superficies cóncavas y no planas como se había hecho hasta entonces ⁴¹. Tales redes, algunas con más de cien mil líneas, proporcionaron a los espectroscopistas medios para producir espectros de dispersión, con una precisión y nitidez no soñadas hasta entonces (hay que señalar, no obstante, que Thomas Young había observado que la calidad de la imagen de una red se podía mejorar considerablemente doblando ligeramente su superficie).

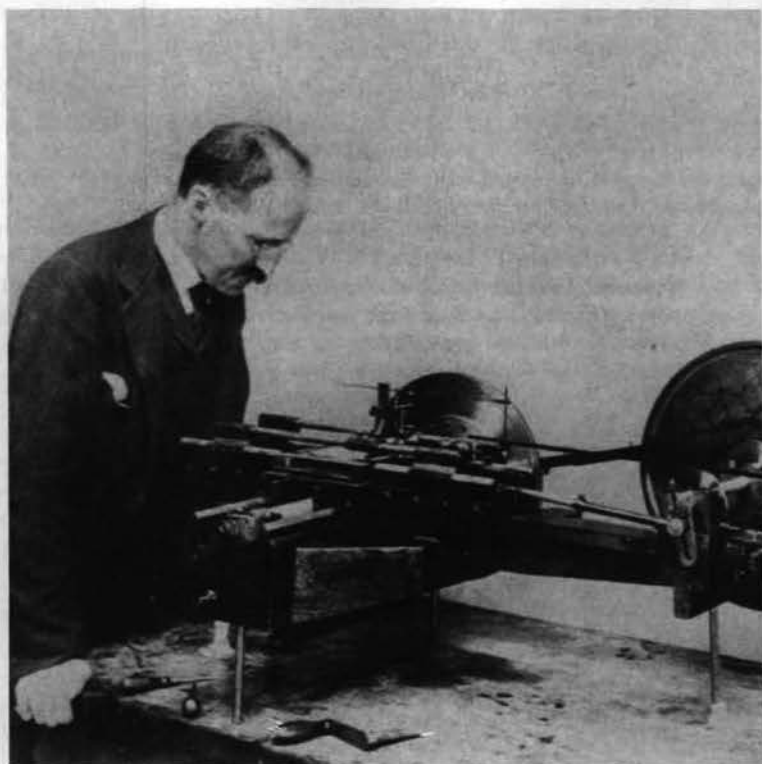
Con Rowland quedó definitivamente establecida la superioridad de las redes sobre los prismas (el elemento básico, recordemos, de la espectroscopia tradicional), o al menos su superioridad *potencial* ⁴². Los prismas producen pérdidas debido a reflexiones en su superficie, así como a la absorción, especialmente en el violeta y

⁴⁰ *Apuntes de Espectrografía*, explicados por el profesor Dr. Catalán, Catedrático de la asignatura y redactados por los alumnos José Valderrama Elices y Jaime Castejón Chacón» (Curso 1946-47) (multicopiados), p. 2.

⁴¹ Ver Hentschel (1993).

⁴² Para estos puntos, consultar Babcock (1986 a y b) y Tousey (1986), además del ya citado Hentschel (1993).

José Manuel Sánchez Ron



Henry Rowland con una de las máquinas con las
que fabricaba redes de difracción

ultravioleta; pueden tener inhomogeneidades en el índice de refracción y de dispersión; son sensibles a la temperatura y, finalmente, la variación de la dispersión con la longitud de onda en el cristal produce serios inconvenientes. Las redes *planas* de difracción ofrecían grandes posibilidades para remediar algunos de estos problemas. Se trataba, sin embargo, de instrumentos delicados, con sus propias dificultades: tenían un poder de resolución limitado, a menudo difundían entre el 10 y el 20 por ciento de la luz incidente; sufrían de lo que se denominaba "fantasmas", apariciones, por ejemplo, de líneas falsas (especialmente en las líneas de emisión de los espectros), producidas por errores periódicos en el espaciado de las rayas de las redes. Con las rejillas *cóncavas* desaparecían bastantes de estos problemas: el espectro estaba bien definido en todo el rango de longitudes de onda; la dispersión podía ser determinada con precisión y facilidad mediante la curvatura y espaciado de la rejilla, e incluso era posible determinar longitudes de onda en órdenes superiores más allá del ultravioleta, mediante el método de coincidencias. En cualquier caso, no hay duda de que la calidad y precisión de la red constituían un punto esencial para la fiabilidad de la investigación.

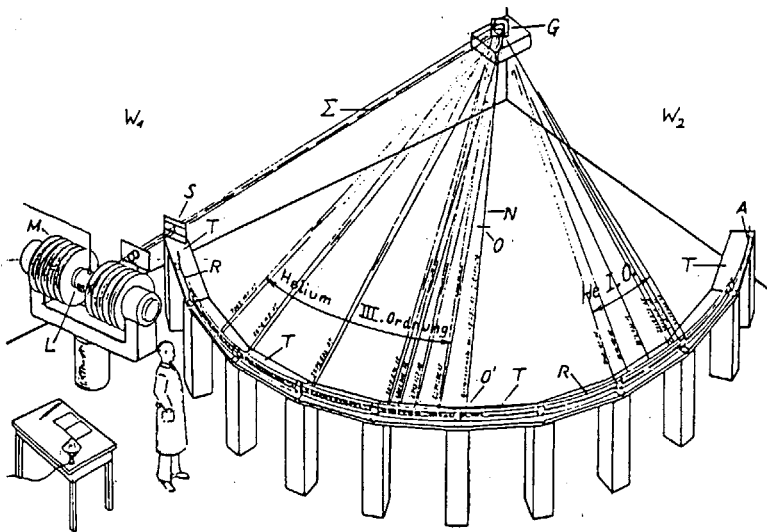
Explorar las posibilidades de las redes de difracción constituía, por consiguiente, un apartado dentro del campo de la espectroscopía, aunque es obvio que requería de conocimientos especiales de óptica. Y lo que es más importante: exigía disponer de redes adecuadas. Sometido a la presión, directa e indirecta, de Trowbridge, en el sentido de que mejorase sus intereses, habilidades e instrumentos en el dominio de la óptica y, presumiblemente, en las redes de difracción, una de las especialidades del profesor norteamericano, Miguel se movió en la dirección que se le indicaba. Así, el 11 de septiembre (todavía de 1925) escribió a Robert W. Wood, que había sucedido, en 1901, a Rowland en su cátedra de Johns Hopkins. Una de las especialidades de Wood era, precisamente, las redes de difracción y aunque no dispongo del texto de la carta de Catalán, de la respuesta del estadounidense (entonces en Londres) se deduce que le preguntaba sobre este tema ⁴³:

⁴³ Archivos Rockefeller. Los siguientes documentos también proceden de esta fuente.

Me ocuparé del asunto de su red tan pronto como esté de vuelta a Baltimore [esperaba estar de regreso el 1 de octubre]. Me parece que lo mejor para su trabajo sería una cóncava de seis pulgadas y 10 metros de radio con 30.000 líneas por pulgada. Este es un radio más grande de lo que nosotros hayamos utilizado jamás, pero es necesario para asegurarse el poder de resolución completo de la placa fotográfica. En el espectro visible, todo lo que se puede obtener con el montaje de Rowland es el primer orden. Esto corresponde al segundo orden de una red de 15.000 líneas. El poder de resolución más grande se obtiene con una red plana ...

Y en este punto Wood daba datos a Catalán basados en su experiencia: que él había utilizado lentes de 40 pies de foco y 6 pulgadas de apertura; que podría hacerse una idea sobre la resolución a través de las fotografías del espectro de resonancia del yodo que había publicado en el *Philosophical Magazine* en 1909 o 1910, aunque no podría emplear este método por debajo de $\lambda=3200$. No obstante, podría utilizar una red plana para el orden 5º en conjunción con espejos cóncavos. El problema experimental era complejo y Wood finalizaba su carta preguntando a su colega español: «¿Tiene Vd. una habitación lo suficientemente grande para una cóncava de 10 metros de radio?». Una pregunta que refleja claramente las exigencias que entrañaba el moverse en la dirección sugerida por Trowbridge, exigencia que, de todas maneras, debía ser conocida por Catalán, puesto que es razonable pensar que, por ejemplo, habría visto, durante la visita de mayo mencionada con anterioridad, la «Habitación Rowland» del Instituto de Física de Tubinga, en donde estaba instalada una gran red cóncava.

También por entonces, el 15 de septiembre, Catalán se dirigió a otra de las grandes figuras de la especialidad: Theodore Lyman, del Jefferson Physical Laboratory de la Universidad de Harvard, con quien, recordemos, había pensado ampliar estudios en 1917. En su contestación, Lyman manifestaba: «Con respecto al asunto del espectroscopio de vacío no creo que pueda hacer Vd. nada mejor que consultar a Adam Hilger ..., Londres ... Aunque no tengo experiencia de primera mano con el espectroscopio de vacío que ponen en el mercado, creo que es un instrumento satisfactorio».



Red cóncava de difracción en el Instituto de Física de Tubinga.

En este dibujo de la época se está midiendo el espectro
del helio bajo la influencia de un gran imán

José Manuel Sánchez Ron

Con las respuestas de Wood y Lyman, Miguel se puso en contacto de nuevo con Trowbridge el 22 de noviembre:

Incluyo en esta carta las contestaciones de los profesores Wood y Lyman acerca del asunto de *red y espectroscopio de vacío*. ¿Me dirá su opinión sobre este tema? su experiencia con redes es muy grande.

El Dr. Bechert ... está trabajando muy duramente en el Laboratorio. Tenemos preparado un artículo «Sobre la estructura del espectro del Pd» y lo hemos enviado para publicar al «Zeit. für Physik» y a los «Anales de la Sociedad Española». Ahora estamos trabajando con el Pt e Ir y esperamos tener pronto buenos resultados.

Por lo que sabemos, el asunto no prosperó; no se produjo ninguna modificación esencial en la dirección de los trabajos de Catalán o en las facilidades experimentales de que éste disponía en Madrid, algo que, de hecho, no es sorprendente ya que tales cambios exigían mucho tiempo y dinero, por no hablar de conocimientos. Se necesitaba mucho más de lo que se disponía en la capital de España. No obstante, como veremos enseguida, Miguel no abandonó completamente estas preocupaciones: ampliar sus conocimientos experimentales en óptica, acaso con alguno de sus correspondientes de 1925, era una posibilidad a considerar; probablemente incluso deseada. Cabe pensar que si no siguió esa ruta en aquel momento es, simplemente, porque no pudo.

4.4. OTRAS VISITAS A MUNICH

La estancia de Catalán en Munich durante el curso 1924-25 y la subsiguiente de Bechert en Madrid sirvieron para estrechar los lazos científicos entre ambos centros. Durante un tiempo, el Instituto de Sommerfeld constituyó para Miguel un lugar al que podía recurrir en caso de dificultades científicas (esencialmente teóricas) o, incluso, de otra naturaleza (como cuando se planteó escribir un tratado sobre multipletes y buscaba ayuda para publicarlo). En la primavera de 1928, por ejemplo, el científico aragonés

se encontró con problemas de índole teórica en su trabajo e intentó conseguir una nueva beca de la International Educational Board para pasar algún tiempo con Sommerfeld en Munich (ya había vuelto el año anterior). En este sentido, el día 21 de abril escribía a Trowbridge en los términos siguientes:

El pasado noviembre, cuando estuve en Munich, hablé con el prof. Sommerfeld acerca de algunas dificultades que tengo para resolver la compleja estructura de los espectros del hierro y del cobalto. La mayoría de estas dificultades surgen del hecho de que poseo un conocimiento incompleto de algunos puntos de la teoría de las series espectrales. Él me sugirió entonces que le preguntase si sería posible continuar la beca (que no pude completar en 1925) en Munich en el segundo semestre de este curso y discutir con él los resultados a los que he llegado.

Desde entonces mi trabajo con el espectro del hierro ha progresado mucho, especialmente con la ayuda de algunas placas muy buenas que hice el pasado diciembre en el laboratorio de Fowler, pero pienso que un trabajo sobre espectros tan importantes como el hierro y el cobalto no deberían publicarse sin una discusión teórica de todos los resultados. Es para tal discusión que el consejo del profesor Sommerfeld sería una ayuda inestimable.

Torroja (personaje que nos aparecerá en el próximo capítulo) ya había hablado con Trowbridge en este sentido, pero el oficial de la IEB le había comentado que no era posible retomar la vieja beca, aunque tal vez sí conseguir una nueva. Conocedor de todo esto, en su carta Catalán se ofrecía a solicitarla.

Dos días después Trowbridge respondía desde París confirmando lo dicho por Torroja. Se ofrecía a averiguar si era posible, pero para ello solicitaba a Catalán «más detalles sobre cuando y para cuanto tiempo». Y en una posdata añadía: «Creía que cuando hablé por última vez con Vd. su inclinación era solicitar en alguna fecha futura una beca para ir con R. W. Wood». ¿Era esta una forma sutil de influir en el español?

El 30 Miguel respondía señalando que todavía tenía intención de ir con Wood, y como se daba cuenta de que solicitar ahora una ayuda para ir a Munich significaría, de hecho, el tener que renunciar

en el futuro a una nueva ayuda de la IEB, abandonaba la idea de pedir ahora una beca. Iría a Munich con sus propios medios. Parece, por consiguiente, que percibió con claridad el punto de vista de Trowbridge y no quiso arriesgar futuras ayudas de la IEB.

Disponemos de otro "ángulo" desde el que apreciar cómo se encontraba la situación en aquel momento: una carta que Trowbridge dirigió a Sommerfeld el 11 de mayo. En ella, el físico estadounidense informaba a su colega germano que Catalán había decidido finalmente ir a Munich aun sin ayuda de la IEB, y que creía que más adelante solicitaría un nombramiento de *fellow* para un segundo año, esta vez para ir a Estados Unidos, «para obtener técnica óptica con R. W. Wood en Baltimore». Esta posibilidad era, al fin y al cabo, la que él postulaba, así que no es extraño que el proyecto le pareciese «tener varios aspectos favorables, ya que me parece que Catalán está fuerte en el lado de la teoría cuántica, estando acaso algo débil en el lado experimental de la óptica, en donde, cuanto más complicados son los espectros, se necesita un poder de resolución excepcional». Tal vez dándose cuenta de que estaba interviniendo demasiado —mediante las posibilidades que abría o cerraba, a través de la IEB, a Catalán— en la carrera del científico español, Trowbridge pedía a Sommerfeld su opinión acerca de si mejorar sus conocimientos en semejantes técnicas ópticas sería «una ventaja o iría en detrimento del trabajo en el campo que parece Catalán ha hecho suyo». El asunto, sin embargo, quedó aquí. Probablemente el inicio de las negociaciones con las autoridades de la IEB para la financiación de un nuevo laboratorio en Madrid apagaron otros intereses y preocupaciones.

CAPÍTULO 5

DEL LABORATORIO DE INVESTIGACIONES FÍSICAS
AL INSTITUTO NACIONAL DE FÍSICA Y QUÍMICA

5.1. RELACIONES DE LA JAE CON LA INTERNATIONAL EDUCATIONAL BOARD

Aunque las partidas que la JAE dedicaba a las investigaciones físico-químicas fueron creciendo (en 1914, por ejemplo, su presupuesto fue, omitiendo pagos a personal, de 5.118 pesetas, mientras que en 1923 ya era de 23.070 pesetas), el propio desarrollo del laboratorio exigía cada vez más recursos. En el Archivo de la JAE existe un documento de tres páginas escrito por Cabrera, sin fecha pero preparado sin duda (lo argumentaré más adelante) hacia 1924, mediante el cual se pueden percibir las necesidades (y temas de trabajo también) de los distintos grupos de investigación del Laboratorio de Investigaciones Físicas:

El Laboratorio de Investigaciones Físicas viene dedicado en estos últimos años a tres órdenes principales de trabajos.

1^a *Magnetoquímica*. Estrictamente para las medidas de las constantes magnéticas de los cuerpos el Laboratorio posee cuanto le es indispensable, pero los resultados obtenidos hasta hoy, algunos (los más importantes pendientes aún de publicación) indican la conveniencia de realizar paralelamente el estudio magnético de los complejos del grupo del hierro y su análisis estructural con ayuda de los rayos X. El laboratorio no cuenta con una instalación adecuada ni su adquisición cabe dentro del exiguo presupuesto de que dispone, pues se calcula que no bajaría de 20.000 a 25.000 pesetas.

Además, para seguir el estudio de la variación de la constante magnética de las tierras raras, actualmente en curso, se requeriría disponer de una instalación para licuar gases y obtener, al menos, hasta la temperatura del aire líquido. Esta

instalación es aún más indispensable para el siguiente grupo de trabajos.

2ª *Pesos atómicos por métodos físico-químicos*. En este grupo de trabajos las bajas temperaturas son absolutamente necesarias, y como en Madrid no existe facilidad para obtener en el comercio en todo momento ni siquiera el aire líquido, la continuidad indispensable en toda labor de investigación no se puede obtener. No existe otro medio para este estado de cosas que la adquisición de una máquina, cuyo coste, comparable a la cantidad anterior, está fuera de nuestro alcance.

3.ª *Espectroscopia*. Los estudios realizados por Catalán han agotado ya la capacidad de nuestro exiguo material espectrográfico. Para que él y sus colaboradores puedan continuar la obra bien conocida en el mundo científico sería necesaria la adquisición de dos o tres espectrógrafos de gran poder de resolución y capaces de cubrir la mayor región posible del espectro. A este fin, serviría también la instalación de rayos X señalada más arriba. Naturalmente, la amplitud que pueda darse a este proyecto depende de la cantidad que se obtenga. El iniciar su realización con sólida base suponemos que exigiría unas 50.000 pesetas.

La solución a las carencias del Laboratorio de Investigaciones Físicas vendría de la mano de la Fundación Rockefeller, quien, tras unas largas negociaciones con el Gobierno español, terminaría por dotar a los físicos y químico-físicos del laboratorio con un nuevo, espléndidamente dotado, Instituto Nacional de Física y Química, que abrió sus puertas oficialmente el 6 de febrero de 1932.

La historia de la creación del nuevo Instituto está todavía por escribir de manera completa, aunque algunos aspectos han sido tratados por Glick (1988) y Sánchez Ron y Roca Rosell (1993). En la discusión que sigue —bastante más completa que las anteriores— me basaré directamente en, fundamentalmente, los documentos depositados en los archivos de la Fundación Rockefeller.

En el verano de 1919, Castillejo visitó la sede central de la Fundación Rockefeller en Nueva York. Esta Fundación, que había sido creada en 1913, por entonces prácticamente solo se ocupaba de temas biomédicos, a través de su International Health Board

(IHB) ¹. En agosto, el secretario de la JAE resumió sus conversaciones con algunas de las autoridades de la IHB en un documento sobre la situación sanitaria en España ². La opinión de Castillejo era bastante negativa: «Las condiciones de la salud pública en España —escribía— son, en general, muy malas. A pesar del clima saludable, la escasez de población y la ausencia de grandes centros industriales, el sistema sanitario y la inspección están tan descuidados que las cifras de mortalidad son muy elevadas: las estadísticas oficiales arrojan 650.000 muertes anuales, para una población de unos 19 millones». A continuación pasaba a explicar algunas de las razones de tal situación (ignorancia de la gran masa de la población, falta de un número suficiente de hombres de ciencia y deficiente organización y carencia de disciplina social). En su opinión la mejor manera de intentar una reforma sería «establecer en Madrid un centro científico de laboratorios, compuesto de un cierto número de médicos americanos y de médicos españoles educados en Universidades extranjeras». Y concluía:

Si la Fundación Rockefeller desea extender a España su generosa acción, podría emprenderse un ensayo en pequeña escala en colaboración con la Junta para Ampliación de Estudios ... Ambas instituciones ... podrían elaborar un plan que sería sometido al Gobierno español, al que se pediría aprobación y concurso.

En diciembre de 1921, el director general de la IHB, Wickliffe Rose, comunicó el interés con que había recibido la nota de Castillejo y su intención de visitar España, lo que hizo a finales de febrero de 1922. Como resultado de su visita, la IHB acordó, en mayo de 1922, enviar un médico especialista para estudiar, y

¹ Antes de la creación del IHB, las preocupaciones de John D. Rockefeller en el ámbito de la salud pública se habían plasmado en la Rockefeller Sanitary Commission, que había organizado la campaña contra el anquilostoma en el sur de Estados Unidos, la China Medical Board, que controlaba el Union Medical College de Peking, y la Division of Medical Education, dedicada a la educación en medicina, enfermería y salud pública. Sobre la Fundación Rockefeller, consultar, por ejemplo, Fosdick (1957) y Kohler (1978, 1991).

² Reproducido en Memoria (1925, pp. 129-131).

si parecía oportuno, realizar demostraciones de métodos de tratamiento y prevención de la anquilostomiasis, enfermedad que la IHB combatía con gran eficacia en algunos países. Asimismo, la Fundación concedió ayudas para que médicos y personal sanitario españoles pudieran ampliar estudios en el extranjero (por ejemplo, en la prestigiosa Escuela de Higiene de la Universidad Johns Hopkins).

5.2. SOLICITANDO LA AYUDA DE LA IEB PARA EL DESARROLLO DE LAS CIENCIAS FÍSICO-QUÍMICAS

Al crearse en 1923 la International Educational Board (IEB) se nombró, como ya vimos, presidente de la misma a Rose, quien desde su nuevo cargo pronto —en enero de 1924— realizó otra visita a España, recorriendo los principales laboratorios de física, química y ciencias naturales y agricultura de Madrid. Acompañado por Castillejo, Rose también se entrevistó con el Jefe del Gobierno, general Primo de Rivera, informándole que la IEB estaba dispuesta a estudiar la concesión de ayudas a España para su desarrollo científico.

En vista de la buena disposición de la organización norteamericana, la JAE, a través de una carta enviada por Castillejo y firmada por Ramón Menéndez Pidal (en ausencia de Cajal) el 21 de julio de 1924, decidió solicitar su ayuda para avanzar en el desarrollo de los estudios físicos y químicos en España³. Tras mencionar que «la física y la química han sido considerados por la Junta estudios fundamentales para el progreso científico», que entre 1907 y 1924 la JAE había concedido pensiones para investigación «en laboratorios» a 66 profesores y graduados de física y química⁴, y enumerar los laboratorios y grupos que apoyaba, Castillejo señalaba:

³ Ya antes, el 23 de febrero, Castillejo había escrito a Rose apuntando por primera vez lo deseable que sería construir un instituto de investigación para física y química.

⁴ Castillejo también señalaba los destinos de estos pensionados: 25 a Alemania, 17 a Suiza, 15 a Francia, 10 a Estados Unidos, 5 a Inglaterra, 2 a Holanda y 1 a, respectivamente, Bélgica, Rusia y Mónaco.

Pero todo este esfuerzo, aunque bien dirigido y provechoso, carece de medios en proporción a las necesidades ya que la Junta debe prestar atención y dinero a muchas otras ramas de la ciencia y la educación ... La cantidad total que otorgó la Junta el último año a los laboratorios [de física y química] mencionados fue de 91.000 pesetas para equipos, material y salarios ... Esta suma es tan pequeña que los laboratorios carecen de material adecuado y los salarios, que oscilan entre 150 y 500 pesetas mensuales, no permiten dedicación exclusiva.

A pesar de tal situación, existían ya —proseguía Castillejo— «bastantes científicos con experiencia para abrir un Instituto de Física y Química para la investigación ... destinada a promover futuros avances en medicina, ciencias naturales, ingeniería y agricultura». Para el establecimiento de semejante Instituto, la Junta solicitaba la ayuda de la IEB, esperando que el Gobierno español se comprometiera a proporcionar: «a) fondos para asegurar la dedicación completa de los miembros más importantes del Instituto y becas para cubrir los gastos de vida de otros; b) dinero suficiente para material acorde con las exigencias de los trabajos; c) oportunidades para que los profesores y graduados de las universidades y escuelas de ingeniería asistan al Instituto para hacer de él un seminario para la preparación de profesores en los grados superiores de física y química; d) medios y ayudas para invitar a profesores extranjeros, que dirijan investigaciones especiales o para que enseñen nuevos métodos».

Estos proyectos podían, en principio, ser compatibles con la permanencia en el viejo Palacio de la Industria, pero Castillejo señalaba que el Gobierno no podía echar a la policía, que ocupaba espacio, y que aunque ello fuese posible se necesitaría una gran cantidad de dinero para remodelar el edificio y adaptarlo a las necesidades del Instituto. «Por estas razones —concluía— sería mejor utilizar el dinero para construir un edificio, aunque fuese pequeño, especialmente diseñado para satisfacer los requisitos»; postura defendida especialmente por los químicos del Laboratorio. La ayuda que se solicitaba a la IEB era bien el proporcionar edificio y equipo, que España debería mantener, o «comenzar con una contribución para equipos que se pondría inmediatamente a

disposición de los actuales laboratorios en sus locales temporales, posponiendo al futuro el proyecto de un nuevo Instituto».

Parece que las propuestas se habían meditado, ya que en la carta se indicaba que la Junta había realizado estudios que permitían especificar terrenos y condiciones del nuevo Instituto, pero no es seguro que se hubiesen llevado a cabo tales estudios, al menos no de una manera mínimamente seria. En previsión de que la IEB no quisiera involucrarse en este proyecto, pero sí ayudar en mejorar el equipamiento del Laboratorio, se adjuntaba en la carta una lista, preparada por los directores de las distintas secciones, del material que se necesitaba más urgentemente ⁵.

En la carta de la JAE ya se indicaba que el Gobierno español debería involucrarse en el asunto, cuya dimensión económica, incluso con la ayuda de la IEB, superaba las posibilidades de la Junta. En consecuencia, se iniciaron contactos con el gobierno de Primo de Rivera. En los archivos de la Fundación Rockefeller se encuentra una traducción al inglés de una carta que Cajal envió al Gobierno el 27 de diciembre (todavía de 1924), en contestación a una solicitud de éste (fecha el 16 de octubre) de más información sobre «la creación de un Instituto de Física y Química *solicitada* por la International Educational Board» ⁶.

El Gobierno estaba preocupado por la magnitud económica del proyecto y quería saber cuál sería la contribución de la IEB. Cajal, sin embargo, no podía concretar mucho, especialmente habida cuenta de que la IEB había sido establecida en 1923; simplemente podía ofrecer algunos ejemplos —extraídos de las memorias de la Fundación Rockefeller— relativas a las ayudas que ésta había concedido en otros casos: 25 millones de dólares para la creación de la Universidad de Chicago; 5 millones al University College de Londres; 3,5 a la Escuela Médica de Bruselas; libros y revistas a 271 bibliotecas de 15 naciones europeas; una campaña mundial para combatir la fiebre amarilla y la anquilostomiasis.

En cuanto a las dimensiones del proyectado Instituto, se

⁵ Esta lista no es sino un resumen del escrito de Cabrera con el que abrí este capítulo.

⁶ Énfasis añadido.

esperaba que las secciones de física emplearan a 25 investigadores (de los cuales 3 serían profesores) y 25 ayudantes, mientras que en la sección de química trabajarían 100 entre todas las categorías (4 serían profesores). Los profesores que se dedicasen de manera exclusiva al trabajo en el laboratorio, recibirían una retribución de 20.000 pesetas anuales; los que tuviesen otro cargo (catedráticos de Universidad, por ejemplo) tendrían como salario 10.000 pesetas. El presupuesto total para personal se calculaba entre 105.000 y 150.000 pesetas anuales para física y entre 137.000 y 177.000 para química; en cuanto a gastos de material, serían 60.000 (física) y 80.000 (química).

Por lo que sabemos, el siguiente paso en el proceso que conduciría a la creación del Instituto, fue la visita de una semana que efectuó Trowbridge a Madrid a finales de abril de 1925. Según señaló éste a Rose en un informe que le envió el 4 de mayo ⁷, su propósito era «ver, tanto a todas las personas interesadas en los planes de la Junta, como algunas que por su relación con laboratorios regulares de la Universidad podrían ser críticos hostiles de la Junta». También pretendía visitar personalmente todos los laboratorios de Madrid relacionados con la física y la química, así como hablar con tantos oficiales gubernamentales como sea posible, «para juzgar el grado de apoyo que puede esperarse del Gobierno, en caso de que la I.E.B. considerase favorablemente la petición de la Junta».

Comenzaba Trowbridge el informe con su percepción de la JAE. Y su visión es ciertamente interesante y atinada:

El Presidente de la Junta, Ramón y Cajal, es un hombre mayor, que está muy interesado, sin intervenir demasiado en ellos, en los planes de la Junta: mantiene su trabajo científico y es consultado por el Secretario de la Junta, Doctor Castillejo, en todos los asuntos de política. El Doctor Castillejo es el espíritu que mueve [a la Junta] y es reconocido como tal por todos los miembros de la Junta con los que me entrevisté. Recibe ayuda de administrativos en su trabajo, pero por lo que pude comprobar, no tiene a nadie que esté aprendiendo para

⁷ Archivos Rockefeller.

sustituírle, en caso de que se viera incapacitado repentinamente ... sería muy difícil reemplazarle y no estoy seguro del futuro de la Junta si desapareciera el impulso que continuamente da a la Junta con personas de influencia en España.

De todas maneras, Trowbridge pensaba que la JAE tenía suficiente impulso como para durar, aunque indicaba que si la IEB decidiese invertir una cantidad importante de dinero en el «éxito de los admirables planes de la Junta», se debería urgir a Castillejo a que se asociase con alguien a quien pudiese considerar como un posible sucesor.

En cuanto a la opinión de profesores universitarios no asociados con la JAE, Trowbridge no se encontró con críticas negativas a su «organización o métodos», salvo en lo que se refería a que «las reformas que innegablemente se necesitaban deberían haber surgido de dentro de la Universidad», un punto éste con el que ya nos encontramos en el capítulo 1. El delegado norteamericano se apresuraba a señalar, no obstante, que Castillejo opinaba que esto habría sido imposible y que él creía que tenía razón.

Muy interesante para nuestro tema es la visión que Trowbridge presentaba de los laboratorios relacionados con la física y la química existentes en Madrid:

Los laboratorios madrileños en los que se lleva a cabo enseñanza o investigación en Física o Química caen en los siguientes grupos:

a) Los laboratorios regulares de la Universidad —que en mi opinión no son dignos de ser tomados en consideración— la física está un poco mejor que la química en lo que a equipos se refiere (la química no dispone de ninguno) y posiblemente los cursos de ciencia elemental tienen algún valor, pero tomado en conjunto, no he visto peores condiciones en laboratorios universitarios en ninguna otra parte.

b) Los laboratorios de química de la Facultad de Farmacia son en conjunto buenos, y la Junta carga con una parte de los gastos de mantenimiento e instrucción a cambio de espacio para mesas de trabajo. Estos laboratorios químicos forman parte de la Universidad y los estudiantes universitarios regulares pueden trabajar allí en buenas condiciones siéndoles reconocidos los estudios. Esto último no ocurre en los laboratorios de la

Junta; de manera que para la química la Junta ha sido capaz de llevar a cabo una reforma desde dentro de la Universidad, mientras que no ha sido capaz de hacer lo mismo en el caso de la física.

Los laboratorios químicos de la Facultad de Farmacia no son lo suficientemente grandes como para ocuparse de todos los solicitantes y la mayor parte de los estudiantes universitarios se ven forzados a trabajar bajo las intolerables condiciones mencionadas en a.

c) Los laboratorios del Departamento de Salud Pública. No se ofrece instrucción en las partes dedicadas a la física y la química. Estos centros son lisa y llanamente laboratorios de comprobación. El equipo es bueno y sería posible realizar investigaciones si las personas que ocupan los puestos en estos laboratorios estuviesen interesadas o animadas en investigar dentro de sus materias.

d) Los laboratorios dependientes de los Cuerpos de Artillería e Ingeniería del Ejército español. Aquí el equipo de física y química es bueno, se da alguna instrucción a oficiales jóvenes que se ofrecen voluntarios para educarse en estos temas. Existe un personal semipermanente asociado a estos laboratorios, aunque como estos científicos deben ser militares, no es probable que sean personas con alguna práctica en la investigación científica. Advertí algún trabajo en uno de los laboratorios que tenía carácter de investigación con el objeto de la invención de aparatos. En conjunto, muy poco se debe esperar de los laboratorios militares, que no sea el posible préstamo de aparatos o facilidades.

Con relación al Laboratorio de Investigaciones Físicas, Trowbridge señalaba que «el espacio para la física es adecuado para las necesidades actuales», mientras que no ocurría lo mismo para la química-física. La dotación instrumental se había escogido cuidadosamente para los trabajos que se estaban realizando, teniendo cuidado de comprar solo lo que se requería inmediatamente.

En cuanto a las necesidades, Trowbridge mencionaba las siguientes: algún taller para reparaciones o para construir aparatos especiales, como una pequeña planta de aire líquido, del que no se podía disponer en Madrid, siendo no obstante tan necesario

«como el gas y el agua» para las investigaciones que Cabrera y Moles estaban intentando desarrollar. También se necesitaba una instalación de alta tensión de unos 60.000 voltios. Cabrera, por ejemplo, quería iniciar una línea de investigación en espectros de rayos X para los elementos con los que había estado trabajando en magnetismo; disponía de la persona y de los materiales, pero carecía del alto voltaje necesario para producir los rayos X, así como de parte de los aparatos.

Trowbrige reconocía que los instrumentos que solicitaba la Junta eran únicamente los que se necesitaban de manera inmediata. Aparentemente, en la lista enviada a la IEB se había indicado que más adelante se incluirían las necesidades de Catalán. Esta decisión era bienvenida por el físico estadounidense, quien como ya vimos, era habitualmente crítico con el español:

La sugerencia [de Castillejo] de enviar más tarde una lista detallada de las necesidades del Dr. Catalán es en mi opinión sabia, ya que el Dr. Catalán necesitará considerar muy seriamente este asunto en base a que se enfrentará con la necesidad de introducirse en una línea de investigación algo diferente de la que ha seguido durante los últimos años.

Pasaba a continuación a analizar la posible intervención del Gobierno. Castillejo le había enseñado la carta de Cajal del 27 de diciembre, ante la cual comentaba que creía que «la Junta ha pedido demasiado al Gobierno», quien todavía no había contestado. «De mis visitas al Ministro de Educación y al Dictador en funciones ⁸ no obtuve más que vagas promesas de que el Gobierno estaba dispuesto a hacer todo lo que fuese necesario, etc. y la afirmación de que se daría pronto una contestación escrita a la petición de la Junta». Obviamente, se estaba aquí en un punto problemático: el Gobierno español, *ningún* Gobierno hasta entonces, se había enfrentado con pretensiones parecidas y, naturalmente, existían dudas en ambas partes.

⁸ Parece que Trowbridge se estaba refiriendo aquí al almirante A. Magas, un miembro del Directorio Militar, que probablemente suplía a Primo de Rivera en ese momento.

Evidentemente, cualquier idea del coste de un nuevo instituto pasaba por estimar sus dimensiones (además de quien iba a comprar el terreno, una cuestión en absoluto clara en aquel momento, aunque parecía haber acuerdo en utilizar alguno cercano). Los químicos deseaban 850 m² por piso (se preveían dos pisos), mientras que a los físicos parecía bastarles con entre 200 y 300. Castillejo opinaba, no obstante, que las peticiones de los químicos eran exageradas y que la superficie total del edificio no necesitaba superar los 3.000 m²; teniendo en cuenta los costes de construcción habituales entonces en Madrid, esto equivalía a un millón de pesetas para la edificación del edificio (sin incluir luz, calefacción, gas, etc.). Trowbridge pensaba que se trataba de una estimación baja, «ya que la construcción de laboratorios en América en general cuesta más que edificaciones ordinarias». Su estimación era que el proyecto completo (terreno, edificio y equipos técnicos) no estaría lejos de entre 2,5 y 3 millones de pesetas; esto es: 420.000 dólares.

En este punto, el científico estadounidense pensaba que era difícil ir mucho más lejos (salvo, si acaso, encargar un proyecto a un arquitecto) y que lo mejor sería que la IEB decidiera si deseaba seguir adelante teniendo en cuenta el nivel de gastos que se preveían (de hecho, la IEB proporcionó 10.000 dólares para los trabajos iniciales). Como resultado de su visita a Madrid, Trowbridge estaba convencido de que «la Junta es la agencia con la que trabajar, si la I.E.B. se propone intentar algo en este país en las ciencias puras». Era cierto que se podía hacer mucho con becas, «pero durante veinte años la Junta ha estado administrando un programa de becas no muy diferente al de la I.E.B. y en mi opinión como resultado de éste existe un núcleo suficiente de hombres educados en el extranjero en Física y Química para que sea seguro, *siempre que existan garantías suficientes de apoyo del Gobierno*, el invertir una suma considerable en un Instituto de Física y Química modélico». Augustus Trowbridge, es evidente, apoyaba la petición española.

El siguiente paso en las negociaciones fue la publicación el 31 de julio (1925) de un Real Decreto, con el que el Gobierno daba poder a la JAE para representarlo oficialmente en todo lo relacionado con el Instituto. A finales de agosto, Castillejo se entre-

vistaba con Trowbridge, en presencia de Cabrera y Catalán. En aquella reunión se determinaron las dimensiones que se deseaban para el Instituto (un área de entre 850 y 1.000 m² para cada una de las tres plantas; capacidad para 150 estudiantes, 7 profesores, 12 ayudantes y los técnicos necesarios).

Con estos datos, el 3 de septiembre se firmó un «Proyecto de acuerdo entre el Gobierno español y la Junta para Ampliación de Estudios por una parte, y la International Educational Board por la otra, relativo a la construcción, equipamiento y apoyo de un Instituto de Física y Química, en Madrid, España»⁹. Firmaron el proyecto de acuerdo, Castillejo y Trowbridge.

En esencia, este documento no era sino un resumen de las ideas que Trowbridge, junto con los españoles, sostenía sobre lo que debería ser el Instituto y las respectivas participaciones de la IEB y del Gobierno español. Se declaraba explícitamente que la Fundación norteamericana pondría el Instituto «en manos de la Junta, considerada en este sentido como un albacea que se perpetúa a sí mismo de una fundación (en el sentido español legal del término) al servicio de la investigación científica». El trabajo a desarrollar en el centro, que serviría para que se formasen en él unos 150 estudiantes de todos los niveles, «se mantendría al servicio exclusivo de la ciencia y la investigación, sin ninguna subordinación a algún fin académico o profesional, que militase contra su eficacia como una institución para el desarrollo de la ciencia pura». Asimismo, frente a los procedimientos basados en concursos tradicionales en España (oposiciones), el documento recomendaba que el personal del Instituto fuese seleccionado por un comité escogido por la JAE. La política de la IEB era proveer una parte o todo de los costes iniciales, pero no obligarse a mantener su apoyo; la Junta reconocía que esto era obligación de la parte española¹⁰. El Gobierno debería, por consiguiente, garantizar el mantenimiento adecuado del Instituto «con el mayor grado de libertad compatible con la leyes españolas». La única

⁹ Archivos Rockefeller.

¹⁰ Las previsiones que se hacían era que se necesitaría un presupuesto anual de aproximadamente 400.000 pesetas, de las cuales entre 120.000 y 140.000 serían para la compra de instrumentos y suministros.

garantía que los americanos solicitaban era una declaración explícita del Gobierno español, asegurando el apoyo adecuado al Instituto, «lo que significaría comprometer el honor de la nación».

En estas complicadas y engorrosas negociaciones, la Junta debía conseguir la aquiescencia del Gobierno, lo que se logró con una nueva Real Orden publicada el 20 de noviembre. La JAE podía ya presentar una solicitud formal a la IEB, en base a que: 1) la IEB proporcionaría a España un edificio «para utilizar como un Instituto para Física y Química, completamente terminado y equipado; 2) el Gobierno se comprometía a mantener el Instituto; 3) el Gobierno declaraba que el Instituto se dedicaría exclusivamente a la investigación, siendo su personal designado por el Ministerio de Instrucción Pública a propuesta de la JAE, y 4) la IEB debe dar el Instituto para Física y Química a España, sin ninguna reserva de derechos y sin pedir ninguna garantía que no sea la declaración del Gobierno español, asegurando el apoyo adecuado, lo que significa comprometer el honor de la nación». Se había conseguido, finalmente, el acuerdo.

El 3 de febrero de 1926, sin introducir ninguna novedad con respecto a lo acordado, Cajal enviaba a la IEB lo que se puede considerar como la solicitud formal de la JAE. El 8 de marzo, la International Educational Board comunicaba oficialmente que había decidido financiar la construcción del Instituto de Física y Química, «siempre que la cantidad no excediera de los 420.000 dólares». El 3 de abril el ministro de Instrucción Pública informaba a Cajal que el rey, de acuerdo con el Consejo de Ministros, había decidido que el Estado español aceptase la donación y que en adelante el presidente de la JAE estaría autorizado a tomar las medidas necesarias para hacerla efectiva.

5.3. UNA VISITA INTERESANTE: CHARLES MENDENHALL

Con la decisión de subvencionar la construcción del Instituto, no terminaron en absoluto las visitas de representantes de la IEB. En marzo tuvo lugar una especialmente interesante: la del físico Charles Mendenhall, que ya nos apareció en el capítulo precedente.

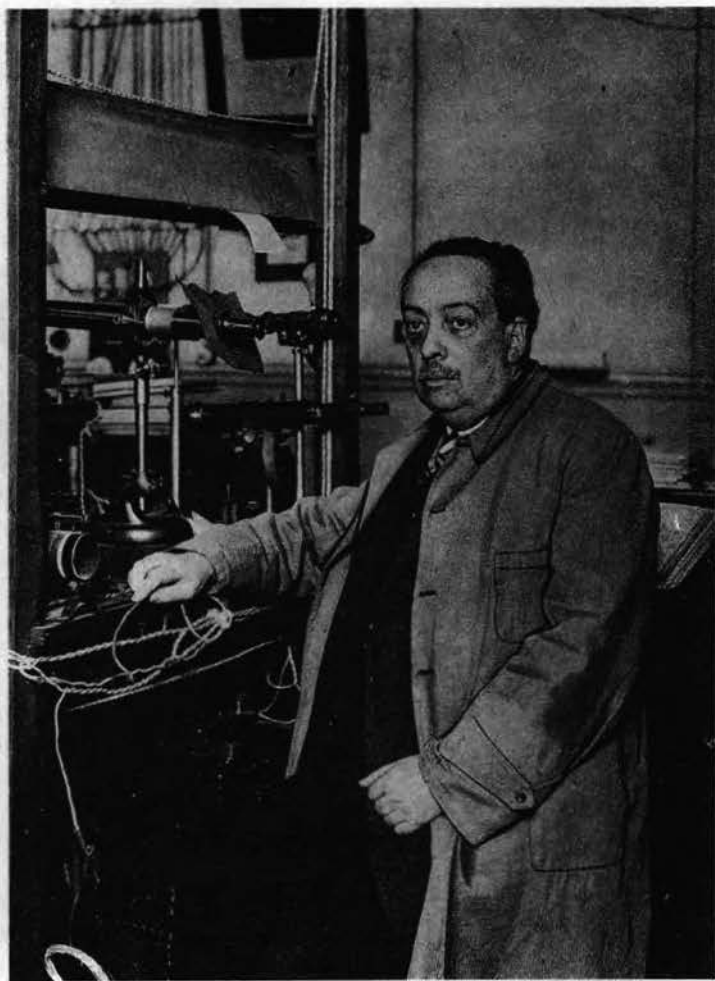
En el informe que preparó el 24 de marzo, Mendenhall repasaba la situación en el Laboratorio de Investigaciones Físicas: «La situación general en Madrid con relación a la física y la química debería, creo, animar mucho a la I.E.B., tanto desde el punto de vista de la actitud de aquellos a los que se propone beneficiar como desde el de la extrema necesidad de la ayuda que pretende conceder. Es decir, encontré un pequeño grupo de entusiastas y sorprendentemente bastante activos investigadores instalados de manera absolutamente inadecuada y llevando a cabo su trabajo sin, por lo que pude ver, ningún apoyo local excepto el que procede de la Junta. No es necesario detallar lo inadecuado de los actuales locales. No conozco ninguna institución en Estados Unidos en la que se estén realizando tareas comparables en locales tan primitivos y poco eficaces».

Mendenhall había hablado con Cabrera, Moles, Catalán, Palacios (que él escribía como «Poliocious») y Bechert, que entonces estaba en Madrid, trabajando con Miguel. «Me informé, con algún cuidado, de toda la investigación que actualmente se lleva a cabo en el laboratorio. El profesor Cabrera está dedicado, ampliamente, sino exclusivamente, al estudio del magnetismo, particularmente en su relación con las teorías de Langevin y Weiss». Y a continuación comentaba los intereses experimentales de Cabrera a los que ya me referí en otro lugar.

En cuanto a Catalán, ya cité las opiniones de Mendenhall en el capítulo anterior. De Palacios («Poliocious») señalaba que «está trabajando en el estudio de la estructura de los cristales mediante rayos X» y que «parte de su equipo era bastante inadecuado. Me pareció que no es tan sensible a las novedades de su campo como Catalán es al suyo».

En general, Mendenhall extrajo la impresión de que los físicos y químicos de Madrid se inclinaban bastante hacia tipos de investigación «estereotipados», que necesitaban estímulos externos, alguien lleno de ideas e ingenuidad técnica. En este sentido, sugería que sería muy beneficioso que una persona de este tipo pudiese, con la ayuda tal vez de la IEB, pasar un año en Madrid.

Muy interesantes son los comentarios que el profesor de Wisconsin realizaba en su informe sobre los «Planes para el



Blas Cabrera en su laboratorio (c. 1930)

nuevo edificio». Había conversado sobre este tema con varios miembros del laboratorio y llegado a la conclusión de que los planes habían sido realizados «con mucha precipitación por alguien del departamento». Esperaba que tales planes no constituyeran la base del trabajo de los arquitectos, «que pronto se iniciará», ya que en su opinión se necesitaba introducir «cambios radicales», que había discutido con Catalán y Palacios. En particular, había recomendado que abandonaran la idea de instalar el taller para el equipo eléctrico en un edificio aparte, puesto que taller y conmutadores se utilizarían mucho y por tanto deberían ser lo más accesible posible. En cuanto a las objeciones que se hacían sobre que semejante proximidad produciría vibraciones que perjudicarían las investigaciones, Mendenhall señalaba que había dicho a los españoles que se podían evitar instalando adecuadamente la maquinaria; incluso les había explicado el método que deberían seguir para lograrlo. También recomendó que la división en habitaciones del instituto se llevase a cabo mediante paredes ligeras, independientes de la estructura básica del edificio, ya que así se podrían modificar fácilmente cuando hiciera falta. Asimismo, hizo sugerencias sobre el cableado eléctrico y las tuberías.

Obviamente Mendenhall tenía gran experiencia en laboratorios de física y su visita muestra cuan concienzuda era la IEB atendiendo (colaborando en realidad) con aquellos a los que beneficiaba. La estructura final del Instituto, que todavía se puede contemplar, muestra que muchas de las propuestas de Mendenhall no cayeron en saco roto.

Pero el profesor y oficial de la Fundación norteamericana también tenía el juicio y la experiencia mundana suficiente como para realizar otras recomendaciones. Así, sugirió que si quedase espacio suficiente, se reservara una habitación para una especie de museo físico y químico, que contuviera una cierta cantidad de equipo que se estuviese utilizando. «Aunque este asunto es acaso ajeno al propósito principal del laboratorio, creo que estaría bien darle alguna consideración en vista de la situación general que existe en España, con respecto a la investigación científica. Cualquier medio legítimo que pueda utilizarse razonablemente para aumentar el interés en la ciencia debería merecer la pena».

5.4. PROBLEMAS Y DEMORAS

A pesar del completo acuerdo logrado, no se avanzó con rapidez. La principal razón de las demoras que surgieron tuvieron que ver con la situación política. El Gobierno decidió cambiar el mecanismo para seleccionar los vocales de la JAE y esto, como indicaba otro de los oficiales de la IEB, George Vincent, en su diario el 8 de julio de 1926, no ofrecía suficientes garantías a la Fundación Rockefeller. Si se llevaba a cabo tal modificación en los estatutos de la Junta, Vincent pensaba que Trowbridge «estaría justificado en decir que tendría que referir todo el asunto a Nueva York antes de continuar» ¹¹. En sus notas, Vincent señalaba que Trowbridge le había informado que en una conversación con Castillejo el 10 de julio, éste era de la opinión que «el cambio en la organización de la Junta fue instigado por un grupo de jesuitas que tienen gran influencia con el ministro de Educación», pero que Primo de Rivera «no sabía nada del cambio propuesto y estaba en contra de él, [aunque] en vista de las implicaciones políticas no desea crear un problema exigiendo la rescisión del real decreto» ¹². En vista de la situación, los oficiales de la IEB decidieron escribir una carta a Primo de Rivera pidiendo información para transmitir a Nueva York; aprovecharían la misma para plantear al Gobierno la cuestión de si era razonable modificar la organización de una institución que había funcionado tan bien durante tantos años. Evidentemente, la IEB estaba constituyendo un punto de apoyo importante para la JAE en una época difícil.

Que esto fue así es algo que se observa con claridad a través de las notas del viaje que Trowbridge realizó a Madrid en enero de 1927 ¹³. El profesor americano llegó el día 12, siendo recibido

¹¹ Archivos Rockefeller. De hecho la modificación de los estatutos de la JAE se había aprobado mediante un Real Decreto en mayo de 1926, nombrándose poco después nuevos vocales.

¹² Una exposición más detallada de los puntos de vista e informaciones que había recibido Trowbridge se encuentra en la carta que envió a Wickliffe Rose el 14 de octubre de 1926. Archivos Rockefeller.

¹³ A. Trowbridge (para W. Rose), «Log' of trip to Spain. Interviews re Junta and Institute of Physics and Chemistry in Madrid», 12-24 de enero de 1927, Archivos Rockefeller.

por Castillejo; el día siguiente ambos se entrevistaban con el duque de Alba. «El duque es —anotaba Trowbridge— íntimo del rey Alfonso y, aunque de opiniones políticas diferentes, amigo íntimo de niñez de Primo de Rivera; es miembro de la Junta y evidentemente su interlocutor con el Gobierno». Tras efectuar un rápido repaso de las actividades de la IEB en el campo de la ciencia, «utilizando esto para señalar que la única excursión en países científicamente retrasados (no utilicé este término) fue con España», manifestaba que en su opinión «el éxito del experimento se había visto muy hipotecado por la manera en que había sido reorganizada la Junta» y que la IEB probablemente no habría tomado la decisión (de financiar la construcción de un Instituto de Física y Química) «que adoptó hace un año si entonces la organización hubiese sido la que es ahora». Se trataba, en suma, de ver si se podía llegar a algún tipo de compromiso con el Gobierno.

Después de ver al duque, Trowbridge y Castillejo asistieron a una sesión de la Junta (en la que participaban dos de los miembros elegidos por el Gobierno, uno de ellos José María Torroja, quien mantendría en lo sucesivo buenas relaciones con la IEB). Al comentar esta reunión, Trowbridge indicaba: «Hasta entonces, no he contado a nadie, ni siquiera a Castillejo, la última decisión de la Board, de manera que todos creen que la I.E.B. *puede* retirar la oferta». Parece, por estas palabras, que la fundación estadounidense había decidido seguir adelante con el proyecto de todas maneras, pero que jugaba sus bazas para intentar que no se modificase la organización de la JAE.

También se habló durante la sesión sobre el concurso de proyectos para la construcción del Instituto, una idea que no agradaba a Trowbridge, pero que aceptó. Se deseaba anunciar la concesión de dos premios y que los arquitectos que consiguiesen el primero realizasen antes de que comenzaran las obras un viaje de estudio visitando laboratorios europeos.

La capacidad de Trowbridge como negociador e informante se pone de manifiesto en estas notas. No se limitó a la opinión de Castillejo; preguntó, por ejemplo, a algunos de los vocales de la Junta. Dos de ellos, que reconocían el gran papel desempeñado por el secretario y lo mucho que la Junta le debía, creían que «la

acción del Gobierno iba encaminada a reducir el poder de Castillejo. Bajo Castillejo la Junta se ha convertido en la labor de una sola persona. La mitad de los miembros nunca asiste a las reuniones y la otra mitad vota "sí" a todo lo que propone Castillejo». Además, el secretario de la JAE era «considerado en Madrid como muy anti-clerical y la Junta estaba siendo vista (incorrectamente —añadía Trowbridge— en mi opinión) como anti-clerical». Los dos informantes del oficial de la IEB, que se declaraban anti-clericales en política, pensaban que Castillejo había hablado demasiado. «Los sacerdotes —apuntaban— no se oponen a las actividades científicas de la Junta, [pero] el Gobierno no podría obtener ningún apoyo en tanto que la Junta aparezca como un organismo bajo el completo control de un conocido anti-clerical; si la mitad de la vieja Junta no asiste a las reuniones, lo mejor sería reemplazarlos por otros que tengan interés —las personas que ha designado el ministro son buenas y se toman interés».

Aunque Trowbridge pensaba que «Castillejo es la única persona en todo el asunto que está segura de sí misma y que piensa seriamente en el trabajo de la organización», sus notas revelan que existían algunas tensiones, probablemente no muy pronunciadas, dentro de la propia Junta.

El 24 de enero el delegado norteamericano se entrevistó con Primo de Rivera. El duque de Alba, que le acompañó, ya había hablado con el dictador sobre la posibilidad de retirar los cambios introducidos en la estructura de la JAE y éste parecía aceptar la idea. En esencia, Trowbridge expuso la posición (que ya hemos comentado) de la IEB ante los cambios introducidos. Por su parte el jefe del Gobierno afirmó que el cambio en la organización de la Junta no obedecía a motivos políticos, estando guiados, por el contrario, para dotarla de mayor autonomía y permitirle que en el futuro pudiera administrar presupuestos más grandes. Daba su palabra de que, mientras estuviese al frente del Gobierno, se mantendría el programa original de la JAE, sin interferencias. Admitió que las críticas de Trowbridge eran razonables y que de haberlas conocido en su momento habría obrado de forma diferente, pero que no deseaba hacer cambios de nuevo tan pronto, salvo que se comprobase que el programa general de la Junta

estaba en peligro; tal vez cuando se inaugurase el nuevo Instituto fuese el momento de introducir esos cambios.

La opinión que se formó Trowbridge de su entrevista con el dictador es clara: «Saqué la impresión de que Primo de Rivera es una personalidad singularmente franca; evidentemente piensa que el cambio solo redundará en beneficios para la Junta, a la cual manifiesta profesar completa simpatía. El Dr. Castillejo y las restantes personas con las que hablé no temen problemas bajo la nueva constitución mientras Primo de Rivera esté al frente del Estado y yo creo que tienen razón». Evidentemente, había sido ganado por la simpatía y franqueza del dictador.

Tras resolver diferentes cuestiones relacionadas con la adquisición de terrenos ¹⁴, el 6 de abril de 1927 se abrió el concurso de proyectos para adjudicar la construcción del Instituto a un arquitecto. «El asunto está yendo muy lentamente —reconocía Trowbridge el 21 de abril en una carta a Brierley, de las oficinas centrales en Nueva York—, pero acaso esto sea realmente el comienzo del final. Parece que desde mi última visita a Madrid en enero se produjo un nuevo retraso debido a dos nuevos elementos puestos en discusión ante el Comité de Edificación: uno era la algo técnica cuestión de si no sería mejor que se pusiese a la Química en un piso y a la Física en otro, y el otro tenía un cierto carácter político; a saber, la cuestión del lugar fue suscitada de nuevo y se necesitaron numerosas discusiones antes de que el ministro de Instrucción Pública tomase una decisión definitiva manteniendo el lugar original cerca del Hipódromo» ¹⁵.

Al concurso se presentaron siete proyectos, adjudicándose al de los arquitectos Manuel Sánchez Arcas y Luis Lacasa ¹⁶. En lugar de proceder inmediatamente con la construcción del Instituto, recordemos que la idea de la JAE era que los dos arquitectos

¹⁴ Cuestiones que habían provocado algún problema. Ver, en este sentido, *Gaceta de Madrid* 26 de noviembre de 1925, Real Decreto del Ministerio de la Guerra.

¹⁵ Archivos Rockefeller.

¹⁶ El jurado que decidió estaba formado por tres científicos asociados a la Junta (Rodríguez Carracido, Palacios y Casares) y dos arquitectos (Bellido y García Guereta).

realizaran un viaje de estudios, visitando laboratorios en distintos países. Catalán, primero, y luego Moles les deberían acompañar.

Catalán intervino, efectivamente, en el diseño del Instituto. En octubre de 1927 viajó por Europa por cuenta de la International Education Board, que concedió 2.000 dólares a la JAE para que se visitase los principales laboratorios de física europeos. Según la «Memoria descriptiva» final preparada por los arquitectos¹⁷, para decidir dónde se colocarían las «redes de espectroscopía», con objeto de obtener la constancia de temperatura con la precisión necesaria, se habían visitado los laboratorios de Basilea, Berlín (Prof. Paschen)¹⁸, Postdam (Torre Einstein y laboratorio del Prof. Crotrian), Amsterdam (Prof. Zeeman) y Copenhague (Prof. Bohr). Al ser un asunto de espectroscopia, es natural suponer que Catalán participase en estas visitas.

Una vez reunida esta información, los arquitectos se dispusieron a recomponer y completar su proyecto. José María Torroja, que había sido nombrado presidente del «Comité Directivo» encargado de supervisar los trabajos de construcción del Instituto¹⁹, comentaba a Trowbridge (el 5 de abril de 1928) que los arquitectos completarían los planos finales en abril y que la construcción debía comenzar en mayo. Sin embargo, cuando, a comienzos de julio, Cabrera pasó por la oficina parisina de la IEB, camino de Bruselas, para asistir a una reunión del Comité de Física Solvay, del que era miembro, transmitió la idea de que esperaba que la construcción comenzase en el otoño.²⁰

Ignoro cuando comenzaron los trabajos, pero el hecho es que

¹⁷ Existe una copia de esta memoria (sin fecha) en los Archivos Rockefeller.

¹⁸ Paschen dirigía entonces el Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

¹⁹ Los restantes miembros del Comité eran Leonardo Torres Quevedo, Joaquín Castellarnau, Ignacio Bolívar, José María Plans y Blas Cabrera, como secretario, en calidad de director del Instituto. (Cabrera fue designado para este puesto por el Gobierno mediante una R. O. de 9 de junio de 1928). Caje a Trowbridge, 22 de junio de 1928; también el informe a Trowbridge que menciono en la nota siguiente. Archivos Rockefeller. Más adelante, cuando, el 15 de febrero de 1930, el Gobierno restituyó a la JAE su antigua estructura, Bolívar sustituyó a Torroja como presidente del Comité.

²⁰ Informe preparado para A. Trowbridge, 10 de julio de 1928. Archivos Rockefeller.

se alargarían durante bastante tiempo. De la documentación depositada en los Archivos Rockefeller se obtienen algunos datos sobre el proceso. Para nuestros propósitos, es interesante apuntar que parece que Catalán desempeñó un papel relevante en él. Esto es, al menos, lo que se deduce del cuaderno de notas de la visita que efectuó a Madrid en octubre (12 al 15) de 1929 Lauder W. Jones, que había sido nombrado durante 1928 director asociado de la oficina de París de la IEB, una vez que Trowbridge decidiera regresar a Princeton como decano de la Graduate School. Jones era un químico de Princeton que había realizado algunos informes relacionados con la química para la IEB²¹. Amante de la buena mesa y de los viajes, Jones no fue un mal director de la oficina parisina, pero en modo alguno poseía la iniciativa, inteligencia, imaginación y carácter de Trowbridge, cualidades que los científicos del Laboratorio de Investigaciones Físicas habían tenido sobradas ocasiones de conocer.

En las notas de Jones se lee: «Catalán ... parece estar encargando directamente de supervisar la construcción del edificio». Por lo que vio, pensaba que «llevaría a cabo fielmente su tarea» y que por tanto «los detalles concernientes al equipamiento e instalaciones serán supervisados satisfactoriamente»²².

A finales de octubre de 1930, al regreso de otro de sus viajes a Bruselas, Cabrera se detenía una vez más en París para informar del estado de los trabajos a los oficiales de la IEB²³. El Instituto no estaría finalizado para el otoño, como se había pensado antes, pero sí, creía, para enero de 1931. El edificio propiamente dicho estaba acabado, pero no así el interior. No obstante, Cabrera esperaba poder comenzar a trabajar en su nuevo laboratorio inmediatamente (en este punto mencionaba que todos los equipos eléctricos se habían encargado en Alemania)²⁴.

El estado de los trabajos era tal que Cabrera ya hacía planes para la inauguración del Instituto, que esperaba pudiese tener

²¹ Kohler (1991, p. 246).

²² «Lauder Jones' Log», 12-15 de octubre de 1929, Archivos Rockefeller.

²³ I. Marcovich, «Memorandum», 27 de octubre de 1930. Archivos Rockefeller.

²⁴ Fue la firma Siemens la encargada de la instalación.

lugar en marzo o Semana Santa de 1931. Deseaba organizar una reunión científica internacional, invitando a los profesores extranjeros que habían enseñado a los científicos españoles. En cuanto a la organización del Instituto, las secciones serían las siguientes:

- 1) Química-física y mineralogía (dirigida por E. Moles).
- 2) Espectrografía (M. Catalán).
- 3) Rayos X y termodinámica (J. Palacios).
- 4) Química orgánica (A. Madinaveitia).

Preguntado por Marcovich si en España era difícil reclutar jóvenes científicos para investigar (y conservarlos), don Blas contestaba que al igual que en otros países, los jóvenes se sentían más atraídos por los mejores salarios que se ofrecían en las industrias. En el ámbito universitario, lo habitual era que los ayudantes no cobrasen nada durante el primer año, y entre 150 y 300 pesetas a partir de entonces, mientras que el mínimo para poder vivir era de entre 300 y 400 pesetas. La idea era que en el nuevo Instituto, y con las 200.000 pesetas que debería contribuir el Estado, se fuesen aumentando progresivamente los salarios, de manera que sus investigadores no tuvieran que recurrir a trabajos exteriores complementarios.

Las previsiones de Cabrera resultaron ser, como había sido la norma hasta entonces, optimistas. El 27 de febrero de 1931, Ignacio Bolívar informaba a Lauder Jones que según los arquitectos el Instituto estaría finalizado completamente en agosto. Los aparatos del viejo laboratorio estaban siendo trasladados al nuevo edificio y se esperaba que pudiesen ser utilizados de nuevo en mayo. «El Instituto —añadía— estará prácticamente terminado y en pleno funcionamiento en octubre de 1931»²⁵.

Pronto la Segunda República se establecía en España, lo que parece retrasó los planes de inauguración. «La cuestión de la inauguración del Instituto, entre todos los importantes sucesos que han tenido lugar recientemente en España —escribía Marcovich en un memorándum, preparado en octubre tras otra visita

²⁵ Bolívar a Jones, 27 de febrero de 1931, Archivo Rockefeller.

de Cabrera a París— está ahora en un segundo plano»²⁶. Lo importante era que hasta el momento el Gobierno español había cumplido sus promesas: «en 1929 el Instituto recibió de éste 100.000 pesetas; lo mismo en 1930 y 200.000 el 1 de enero de 1931», escribía Marcovich. Ahora bien, el dinero había procedido del Gobierno de la monarquía, esto es, del viejo régimen; en vista de ello y de la crisis financiera «¿tendrán éxito —se preguntaba el oficial de la IEB— en conseguir las 400.000 pesetas para 1932, o al menos las 300.000 que pidió Cabrera?» En su momento serían 300.000 las pesetas suministradas.

5.5. EL INSTITUTO NACIONAL DE FÍSICA Y QUÍMICA

Finalmente, el 6 de febrero de 1932 tuvo lugar la ceremonia de inauguración oficial del «Instituto Nacional de Física y Química», en la que la JAE traspasaba la titularidad del centro al Gobierno español. Presidió Fernando de los Ríos, ministro de Instrucción Pública. Abrió el acto Torroja, que leyó un breve texto en el que exponía los fines de la Fundación Rockefeller y su similitud con la Junta. A continuación intervino Cabrera, repasando la historia de los laboratorios de física y química fundados por la JAE. Invitados por el Gobierno, estuvieron presentes en el acto: Pierre Weiss (Estrasburgo), Richard Willstätter (Berlín), Arnold Sommerfeld (Munich), Otto Hönigschmidt (Munich) y Paul Scherrer (Zurich), todos relacionados con el viejo Laboratorio. Weiss y Sommerfeld pronunciaron sendos discursos. Por último, tomó la palabra Fernando de los Ríos, refiriéndose a una visita que había realizado a Estados Unidos, a la generosidad de los ciudadanos americanos con relación a la educación y a la ciencia, y en particular a la de la Fundación Rockefeller para con el pueblo español; aprovechó para asegurar el gran interés que el

²⁶ 5 de octubre de 1931, Archivo Rockefeller. Por cierto, es interesante constatar la ingenuidad política de Cabrera. El 1 de abril de 1931 había comentado a Jones que «era optimista y que no creía que un esfuerzo para instaurar la República tuviera lugar inmediatamente», «Log of Prof. L. W. Jones», 31 de marzo-1 de abril de 1931.

Gobierno al que pertenecía tenía por mantener e impulsar las instituciones de investigación.

Una apreciación interesante del nuevo Instituto se encuentra en el informe que Lauder Jones envió a Nueva York cuando visitó el Instituto, un par de meses después de su inauguración (entre el 7 y el 9 de abril). Sobre el conjunto del Instituto, Jones apuntaba:

La entrada es amplia, de dos pisos de altura. Está acabada con ladrillos bronceados, sobre las paredes y techo hay pesadas vigas cubiertas con cobre muy enrojecido, y el artesanado es de rica caoba. La sala de conferencias, con capacidad para varios cientos, está preparada con celotex para absorber completamente los ecos, la mesa frontal, que ocupa todo el ancho de la sala, es de caoba, con todo dispositivo imaginable para electricidad, agua, gas, aire comprimido y vacío. Las numerosas habitaciones para investigación son muy amplias y están equipadas abundantemente con los equipos más modernos.

Comentarios similares se hacían con respecto al taller y otras instalaciones.

También se detenía Jones sobre algunos aspectos económicos. Cabrera, como director, cobraba 25.000 pesetas; los profesores, como Moles y Catalán, 12.000 pesetas; los ayudantes alrededor de 6.000 pesetas y algunos estudiantes avanzados, 2.000. Los profesores también lo eran de la Universidad (catedráticos), en donde cobraban entre 6.000 y 8.000 pesetas. Por consiguiente, la vinculación al Instituto no solo era atractiva desde el punto de vista científico, sino también desde el económico.

Sobre Catalán, decía que estaba trabajando entonces en problemas relacionados con los espectros del manganeso, molibdeno, silicio y boro, los efectos Raman y Zeeman, y que tenía cinco habitaciones, «todas equipadas con los últimos equipos espectrográficos que he visto. Tiene al menos cuatro espectrómetros Hilger». En el sótano se había preparado una habitación de temperatura constante, que debería recibir en el futuro una de las redes de difracción (de 21 [?] metros, escribía Jones) en las que tanto habían insistido Trowbridge y otros enviados de la IEB.

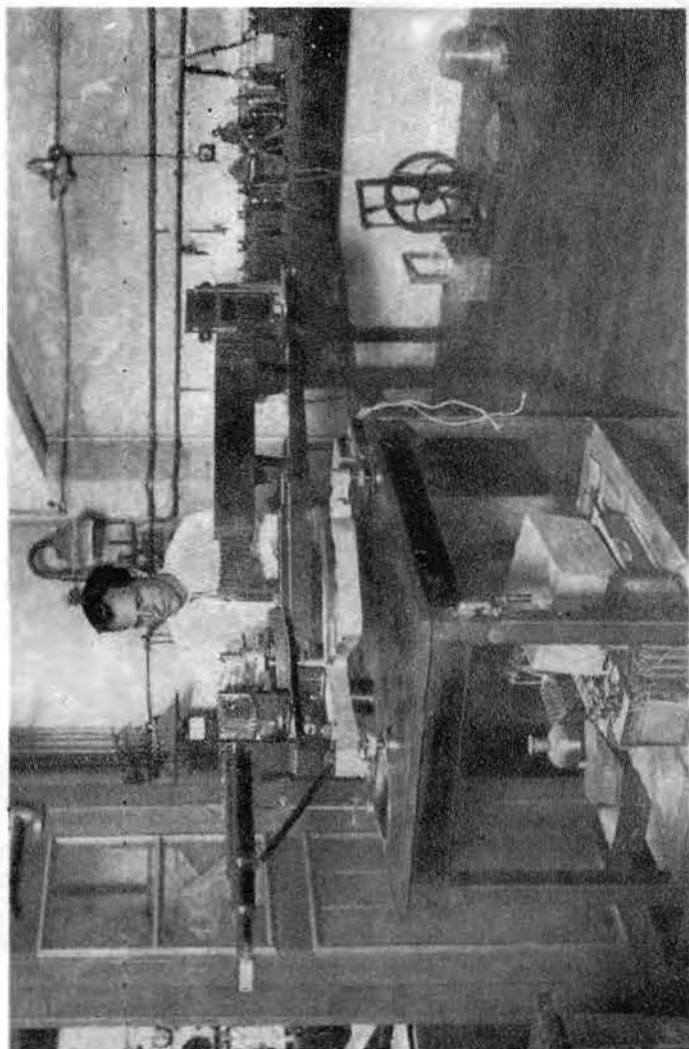
José Manuel Sánchez Ron



El Instituto Nacional de Física y Química en construcción



Instituto Nacional de Física y Química

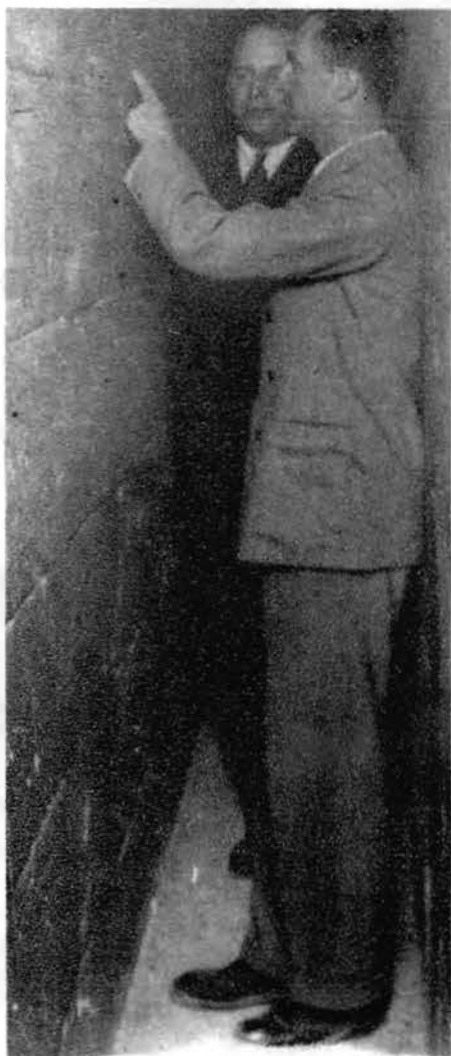


Catalán trabajando en el Instituto Nacional de Física y Química



Inspeccionando los acumuladores del Instituto Nacional de Física y Química,
que podían mantener durante una hora la luz de 180.000 bujías

José Manuel Sánchez Ron



En el pasillo subterráneo del Instituto, dotado de paredes de corcho, en donde la temperatura no se alteraba más de una décima de grado

5.6. INTERLUDIO. INVESTIGACIONES SOBRE EL ESPECTRO DEL HIERRO

Antes de continuar con el nuevo Instituto y las facilidades de que disponía Catalán en él, me voy a detener en una parcela de sus intereses espectroscópicos que se extendieron a lo largo de bastante tiempo, pero que alcanzaron un momento culminante durante los años a los que me estoy refiriendo ahora; se trata de la estructura del espectro del hierro. Es este, además, un apartado de especial significancia, ya que apreciar las contribuciones de Catalán al conocimiento de la estructura del espectro del hierro nos servirá más adelante para entender el interés que manifestaron científicos estadounidenses durante la Guerra Civil y posguerra por su situación, así como las relaciones que mantuvo Miguel con ellos a partir de 1939.

En primer lugar hay que señalar que el espectro del hierro había sido muy estudiado por haber servido de patrón para la determinación de longitudes de onda de todos los demás espectros y por ser el espectro del elemento que figuraba con mayor intensidad en el espectro solar, lo que hacía que su conocimiento fuese muy necesario para la astrofísica. En 1928, por ejemplo, se reunió la comisión de longitudes de onda de la Unión Astronómica Internacional y, en vista de las medidas concordantes que se habían publicado durante los años precedentes —especialmente desde 1925—, adoptó como patrones secundarios de longitudes de onda ciertas líneas del hierro.

Los primeros trabajos de Catalán dedicados específicamente al espectro del hierro datan de 1924 (Catalán 24, 26), pero su artículo más importante sobre el tema es, sin duda, el que publicó en 1930 con el título de «Estructura del espectro del hierro», y que con prácticamente 150 páginas constituye su trabajo más extenso (Catalán 43)²⁷. (Por cierto, fue en 1930 cuando recibió el premio Pelford, dotado con 15.000 pesetas, en concurso internacional organizado en Barcelona, por un trabajo —ya citado

²⁷ Otros trabajos que publicó sobre el espectro del hierro, son Catalán (57, 60, 61, 72).

en el capítulo anterior— sobre el hierro: «Los movimientos electrónicos del átomo del hierro revelado por sus espectros»²⁸.)

El artículo de 1930 constituía, en primer lugar, un notable esfuerzo de síntesis, toda vez que tomaba en consideración, además de las líneas adoptadas por la Unión Astronómica Internacional, los valores determinados por otros investigadores, como Burns, Meggers y Kiess (extremo rojo), Randall y Barker (infrarrojo), Piña de Rubies (ultravioleta) o Schumacher, King, Moore y Russell (calculados a partir del espectro solar). «Todo el valioso material disperso en los trabajos de tantos autores, ha ido siendo —escribía Catalán (43, p. 1243)— después de revisado y ordenado, incorporado a nuestro trabajo según ha ido apareciendo. A causa del progreso constante de la teoría, hemos tenido que modificar repetidas veces la notación para que pudiera expresar claramente todos los resultados alcanzados de orden teórico y experimental. La cantidad tan grande de material que ha habido que manejar por una parte, y por otra la necesidad de unificar las variadas notaciones empleadas por los diversos autores, ha hecho que la labor de avance en la interpretación haya sido muy lenta».

Una simple enumeración de los datos que debía tener en cuenta para poder llevar a cabo su estudio de la estructura del espectro del hierro, da idea de la dificultad del problema al que se enfrentaba el científico aragonés. En efecto, los datos que le interesaban se referían a: valores de las longitudes de onda del espectro; intensidad de las líneas en los diferentes medios productores del espectro; influencia de la temperatura sobre la intensidad; variaciones de las líneas por la acción de la presión; facilidad de algunas líneas para ser absorbidas, y descomposición de las líneas por la acción del campo magnético (efecto Zeeman). La medida precisa de las longitudes de onda de un espectro, por ejemplo, presentaba grandes dificultades porque las líneas sufren pequeños desplazamientos por la acción de la presión, campo eléctrico, etc. y estos desplazamientos no son iguales para todas las líneas.

Acaso más que en otros casos, había que armarse de paciencia. «Como dice Russell en su magistral análisis del espectro del

²⁸ Inédito. Archivo Catalán.

titanio [n. b.], el trabajo de interpretación de un espectro requiere mucho tiempo; cuando ya no se consigue avanzar en ningún sentido debe abandonarse temporalmente el trabajo y es seguro que al reanudarlo al cabo de un cierto tiempo se lograrán progresos en muchos puntos que antes resistieron a ser interpretados. Por lo que se refiere a nuestro trabajo, podemos decir que el análisis que hoy presentamos ha sido la obra de seis años de esfuerzos, no continuos, sino interrumpidos de tiempo en tiempo, para dedicarnos a la interpretación de otros elementos».

El número de líneas del espectro del hierro es tan grande que en ocasiones unas líneas se superponen a otras. Para resolver estos casos y para situar muchas líneas apenas perceptibles en las placas, Miguel empleó un microfotómetro registrador Moll, que permitía medir con gran exactitud la densidad de las líneas fotografiadas en las placas. Mediante este procedimiento determinó un buen número de líneas no vistas anteriormente por otros científicos; todas ellas correspondían a líneas solares que estaban sin identificar. En cuanto a las fotografías del espectro de arco del hierro, las realizó en variadas condiciones de intensidad del arco y fotografiando las diferentes partes de la llama del arco para separar las diversas clases de líneas en función de la temperatura. Los aparatos que empleó fueron un gran espectroscopio de cuarzo y una red cóncava, montada unas veces según Rowland y otras según Eagle.

Al resumir su aportación, y después de mencionar que había clasificado 2350 líneas, encontrando 304 niveles, 51 términos y 275 multipletes (tripletes, quintetes y septetes), Catalán señalaba:

El espectro del hierro vemos pues que es el más complejo de todos los analizados hasta la fecha, ya que se alcanza la cifra de 2350 líneas interpretadas, y en el más complejo hasta ahora analizado, que es el del titanio, sólo había 1394 líneas clasificadas.

El número de líneas del hierro neutro en el espectro solar, es 3157, los elementos que le siguen en abundancia, Cr y Ti, sólo tienen 860 y 785, respectivamente. Es pues el hierro el elemento más abundante en el sol. Se hallan presentes no sólo todas las líneas de su espectro de arco terrestres, sino otras muchas que ha revelado el análisis estructural, y que no han

podido obtenerse en la tierra aun empleando los más poderosos medios de excitación que conocemos.

Esperamos que esa cantidad tan grande de conocimientos que sobre los modos de emisión, y propiedades de esas líneas, damos cuenta en este trabajo, arrojará mucha luz sobre los problemas astrofísicos.

A juzgar por el interés con que, como veremos, sus colegas buscaban sus datos (ya que continuó trabajando en el espectro del hierro), no hay duda de que, en efecto, arrojaron tal luz.

5.7. CATALÁN EN EL INSTITUTO NACIONAL DE FÍSICA Y QUÍMICA. COLABORACIÓN CON ANTUNES

Volviendo al Instituto Nacional de Física y Química, tenemos que Catalán parecía satisfecho con las facilidades de que disponía allí (él era el jefe de la Sección de Espectroscopia Atómica). Así, el 30 de abril de 1932 escribía a su viejo maestro Fowler ²⁹:

En el nuevo laboratorio tenemos algunos buenos instrumentos para espectroscopia. Un espectrógrafo intercambiable con prisma de cristal y cuarzo, redes planas y cóncavas (3 metros; 10 pies). Un Litrow (cuarzo y cristal). Una red astigmática (3 metros). Un espectrógrafo de gran apertura F:2 (para el efecto Raman).

También tenemos un espectrógrafo de vacío con red cóncava de 2 metros y un gran imán Weiss para el efecto Zeeman. También disponemos de un microfotómetro.

Hemos construido una gran habitación con muy buena constancia de temperatura para el soporte de una red cóncava de 6 metros (20 pies), pero hasta el momento no hemos sido capaces de obtener una red de este tamaño. ¿Podría indicarme en donde podríamos comprar una?

En cuanto a las investigaciones que estaba realizando por entonces, en un informe que preparó, y que se conserva entre sus papeles, se lee:

²⁹ Archivo Catalán.



Se han tomado como base los datos de R. W. Wood, *Proc. Roy. Soc. London*, 1919, 100, 1.



MÚLTIPLES
DEL
Fe I



Se han tomado como base los datos de R. W. Wood, *Proc. Roy. Soc. London*, 1919, 100, 1.

Diagramas de los espectros del hierro neutro dibujados y anotados por Jimena Menéndez Pidal

Curso 1931-32

En la sección de espectroscopia la actividad principal de este año ha sido la de montar y poner en marcha las diferentes instalaciones para obtener espectros y para su observación. Han colaborado en esta tarea el Sr. Casaseca y las Srtas. D. Barnés, M. P. García del Valle, P. Martínez Sancho y C. Pardo. Una vez en marcha los aparatos han comenzado las investigaciones. El Sr. Casaseca tiene casi terminada la medida de una porción de líneas nuevas en el espectro de chispa del manganeso. La Srta. Martínez Sancho ha comparado los espectros de este último espectro para ocuparse más tarde de su estructura. La Srta. Barnés comenzó la instalación para efecto Raman y encontrando algunas dificultades marchó a Gratz (Austria) al laboratorio del Prof. Kohlrausch donde permaneció tres meses aprendiendo la técnica consiguiendo resultados nuevos ... Además hizo un estudio de los valores del efecto Zeeman ... del zirconio ... El profesor Catalán se ocupó del espectro de arco del molibdeno completándolo y estudiando su estructura comparativamente con el cromo. Además prosiguió preparando el libro sobre los "multipletes"; en esta tarea fue ayudado por la Srta. García del Valle.

Desde Alemania su colega y colaborador, Karl Bechert, le había felicitado el 28 de enero de 1932. Su carta es interesante en tanto que toca otras cuestiones, entre ellas una imagen de Sommerfeld que no suele ser la que se maneja habitualmente ³⁰:

Les felicito a Vds. todos del Instituto por la inauguración del Instituto Rockefeller. Aquí la crisis es grande y crece siempre. Yo no veo cómo el gobierno alemán podrá evitar la catástrofe del concurso [?] general. Ahora, no pagando reparaciones, no podemos pagar ni los empleados del estado! Los salarios del estado se han reducido de una manera extraordinaria. Se ve claramente que, durante los últimos años, pagamos las deudas de reparación con dinero extranjero —y ahora,

³⁰ En castellano en el original. Bechert aprendió español durante el año que pasó en Madrid.

como los créditos extranjeros han cesado completamente, estamos peor que nunca. No entendemos en Alemania cómo Francia puede creer que *podemos* pagar, que solamente no queremos. Cada *quinto* en Alemania está sin trabajo.

Tenemos mal humor en Alemania y yo sobre todo. El estado me paga malísimo, tengo que trabajar para Sommerfeld siempre, siempre, más aún que en [aquel] junio de 1928 en que Vd. se enteró en mi cuarto cuánto tiempo me queda para mis ideas. Apareció la primera parte de la quinta edición del libro de Sommerfeld, me costó casi dos años de trabajo y el resumen para mí: dos líneas en el prefacio, y la verdad es que casi todas las cosas que han cambiado en la nueva edición *se las he* [enseñado] y después él escribió el texto que yo tenía que releer para que [desapareciesen] todos los errores de derivación etc. El camino más corto habría sido que *yo* hubiese escrito la quinta edición. Él no sabe todavía que *no* tengo ganas de trabajar con él para la segunda parte de la 5^a edición. Lo peor es que había hace poco la posibilidad para mí de obtener la plaza de catedrático en la escuela técnica de Karlsruhe, buena posición, cerca y en contacto con la fábrica de I. G. Farben. Pero él recomendó en primer lugar a otro —porque no he publicado bastante!— trabajando siempre con él le hago [¿a menudo?] sus lecciones sobre cuestiones cuantistas y muchísimas cosillas más; el Report de Sommerfeld para el congrès Solvay, en cuanto contiene nuevos resultados está escrito por mí! La verdadera causa será probablemente porque nadie conoce la primera parte de la 5^a edición tan bien como yo, y por eso me retiene en Munich ³¹. Hay muchas cosas más que tenía yo que contar a Vd., pero ya basta. Excúseme Vd., pero Vd. es mi único amigo a quien lo digo. Hágame el favor de no hablar a Sommerfeld sobre esto, yo se lo diré claramente cuando me pregunte si quiero continuar trabajando con él en la segunda parte del libro. Lo malo es que estoy de Assistent y no puedo negar los trabajos casi regulares que me toman ya mucho tiempo.

³¹ Bechert incluso acompañó a Sommerfeld a la India, de mediados de agosto a finales de octubre de 1928, para trabajar en la 4^a edición (inglesa) del *Atombau*. Ver Bechert a Catalán, 15 de mayo y 6 de diciembre de 1928; Archivo Catalán.

El 17 de abril de 1932, Bechert volvía a tocar el tema de Sommerfeld en otra carta a Catalán ³²:

Hoy me decidí finalmente a abandonar a Sommerfeld. Él no sabe nada todavía; claro que no se lo diré antes de que yo tenga otro puesto. Fines del último curso él leyó sobre cuestiones de la ecuación de Dirac, yo le di para este fin una simplificación esencial del cálculo de las matrices Dirac —el cálculo hecho por mí solo— él escribió una nota sobre eso ...

Aquí en Munich mi puesto de asistente se prolonga cada dos años. Termina el 31 de julio de este año. Pero con Sommerfeld no tengo posibilidades de trabajar para mí —ni las vacaciones!— porque Sommerfeld me roba mi tiempo y mis resultados para publicarlos en sus libros.

Como para sustentar su decisión necesitaba otro empleo, Bechert preguntó a Catalán si podía conseguirle un puesto en el Instituto Nacional de Física y Química o en otro sitio: «yo podría venir a España solamente en el caso de que el puesto fuese seguro para unos cuantos años —lo mejor sería para siempre— porque los gastos de un cambio de familia entera de un país a otro son grandes». Como se comprueba a través de cartas existentes entre los papeles de Catalán, éste pudo ofrecerle un puesto por un año, y con 4.000 pesetas de sueldo, pero Bechert no encontró esta oferta satisfactoria y el asunto no pasó de ahí. Finalmente, consiguió a finales de 1933 un puesto de catedrático (*ordentliche professor*) en la Universidad de Giessen, de la que con el tiempo llegaría a ser rector. La relación con Catalán no se interrumpió, aunque no volvió a plasmarse en una colaboración científica directa entre ambos.

El modo en que continuó fue a través de un colaborador de Catalán, un portugués llamado Manuel Telles Antunes, que se había trasladado a Madrid con una beca de la Junta de Educação Nacional de Portugal ³⁴:

³² Archivo Catalán.

³³ Ver Bechert a Catalán, 24 de noviembre de 1933. Archivo Catalán.

³⁴ Antunes había sido presentado a Catalán por Amorium Ferreira, del Laboratorio de Física de la Universidad de Lisboa. Ferreira a Catalán, 24 de diciembre de 1932. Archivo Catalán.

José Manuel Sánchez Ron



Sommerfeld con Karl Bechert en 1928

El 8 de mayo de 1934, y con evidente retraso («pensando en escribirle dándole la enhorabuena y deseándole un éxito brillante se me ha pasado el tiempo»), Catalán felicitaba a Bechert por su nuevo puesto. Aprovechaba la ocasión para presentarle a su nuevo colaborador: «Desde Enero de 1933 tengo de colaborador un profesor de un Liceo de Lisboa. Fue enviado por el Estado portugués con una bolsa de viaje y permanecerá aquí hasta la terminación de este curso. Conoce ya la práctica de análisis de espectros pues ha trabajado en ello intensamente, y también ha medido, pues ha estudiado con precisión el extremo ultravioleta del cobalto. Es aficionado a las cuestiones teóricas, en especial a todo lo que se refiere a la mecánica ondulatoria en relación con los espectros. Se llama Manuel Antunes. Va a publicar un trabajo sobre el extremo ultravioleta del Co, y otro en colaboración conmigo sobre la estructura del Co I [(Catalán 52)] pues ha avanzado mucho más de lo publicado anteriormente por nosotros [(Catalán 29 y 32)]». Para que completase su formación, Catalán pensaba que sería conveniente que estudiase con Bechert en Giessen el curso siguiente, acaso con una beca de la Fundación Rockefeller o con una del Estado portugués ³⁵. El 30 de mayo Bechert escribía a Catalán que estaría encantado de tener a Antunes con él, aunque en lo que se refería a ayudarlo en espectrografía, sólo podría hacerlo en teoría, porque no tenía aparatos en Giessen ³⁶. Lo más interesante podría ser asistir a las clases de mecánica ondulatoria que iba a dar dos o tres horas por semana.

Sin embargo, la esposa de Antunes enfermó y éste tuvo que

³⁵ Sobre otras cuestiones científicas, en esta carta Catalán apuntaba lo siguiente: «Este curso nos hemos dedicado casi exclusivamente a completar el extremo ultravioleta de unos cuantos espectros, pues como V. sabe están muy mal conocidos y además no se sabe cuales son las líneas de arco y las de chispa. Hemos trabajado con el Co, Mn, Cr, Mo y Nb».

³⁶ De hecho esto se ajustaba muy bien a los deseos de Catalán, quien más tarde, el 24 de junio de 1935, al apoyar a su estudiante ante la Junta de Educação portuguesa para que la proporcionase una beca para trasladarse a Alemania, escribía: «Por lo que se refiere a su trabajo del año próximo, sería deseable que profundizase en algunas cuestiones teóricas relacionadas con la estructura atómica. Para ello sería conveniente, a mi juicio, una permanencia con el Prof. Bechert en Giessen, asistente y colaborador hasta hace poco del Prof. Sommerfeld de Munich».

abandonar la idea de viajar a Giessen. El 15 de octubre de 1935 Catalán volvía a dirigirse a Bechert para ver si podría admitir a Antunes, que en aquel momento estaba «haciendo los ejercicios de doctorado en la Universidad de Madrid». De nuevo Bechert estaba dispuesto a recibirle ³⁷. Es interesante, sin embargo, citar el comienzo de la carta de Bechert, ya que muestra la situación, social y política, en que se encontraba Alemania. «La admisión del Sr. Antunes —apuntaba el antiguo colaborador de Catalán sin aparentemente mostrar ningún desagrado por lo que estaba diciendo— en esta universidad depende de que no sea judío».

En cuanto a la situación científico-académica con que se encontraría en Giessen, era la siguiente (también es interesante detenerse en este punto, ya que ayuda a entender la situación de la enseñanza de la física teórica en una universidad de tipo medio alto alemana):

Si Antunes desea asistir a mis clases como huésped, no hay que cumplir con más formalidad [que el que traiga algunos papeles mostrando su educación científica]. Mis clases comienzan el 4 de noviembre. 1) una sobre «electrodinámica» (clásica, Maxwell-Hertz), 3 horas por semana; 2) otra sobre «cuestiones elegidas de la teoría moderna del átomo (1 hora por semana); 3) un seminario (2 horas cada 14 días), también sobre problemas modernos de la física teórica (con mi asistente); 4) mi asistente da una clase sobre «hidrodinámica y elasticidad» (2 horas por semana).

Mi instituto es pequeño, tengo pocos estudiantes; pero hay sitio y ocasión para Antunes para trabajar. La biblioteca es suficiente, bastante completa. Estoy escribiendo, junto con mi asistente, un libro sobre la teoría de los metales. Pero tendré tiempo para atender a Antunes.

Finalmente el científico luso se trasladó a Giessen.

Antunes fue uno de los colaboradores más estrechos que Catalán tuvo antes de la Guerra Civil. Y durante la guerra actuó con frecuencia de intermediario con colegas extranjeros (estadounidenses, principalmente) que se interesaban por la suerte del

³⁷ Bechert a Catalán, 23 de octubre de 1935. Archivo Catalán.

científico español. En cuanto a los trabajos científicos que produjo en colaboración con Catalán, se centraron en el estudio del espectro del cobalto, que también constituyó el tema central de su tesis doctoral ³⁸.

La estructura del espectro del cobalto fue, de hecho, junto al espectro del hierro, uno de los problemas a los que Miguel Catalán prestó mayor atención. Ya mencioné en el capítulo anterior que este tema había sido uno de los que abordó durante su colaboración con Bechert (Catalán 29 y 32), pero también lo hizo en solitario (Catalán 36, 37, 39 y 42). En este último trabajo, la tercera entrega de su «Estudios sobre series espectrales», publicado en la *Revista de la Academia de Ciencias*, Catalán explicaba que hasta entonces (1930) había clasificado cerca de dos mil líneas. Había avanzado con respecto a sus resultados con Bechert (que —apuntaba— habían sido obtenidos simultáneamente por Walters), pero que el espectro todavía estaba lejos de estar completo. También mencionaba a otros investigadores que se ocupaban del tema, y entre los que aparece, de nuevo, Russell, así como a William Meggers.

Bastante más completo y detallado es el artículo que publicó con Antunes, «Líneas extrañas al Co I, en el espectro de arco del cobalto» (Catalán 52) ³⁹. Con relación a las placas que utilizaron, es interesante señalar que emplearon espectrogramas obtenidos en diferentes épocas y lugares. Tres placas (que se extendían desde 3850 hasta 7000 angstroms) habían sido hechas en Londres en 1908, con prisma de vidrio y cedidas por Fowler; asimismo, poseían una extensa colección obtenida, con una red cóncava de diez pies de radio, por Catalán en 1927, también en el laboratorio de Fowler y que cubrían el rango de 2400 a 5500 angstroms, en primer orden, y 3300 a 5300, en segundo orden (aquí tenemos, por cierto, una muestra de lo necesario que era para el laboratorio

³⁸ En uno de los artículos que publicaron juntos (Catalán 55), se lee «El presente trabajo, junto con los ya publicados en estos *Anales* 33, 319 y 391 (1935) fue presentado por uno de nosotros (Antunes) como Tesis Doctoral en la Universidad de Madrid».

³⁹ Con «Co I» se designa el cobalto neutro, mientras que «Co II» es el ionizado una vez.

de Catalán en Madrid el disponer de una buena red de difracción). Pero este material resultaba insuficiente y por ello habían tenido que fotografiar otras regiones, empleando un espectrógrafo Hilger, intercambiable.

En cuanto a la investigación en sí, se resume con claridad en el artículo, y conviene citar este resumen ya que ilustra también algunos de los procedimientos de trabajo que empleaba el científico aragonés (Catalán 52, p. 392):

1) Fue elaborada una tabla de todas las líneas que citan los medidores del espectro, sin pretender saber, por el momento, por qué razón una línea dada es mencionada por uno y no es citada por los demás [investigadores que se han ocupado del cobalto].

2) Después de tentativas variadas de clasificación, al experimentar la necesidad de conocer más profundamente el espectro del Co I, fue fotografiado el espectro y obtenidas las respectivas ampliaciones.

3) En estas placas y ampliaciones fueron observadas las líneas una por una; en ciertas regiones sólo en prisma, en otras en red y en prisma y raras veces sólo en red; se pretendió con esto ver si se obtienen todas las líneas mencionadas por los medidores y, en el caso de la que estaban presentes, observar cómo salían, compararlas con las líneas restantes de la misma placa y ver si tenían aspecto análogo en dos placas distintas.

4) Se complementaron las observaciones anteriores con la consulta de las tablas de líneas clasificadas de muy distintos elementos.

5) El resultado de estas comparaciones fue el de poder separar la tabla primitiva en las dos tablas que quedan mencionadas. Cuando resulta dudoso si una línea es o no del Co I, se la hace figurar en ambas tablas.

Catalán y Antunes observaron que los resultados que obtenían incidían sobre el aspecto de los niveles energéticos, «antes —señalaban— los niveles presentaban una gran falta de simetría en cuanto a los cuantos internos de los niveles con que se combinaban, y ahora presentan simetría» (nos encontramos aquí, de nuevo, con una muestra de cómo Catalán trataba de relacionar sus resultados experimentales con la teoría de los números cuánticos).

ticos internos de Sommerfeld), y prometían un nuevo trabajo a publicar, «en breve», en los *Anales*. Tal trabajo, sin embargo, nunca sería publicado ⁴⁰. Tal vez se demoró lo suficiente (el artículo que estoy mencionando está firmado en mayo de 1935) como para que la Guerra Civil hiciese imposible su publicación.

Centrándonos ahora en Antunes, es interesante detenerse un momento con la educación que recibió en Madrid, pues muestra otra faceta de nuestro personaje. En un informe sin fecha que preparó para el Presidente de la Junta de Educação Nacional, Ministerio da Instrução Pública, Lisboa, Catalán señalaba acerca de Antunes:

Por su buena preparación y capacidad pudo hacer su labor eficaz desde los primeros días de su estancia aquí. Se adiestró primeramente en el manejo de los aparatos espectrales, realizando experiencias con aparatos de prismas y redes fotográficamente. Manejó diversos tipos de placas. Durante ese tiempo la parte teórica fue también completada para llegar al manejo preciso de los instrumentos.

Más tarde comenzó a estudiar prácticamente las series espectrales; para ello aprendió el efecto magnético Zeeman y las configuraciones electrónicas, especialmente en el espectro del manganeso.

Después ha comenzado el estudio crítico de los resultados que se habían alcanzado en la estructura del espectro del Cobalto llegando a obtener resultados nuevos muy interesantes que van a ser publicados en la Sociedad Española de Física y Química.

El primer año de su estancia en Madrid lo dedicó Antunes a completar su formación espectroscópica, ya comenzada en Lisboa

⁴⁰ A continuación de la cita anterior, se señalaba que «un elevado porcentaje [de los niveles energéticos] eran dudosos (no se sabía si correspondían a una realidad física o eran producto de coincidencias numéricas) y ahora apenas tenemos niveles dudosos. Muchos de ellos parecía que iban a desdoblarse cada uno en dos niveles próximos y ahora ya no se verifica esto. Por último, el descubrimiento de aquella tendencia para combinaciones simétricas en cuanto al número cuántico interno permitió encontrar, con relativa facilidad, un buen número de nuevos niveles energéticos».

bajo la dirección de Amorim Ferreira. Los dos restantes los ocupó en realizar su tesis doctoral, que Catalán apadrinó y a la que ya me referí.

Como becario del Estado luso, Antunes tenía la obligación de enviar informes periódicos a la Junta de Educação Nacional. Copias de algunos de estos informes se encuentran entre los papeles de Catalán. En alguna ocasión Antunes realizó algún comentario que arroja luz sobre distintos aspectos de la física madrileña. Por ejemplo, en el informe correspondiente al segundo semestre de 1933 y después de referirse a los trabajos espectroscópicos que realizaba, «por indicación del Profesor Catalán», mencionaba que «para estudiar la teoría ondulatoria comencé a leer el libro *Wave mechanics*, escrito por J. Frenkel. En opinión del Prof. Blas Cabrera es éste el primer libro que se debe leer sobre este asunto». También se refería a «las lecciones dadas por el Profesor francés Brillouin en la Universidad Central sobre la teoría del gas electrónico, la conductividad eléctrica de los cristales y los metales y cómo se ve la cuestión a la luz de la mecánica ondulatoria»⁴¹.

Otro de estos detalles procede de Amorim Ferreira, el profesor que había presentado Antunes a Catalán. El 20 de mayo de 1936, Ferreira pedía a Miguel que le informase acerca del procedimiento de concesión del título de doctor en España, ya que debía presentar un informe en su Facultad. En su contestación Catalán señalaba⁴²:

Una vez aprobadas las asignaturas que constituyen el periodo del Doctorado puede el graduando entregar su tesis por medio de un Padrino, que es un catedrático de Universidad, el cual presenta dicha tesis a la Facultad para que se le nombre tribunal de 5 miembros. El trabajo ha de ser de investigación y en las Ciencias Físicas y Químicas ha de ser experimental. Antes se requería que fuera *inédito* pero la costumbre ha

⁴¹ Manuel Telles Antunes, «Relatório de trabalho efectuado na Secção de Espectroscopia do Instituto Nacional de Física y Química de Madrid sob a direcção de professor Sr. D. Miguel A. Catalán. Segundo semestre de 1933», 31 de diciembre de 1933.

⁴² Borrador sin fecha.

hecho que una gran parte del trabajo esté en la mayoría de los casos ya publicada, pues en general los tramites de las tesis son demasiado lentos y es peligroso el retrasar la publicación. De modo que lo que ocurre casi siempre es que el trabajo en forma de tesis representa un conjunto armónico de publicaciones fragmentarias ya hechas.

Tampoco eran admitidos antiguamente los *trabajos en colaboración*, pero este sí que era un punto aún más difícil, de tal modo que ahora las publicaciones fragmentarias son en colaboración con el Prof. que ha dirigido el trabajo y luego la tesis aparece solo con el nombre del candidato a Doctor.

En el juicio de la tesis el Padrino expone a sus compañeros de tribunal los resultados y detalles del trabajo y después en un acto público, si el tribunal lo cree necesario pide éste aclaraciones al graduando. También puede pedirle al graduando informes o someterle a pruebas que demuestren que el trabajo ha sido realizado por él.

5.8. OTRAS RELACIONES CIENTÍFICAS

Aunque ya nos hemos encontrado con pruebas del espíritu cosmopolita de Miguel Catalán, conviene recalcar, de manera explícita, que su mundo científico no se limitó en absoluto al centrado en Alemania, o, menos todavía, al basado en Inglaterra. De hecho, pronto comenzó sus relaciones con científicos estadounidenses. Probablemente fue con William F. Meggers, del National Bureau of Standards, con quien más pronto intimó, en una relación personal y profesional que se mantendría a lo largo de toda la vida de Miguel (de hecho, su última publicación, aparecida cuando ya había fallecido, está firmada conjuntamente por Catalán, Meggers y Olga García Riquelme) ⁴³.

El que Catalán llegase a formar parte del "círculo de relaciones" de Meggers fue un hecho afortunado, ya que éste fue una figura importante dentro de la espectroscopía internacional, especialmente de la estadounidense. Veamos algunos datos de su carrera.

⁴³ Catalán (87).

Meggers entró, como ayudante, en el National Bureau of Standards (NBS) en 1914. Comenzó entonces, en la sección de espectroscopia del Bureau, a medir longitudes de onda de la luz y a aplicar estos datos a la comprensión de los espectros de los elementos químicos, una tarea en la que se vio inspirado por el trabajo clásico de Bohr «On the constitution of atoms and molecules». En 1919 pasó a dirigir la sección de espectroscopia, un puesto que mantuvo hasta su jubilación en 1958. La gran cantidad y calidad de datos obtenidos por Meggers y sus colaboradores durante más de tres décadas, llevó a que sus medidas espectroscópicas ganasen reputación internacional. Del análisis en principio rutinario de las miles de muestras de materiales que llegaban para ser analizadas al laboratorio de espectroscopía del NBS surgieron nuevos métodos de análisis, algunos de ellos sensibles a cantidades de impurezas tan pequeñas que habían escapado hasta entonces a la detección mediante procedimientos químicos. Y no solo fue en el ámbito de la, digamos, “espectroscopia terrestre” en donde se distinguieron los espectroscopistas del NBS, también llevaron a cabo una labor importante (comenzada en 1917) en el campo de la fotografía de espectros solares para determinar su composición, sin olvidar que los resultados obtenidos dentro del laboratorio eran, por supuesto, de una gran utilidad para la astrofísica. De hecho, entre las publicaciones de Meggers nos encontramos con algunas en colaboración con astrofísicos; por ejemplo con H. N. Russell sobre el espectro del vanadio (Meggers y Russell 1936). El que existiese esta colaboración, en concreto, es algo que puede ayudar a entender mejor las relaciones que Catalán mantuvo con ambos, Meggers y Russell, a partir de los años treinta, relaciones que comentaré en su momento.

Al hablar de Meggers hay, no obstante, que hacer especial hincapié en el centro en el que trabajaba: el National Bureau of Standards, el laboratorio nacional para las ciencias y tecnologías físico-químicas de Estados Unidos ⁴⁴. Esta institución, fundada en 1901 siguiendo el modelo del Physikalisch-Technische Reichsanstalt (Instituto Imperial de Física y Tecnología) alemán ⁴⁵, era un

⁴⁴ Sobre el NBS, ver Cochrane (1966).

⁴⁵ Cahan (1989), Sánchez Ron (1991 c, pp. 38-43).



Vista aérea del National Bureau of Standards, Washington D.C. (el edificio de cuatro alturas en la parte inferior central era el dedicado a espectroscopia)

centro de investigación de primera línea, especialmente adecuado y dotado, además, para el tipo de trabajos que requería la espectroscopia. Como veremos más adelante, Catalán también se benefició de sus facilidades tras la Guerra Civil.

Pasando ahora al inicio de las relaciones entre Meggers y nuestro protagonista, diré que no sé cuando entraron en contacto por primera vez, pero ciertamente no fue, como algún autor ha señalado, después de 1926 ⁴⁶, ya que entre los papeles de Catalán se conserva una carta (del 26 de febrero de 1927) que le envió Meggers, en la que éste señala que el 18 de diciembre de 1926 le había mandado «una lista de líneas de chispa del cobalto que he observado ... y le pedía si podría decirme cuales eran sus combinaciones de términos» ⁴⁷. Recordemos que, como hemos visto, Catalán ya había publicado en 1925 con Bechert artículos sobre la espectrografía del cobalto.

En esta carta se aprecia también cómo se iba extendiendo el círculo de las conexiones internacionales de Catalán: el «Dr. Shenstone de Princeton —indicaba Meggers— está realizando un buen progreso con el análisis del espectro de chispa del níquel y el Co^+ es el único espectro importante de los elementos del 4º período del que no disponemos de un amplio análisis. Tan pronto como esté dispuesto, nuestro National Research Council comenzará la publicación de una monografía de las estructuras espectrales de estos elementos. Por este motivo, estamos deseando saber si Vd. ha hecho algo con el espectro del Co II , y confío en que comprenderá nuestra ansiedad por completar este período, de manera que se pueda dedicar más atención a los siguientes».

⁴⁶ En su libro sobre Catalán, Rafael Velasco (1977, p. 35) comete el error de situar la época en que se conocieron Catalán y Meggers en los años posteriores a la guerra civil española.

⁴⁷ En este punto, Meggers señalaba: «No habiendo recibido contestación, y siendo reacio a enviar mis observaciones a la imprenta sin una interpretación, esta semana he vuelto a medir el espectro de la emisión de chispa del cobalto e identificando el término de baja energía del cobalto ionizado. Le envío una copia de los tres multipletes principales. Estos son suficientes para mis propósitos inmediatos, pero me veré tentado a extender el análisis a menos de que Vd. esté trabajando con este espectro, en cuyo caso consideraré una pérdida de tiempo y esfuerzo el duplicar su trabajo».

Como veremos más adelante, Shenstone también entraría a formar parte de las relaciones científicas de Miguel.

Si Meggers y Catalán no se conocieron personalmente entonces, lo hicieron desde luego en 1928, como se puede comprobar en una carta que aquel envió a éste el 8 de septiembre desde Washington⁴⁸. En este documento Meggers se lamentaba de haber tenido que tomar un tren anterior al que inicialmente había dicho a Catalán, cuando abandonó Munich en julio, ya que ello le había privado de despedirse de él. De la capital bávara, Meggers se había trasladado a Leiden, para asistir a una reunión de la International Astronomical Union. «El profesor Fowler actuó de presidente de la Comisión de longitudes de onda patrones y tablas de espectros solares —informaba el físico estadounidense al español—; me honró nombrándome Secretario. En dos horas revisamos el sistema internacional de patrones [*standards*] secundarios, adoptamos nuevos patrones para el espectro solar y sugerimos que se podría mejorar más los patrones secundarios y extenderlos más lejos y especialmente a ondas cortas»⁴⁹. En Munich, Catalán también había hablado a Meggers acerca del proyecto de un nuevo instituto de investigación para física y química en Madrid, y éste le deseaba éxito, enviándole además algunas fotografías de sus soportes de redes.

5.9. PROYECTO DE UN LIBRO SOBRE MULTIPLETES

En 1931, esto es, dentro de la época que estamos considerando en este capítulo (finales de los años 20 hasta comienzo de la Guerra Civil), Catalán pensó escribir un libro sobre multipletes. En efecto, el 31 de julio de aquel año escribía a Bechert en los términos siguientes⁵⁰:

⁴⁸ Archivo Catalán.

⁴⁹ Meggers presidió la Comisión de la IAU encargada de recomendar patrones de medida internacionales durante una década. Otra aportación suya importante a la comunidad internacional de espectroscopistas fue su *Index to the literature of spectrochemical analysis, 1920-37*. (Meggers y Scribner 1939).

⁵⁰ Archivo Catalán.

José Manuel Sánchez Ron



W. Meggers en Munich, 30 de junio de 1928



A. Fowler tras W. Meggers y la madre de éste
(Haarlem, 8 de julio de 1928)

Este verano tengo mucho trabajo pues estoy montando las instalaciones de este magnífico Instituto (Rockefeller). Precisamente referente al asunto de la estructura fina que me interesa mucho quiero que aquí se trabaje y estamos montando el gran imán para el efecto Zeeman ...

Por otra parte tengo muy adelantado un Report muy extenso con todos los datos numéricos referentes a todos los espectros de todos los elementos en sus distintos grados de ionización. Los detalles se refieren a los términos, configuraciones, líneas clasificadas y efecto Zeeman. Todo ello con la notación nueva acordada. Vendrá a ser el libro de Fowler pero después de conocerse los multipletes. Mi duda es donde hacer la publicación. Quizás una casa editorial alemana como Friedr. Vieweg u otra análoga. Me agradaría me aconsejase en este punto. Aquí lo quieren publicar, pero tiene el inconveniente de que el español es menos conocido y como ha de ser un libro de utilidad práctica pues le restringiría su uso.

Le agradeceré que cualquier gestión que haga en este punto sea muy reservada (naturalmente hago la excepción al Prof. Sommerfeld) pues es peligroso que otro lo sepa y pueda adelantárseme.

En lo que al contenido de este *Report* se refiere, tenemos que entre sus papeles ha sobrevivido un «Plan para un libro sobre los multipletes», que nos da alguna información acerca de las ideas de Miguel. «El libro —escribía ahí— podía ser inspirado y en cierto modo continuación del de Fowler (*Report on series in line spectra*). Podría llamarse *Multiplets in spectra*. (*Report on multiplets in line spectra*). En principio su idea fue dividirlo en dos partes, «General account of multiplets» y «Tables of multiplets», pero cambió de opinión y a mano anotó luego un tercer capítulo, «Tablas de líneas y términos homólogos». Aparentemente, todavía varió una vez más de opinión, ya que al final del documento se lee (también anotado a mano): «1- Tabla de términos (con Zeeman). 2- Líneas clasificadas (las más importantes). 3- Términos y configuraciones. 4. Defectos cuánticos».

Catalán tenía claro que la «primera parte serviría de introducción y contendría los elementos de la teoría necesarios al investigador experimental», pero a partir de ahí ya había muchas más posibilidades. «Ante la imposibilidad de dar completos los

resultados para cada elemento habría que buscar alguna disposición. Podría, por ejemplo, dar completos siempre los términos con notación de acuerdo a las normas generales. La tabla de líneas clasificadas no podría ser completa más que en los espectros de pocas líneas, en los otros sería mejor una tabla incompleta. En cambio se podría dar una tabla de las combinaciones existentes en cada espectro. Así cada cual podría calcular con los términos las líneas que quisiera. Pero como muchos espectroscopistas necesitan las líneas más intensas, hay que pensar un modo de representar estas líneas en poco espacio». Era consciente de que «la tabla de configuraciones y términos y la de los defectos cuánticos no podrán faltar. Esta última para conocer la marcha de las series». Por el contrario, no estaba seguro de que hubiese que incluir la estructura fina, la influencia cuantitativa de la presión, o las determinaciones absolutas de intensidad.

Como pretendía escribir un libro que continuase el de Fowler, estimaba «inoportuno el repetir los datos que allí se encuentran cuando no han sufrido variaciones sensibles. Así pues los elementos que como el hidrógeno no hayan sido de nuevo investigados no hay por que volverlos a poner».

Pero volvamos a los intercambios de Catalán con Bechert acerca de su libro. El 27 de septiembre éste le contestaba sugiriendo en primer lugar la editorial Hirzel, que ya había publicado la enciclopedia de espectroscopia de Kaiser. Asimismo se refería a la Akademische Verlagsgesellschaft de Leipzig, que publicaba el *Handbuch* de Física experimental de Wien-Harmo, a Springer de Berlín, que patrocinaba el *Handbuch* de Física de Geiger-Scheel, y a Vieweg, de Braunschweig. También indicaba que «hablé con Sommerfeld —le dije que no hay que hablar sobre su "Report"— él le aconseja a Vd. la casa Hirzel. Supongo que Vd. sabe que los americanos tienen la misma intención (edición de un "Report") ya hace unos años y por eso hay que correr».

Parece que Miguel aceptó esta sugerencia y que pretendía publicar su libro en esa editorial, con Bechert de traductor, ya que el 28 de enero de 1932 éste comunicaba al científico español: «Escribí a la casa Hirzel; pero hasta ahora no tengo contestación. Sommerfeld le escribirá unas líneas de recomendación para su

libro, cuando esté terminado. Acepto el encargo de traducir los capítulos de texto de su libro, bajo sus condiciones».

Pronto llegaron las respuestas de algunas editoriales con las que había contactado Bechert⁵¹. A Scheel le gustaría editarlo, pero las «tablas no lo permiten. Las reclamaciones de los subscriptores, las quejas tan grandes sobre la extensión tan grande que ya tiene el *Zeitschrift für Physik*, me fuerzan a reducir el *Zeitschrift* cuando sea posible. Muchos de los subscriptores ruegan que las tablas que ya hayan aparecido en otro lugar, aunque sea en publicaciones extranjeras, no se publiquen en el *Zeitschrift*». Tal vez si Catalán preparase «un extracto resumido de las tablas» —sugería Scheel— podría aceptar «trabajo tan importante».

La contestación de Hirzel tampoco era favorable. A pesar de que el nombre de Catalán no le era desconocido y de la recomendación de Sommerfeld, Hirzel señalaba que «el exceso de la literatura ya aparecida me hace suponer que se tratará de una especie de *Neubearbeitung* (refundición) del tema de los libros de Fowler, Hicks, Paschen-Goetze.»⁵² Y en este punto reconocía francamente «que en este campo, momentáneamente, mi mayor interés consiste en que el *Handbuch der Spektroskopie* [de Kayser] continúe, para lo cual se ha preparado hace poco un nuevo plan que seguimos con la mayor intensidad y con la ayuda de un mayor número de colaboradores. Tenemos la intención de hacer de este libro un compendio de la espectroscopia tan completo como sea posible». Por último, señalaba que le parecía «muy dudoso si existirá bastante interés, aparte del *Handbuch* y de la *Neubearbeitung* tan excelente que es el libro de Sommerfeld, para el libro preparado por Vd., considerando las dificultades que hay actualmente en el mercado internacional. La situación actual me parece tan poco favorable para este libro que me atrevo a proponerles que pospongan un poco este proyecto, al menos por el momento. El mercado extranjero que menciona Vd. [esto es, Bechert] está momentáneamente bastante mal, parcialmente debido [¿a las bajas ventas?] en Inglaterra y en los países escandi-

⁵¹ Bechert a Catalán, 14 de febrero de 1932, Archivo Catalán.

⁵² Se debe referir a Fowler (1922), Hicks (1910-1919) y Paschen y Götze (1922).

navos, y sobre todo en Japón, un país tan importante para la venta de libros científicos»⁵³.

Hasta octubre no hubo ninguna novedad, pero el día 11 Bechert escribía a Catalán una carta en la que le informaba de que Sommerfeld había realizado algunas gestiones con el editor de los *Annalen der Physik*, Meitner. Este aceptaría publicar el libro, pero sólo si Catalán le enviaba el manuscrito de tal manera (tablas mecanografiadas, figuras dibujadas claramente, etc.) que pudiese ser reproducido en gran parte fotográficamente. De todas maneras, Meitner no tomaría una decisión final antes de haber visto el manuscrito⁵⁴.

Pero Catalán terminó por abandonar el proyecto. En una carta que escribió a Bechert el 20 de mayo de 1933 explicaba el porqué, además de referirse a la situación en que se encontraba el nuevo Instituto de Física y Química⁵⁵:

Nuestro Instituto está lleno completamente de modo que no hay sitio para nadie más; parece mentira que en tan poco tiempo como llevamos funcionando se haya ya llenado, pero esa es la realidad. Tanto que estamos pensando en que si hubiera dinero tendríamos que ampliar. Pero por el momento no hay dinero para nadie.

Hemos tenido muchas peticiones de extranjeros para venir aquí pero el gobierno español solo admite alumnos, no profesores ...

Yo renuncié a publicar mi libro sobre los multipletes porque había dificultades materiales y sobre todo cuando vi aparecer el libro de los Niveles de Goudsmit y también vi que el Kayser y Konen iba a tener la clasificación. Como para mí lo importante no era el autor sino el texto, me conformo con lo que publiquen los demás.

⁵³ En esta carta, Bechert proponía otras posibilidades, entre ellas las de publicar el libro —en alemán— con una editorial española.

⁵⁴ Sommerfeld también señalaba que el «profesor Hagenbach, el viejo espectroscopista, cree que la edición de su libro sería algo muy útil, que la venta probablemente no sería excesiva, pero que todos los espectroscopistas lo comprarían».

⁵⁵ Archivo Catalán.

Aquí trabajamos intensamente pues yo no tengo ya el Instituto Escuela y estoy todo el día en el laboratorio. Tenemos resultados Raman de alcoholes y ácidos orgánicos. Hemos analizado los espectros del molibdeno, arco y chispa, y hemos proseguido con el del cobalto arco. He revisado el manganeso arco con muchos nuevos términos.

Es interesante señalar, sin embargo, que la preparación de este libro sobre multipletes ocupó a Catalán bastante de su tiempo. Así lo señalaba a su viejo maestro, Fowler, en una carta que le escribió el 30 de abril de 1932: «El último año me ha sido imposible realizar ningún trabajo experimental. He estado ocupado en preparar un informe que puede ser la “segunda parte” de su excelente informe sobre Las líneas espectrales de 1922»⁵⁶. Y añadía: «Desgraciadamente mi salud este invierno no ha sido muy buena y el trabajo no está todavía terminado».

5.10. LA CÁTEDRA CONDE DE CARTAGENA

En 1932 la carrera de Catalán experimentó un cambio importante al recibir una cátedra controlada por la Real Academia de Ciencias. Veamos en primer lugar en qué consistía esa cátedra.

El 13 de agosto de 1932 la *Gaceta de Madrid* publicaba un decreto del 6 de agosto, por el cual se clasificaban como «beneficio docente, de carácter particular, las importantísimas Fundaciones instituidas en las Academias Española, de Bellas Artes de San Fernando, de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, y de Medicina, por el Excmo. Sr. D. Aníbal Morillo y Pérez, denominadas *Fundación del Conde de Cartagena*; habiendo señalado tan ilustre patricio, como fin de su obra la creación de Cátedras, premios y becas para investigaciones de orden natural, así en España como en el extranjero». Para cumplir con estos fines, la Academia de Ciencias decidió establecer tres cátedras de «elevada investigación científica», correspondientes a las tres secciones en las que estaba organizada la propia corporación. Dichas cátedras se denominarían: de «Topología», de «Espectrografía y estructura del átomo»

⁵⁶ Archivo Catalán.

y de «Genética», y debían ser desempeñadas por, respectivamente, Tomás Rodríguez Bachiller, Miguel Catalán y Antonio de Zulueta. Se instituían por un plazo de cinco años, prorrogable, aunque la Academia las podía rescindir en cualquier momento, «por motivos fundados».

Para facilitar el que pudiesen acceder a estas cátedras profesores de los escalafones del Estado, el Ministerio de Instrucción Pública resolvió (el 1 de diciembre de 1932) que «todos los Catedráticos, Profesores y Ayudantes dependientes de Instrucción Pública y Bellas Artes, que sean al mismo tiempo o fueren nombrados en lo sucesivo, Profesores, pensionados y becarios de las Fundaciones Cartagena, en España o en el Extranjero, podrán ser declarados, a su instancia, excedentes de sus cargos en el profesorado oficial por un plazo máximo de cinco cursos académicos y mínimo de uno, dejando de percibir el sueldo y demás emolumentos legales, como funcionarios del Estado, desde que hagan la oportuna notificación, aunque conservando siempre su número y puesto en el escalafón oficial y su misma Cátedra, a la cual se reintegrarán en cuanto lo soliciten, transcurridos dichos términos». A pesar de que se hablaba de «un periodo máximo de cinco años», era posible prorrogar el permiso, siempre que lo propusiese la Corporación Patrona y a juicio del Consejo Nacional de Cultura y del Patronato Central de Fundaciones benéfico-docentes.

Antes de que el Ministerio adoptase estas decisiones, Catalán ya había tomado posesión de la cátedra. Ahora podía aumentar su labor investigadora, al verse libre de sus obligaciones docentes en el Instituto-Escuela, del que consiguió una excedencia temporal. No obstante, no dejó de enseñar, aunque ahora en la Universidad Central. En efecto, durante el año académico 1932-1933 desarrolló un curso relacionado con su especialidad. En un documento conservado entre sus papeles se explica el contenido de sus enseñanzas:

El curso comenzará por dos o tres conferencias preparatorias sobre los espectros en general y unas nociones de la estructura molecular y atómica. La preparación de los alumnos servirá de gradación para la altura que han de tener las restantes conferencias.

A continuación se hará un estudio detallado del estado actual de la interpretación molecular por el método del espectro Raman. Este estudio comprenderá principalmente los siguientes puntos:

Historia y desarrollo del efecto Raman.

Diversas técnicas empleadas según el estado físico de los cuerpos a que se aplica. Aparatos espectrales. Fuentes luminosas, filtros y placas empleadas.

Propiedades generales de la radiación Raman. Anchura, fondo continuo. Incoherencia. Independencia del desplazamiento Raman de la radiación excitante. Relaciones de intensidad y polarización de las líneas Raman.

Dependencia del efecto Raman de las fuerzas moleculares: estados de agregación, temperatura, mezclas, cristales, disoluciones.

El efecto Raman en las moléculas o en los grupos biatómicos, triatómicos, etc.

Estudio de algunos problemas especiales: enlaces sencillos y dobles entre carbonos, isomerías cis y trans, sustancias ópticamente activas, moléculas mixtas, disociación electrolítica.

Las clases de este curso comenzaron el 7 de noviembre. Así lo señalaba el día siguiente en una carta que envió a José de Madariaga, secretario perpetuo de la Academia:

Mi distinguido amigo: Siguiendo la indicación que Vd. me hizo al hacer la firma del contrato de que comenzara cuanto antes las clases experimentales tengo el gusto de participarle para que lo comunique a la Academia que estas han comenzado ayer lunes 7 de noviembre.

En esta carta Catalán también informaba a Madariaga de las investigaciones que colaboradores suyos habían comenzado a realizar al abrigo de la Cátedra: «La Srta. Pilar Madariaga se ocupa de intentar la valoración de pequeñas cantidades de mercurio en el aire de nuestras minas de Almadén y en los gases de las chimeneas de los hornos de aquellas fábricas. El método espectroscópico presentará quizás una mayor sensibilidad y rapidez que los métodos actuales. La Srta. Rosa Bernis intenta el obtener los espectros de los metales en sus grados de ionización más elevados. Con ello podrá ser determinada la forma en que se

Del Laboratorio de Investigaciones Físicas al Instituto...



Trabajando en Madrid

produce la ionización en esos elementos. Para conseguirlo tiene que vencer algunas dificultades en la técnica por tratarse de la región para la que el aire es totalmente opaco y por que hay que provocar las descargas en condiciones extraordinarias en tubos cerrados. Yo por mi parte dedicaré mi actividad al conocimiento de la estructura del espectro del molibdeno que se conoce muy poco y tiene interés desde el punto de vista teórico».

La Cátedra Conde de Cartagena se ocupaba, efectivamente, de ayudar al desarrollo de las investigaciones no sólo del científico que detentaba la cátedra, sino también del grupo de éste. Esto se ve, por ejemplo, en otra carta que Miguel envió a Madariaga algunos meses después, el 19 de mayo de 1933⁵⁷. Tras darle noticias de que los trabajos en curso («además del trabajo sobre el manganeso ... están muy avanzados otros: Sobre el espectro del cobalto en colaboración con el prof. portugués Sr. Antunes; sobre el espectro del molibdeno en colaboración con la Srta. Pilar Madariaga [(Catalán 46 y 47)]. También daremos cuenta muy pronto de un estudio sobre el efecto de la temperatura sobre la dispersión del cinamato de etilo, trabajo realizado en colaboración con la Srta. Dorotea Barnés y asimismo otro con el Sr. Casaseca sobre nuevas líneas en el espectro de arco y de chispa del manganeso»), pedía al secretario perpetuo de la corporación que «comunicará a la Academia estos resultados y a la vez que solicitara un crédito de 2.700 pesetas para pagar el considerable número de placas y papeles fotográficos que estamos empleando». También requería que concediera una beca para el próximo año a Pilar Madariaga, «que había trabajado con rendimiento todo el curso».

El curso siguiente, 1933-1934, Miguel volvió a dictar un curso (aunque a partir de marzo de 1934), destinado a los alumnos de los últimos años de las licenciaturas de físicas y químicas, menos especializado que el del año anterior. Su propósito era «hacer una revisión de los conceptos fundamentales de la física atómica,

⁵⁷ También en otros documentos, como, por ejemplo, una carta del tesorero de la Academia, Enrique Hauser, a Catalán, fechada el 15 de febrero de 1934; Archivo Catalán.

en especial de las relaciones entre la materia y la radiación»⁵⁸. Para ello comenzaría el curso explicando la situación de la física al comienzo del siglo XX, «momento en el que esta ciencia, como las demás, empieza a sufrir los ataques del escepticismo que en pocos años habrán de transformarla». A continuación se expondrían las nuevas concepciones relativistas del tiempo y del espacio, «haciendo notar que ellas han demostrado que el modo de interpretar hasta entonces la naturaleza estaba impregnado de un personalismo del observador, de un subjetivismo, que se hacía necesario rechazar para que libre ya de él apareciera detrás un mundo objetivo en el que cabían todos los hechos naturales conocidos y que sólo tenía el inconveniente de que por sernos poco familiar nos era incomodo pues estaba en contradicción con nuestros hábitos mentales». Sin embargo, este paso tan doloroso no era, hacía notar Catalán, el único: «se tuvo que experimentar otra enorme pérdida con la aparición de la teoría cuantista de la radiación». Esta teoría era el objetivo de las siguientes lecciones. «Se explicará pues a continuación los principios de la mecánica ondulatoria, estudiando con detalle las propiedades de las ondas y de los paquetes de ondas; se considerará la velocidad de onda y de grupo. Se enfrentarán la partícula y la onda. La difracción servirá para hacer ver las cualidades estructurales de la materia y de la radiación. Serán considerados sus elementos, electrones, protones, átomos y fotones obteniéndose sus relaciones del estudio de los espectros complejos emitidos por los elementos químicos. Para este objeto se rechazarán, de acuerdo con Heisenberg, las cantidades inobservables tales como el éter o el tiempo y el espacio absoluto y se aceptan los observables tales como la radiación espectral o el espacio y el tiempo individual, sobre los que se fundará todo el proceso». Como colofón se discutiría el principio de indeterminación y sus consecuencias.

Casi al mismo tiempo que informaba a la Academia de Ciencias de las actividades docentes que llevaba a cabo en el marco de la Cátedra, nuestro científico daba cuenta de «los trabajos que se han realizado en la Cátedra de Cartagena en lo

⁵⁸ M. A. Catalán, «Programa del curso 1933-34. Cátedra de Espectroscopia y estructura de átomos y moléculas, 7 de marzo de 1934», Archivo Catalán.

que va de curso y los que se hallan en vía de realización para el próximo trimestre»³⁹. Además de él, habían participado en los trabajos: «R. E. Gaviola, profesor de Física de la Universidad de Buenos Aires, M. Antunes, profesor de Física del Liceo de Lisboa, F. Poggio, catedrático del Instituto-Escuela de Madrid, F. de Zulueta, estudiante de Medicina, María Paz García del Valle, licenciada en Ciencias Químicas y Rosa Bernis, licenciada en Ciencias Físicas». En lo que se refiere a los trabajos ya realizados, con Gaviola, Catalán había colaborado en el estudio de los espectros del Cr I y Cr II en la zona extrema ultravioleta: «Con un espectrógrafo Littrow de prisma de cuarzo (Hilger intercambiable) —escribía— se ha fotografiado el espectro de arco y de chispa. Se han encontrado muchas líneas nuevas. Se han medido la totalidad de las líneas con los nuevos patrones del hierro y del cobre de Burns. Por las diferencias de intensidad se han separado las líneas del Cr I de las del Cr II. La mayor parte de las líneas han podido ser clasificadas en los términos espectrales ya conocidos y también se han determinado algunos nuevos». Por su parte, Antunes se había dedicado al estudio de los espectros del Co I y Co II en el extremo ultravioleta, fotografiando los espectros de chispa y de arco empleando un espectrógrafo de cuarzo. También había colaborado con Poggio, estudiando la acción del campo magnético sobre el espectro del wolframio [(Catalán 49)] y deduciendo los factores magnéticos de un gran número de términos en su espectro de arco [(Catalán 51)]. En particular, se habían «rectificado las medidas de Beining, habiéndose encontrado en ellas una causa de error sistemático que corregidas de él resultan aprovechables las medidas de su autor».

En los «Trabajos en curso», Catalán solamente mencionaba dos: el que desarrollaba junto a Antunes sobre la estructura del espectro del Co I, al que ya me referí con anterioridad, y el que él realizaba sobre el espectro del manganeso.

³⁹ Catalán a José María Torroja, secretario de la Academia de Ciencias, 1 de marzo de 1934; Archivo Catalán.

5.11. CATEDRÁTICO DE UNIVERSIDAD

No agotó Catalán los cinco años que le ofrecía la cátedra del conde de Cartagena, ya que, como escribía en una, ya mencionada, carta del 8 de mayo de 1934 a Bechert, en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid (sección de Químicas) «han creado una cátedra de Estructura atómico molecular y Espectroscopia. Tengo que hacer unos ejercicios contra otros tres oponentes para lograrla pero creo que lo conseguiré. Es posible que para el próximo mes pueda anunciarle que ya soy profesor de la Universidad de Madrid». Es obvio que la cátedra estaba pensada para él.

Disponemos de la memoria, «Concepto, método, fuentes y programa de la asignatura», que preparó para la correspondiente oposición ⁶⁰. Es interesante repasarla superficialmente.

Un problema inicial a la hora de establecer el programa de la asignatura surgía de que la cátedra era de nueva creación. Hasta entonces no había existido otra similar en ninguna universidad española. «A diferencia de lo que sucede en otros ejercicios de oposición —señalaba en su memoria— en que la asignatura está perfectamente definida por los programas clásicos ya sancionados por la experiencia y en que el opositor se limita generalmente a modificar ligeramente esos programas con arreglo a su criterio, me veo yo en la necesidad de definir esta asignatura».

Como la nueva asignatura/cátedra pertenecía a la sección de Químicas, el opositor ahondaba en la relación entre química y física:

Los estudios de Química van ligándose cada vez más a los de Física. Tan unidos están al presente que en algunos capítulos se hace difícil el separarlos. La Química teórica de las Facultades de Ciencias se ocupaba muy especialmente de esos capítulos intermedios a las dos ciencias. La extensión que algunos de ellos ha adquirido en estos últimos años ha sido tan grande que la Química teórica se hace imposible explicarla en un sólo curso. Mejor que hacer dos años de Química teórica ha creído, a mi juicio, el legislador segregar de esa asignatura el capítulo

⁶⁰ Archivo Catalán.

de estructura atómico-molecular derivado de los estudios espectrográficos, que por sí sólo, por su extensión, y por su importancia puede constituir una asignatura para ser explicada en un curso.

Para formar el programa de la asignatura, Catalán se basó en diversos elementos. «Primeramente el curso que en Londres seguí con el Prof. Fowler; después de las lecciones que el Prof. Sommerfeld explica en la Universidad de Munich, que aunque de índole más física que las que yo presento, me han servido de orientación. Por último en este programa acumulo también la experiencia de los dos cursos de espectroscopia que por encargo de la Facultad de Ciencias de Madrid expliqué ya en ésta Universidad y la del curso de la Fundación Conde de Cartagena de la Academia de Ciencias que expuse el pasado curso».

En cuanto al programa en sí, he aquí cómo lo presentaba en su memoria:

El programa comienza con una parte preliminar seguida de unas nociones de análisis espectral indispensables para pasar al estudio de los espectros en relación con la estructura atómica. Esta parte preliminar la he dividido en seis lecciones. Una histórica, en que se expongan de un modo esquemático los principales hechos de esta ciencia. Otras dos en que se explicarán los detalles de los distintos aparatos espectrales: de prismas y de redes de difracción; y los varios métodos que se emplean para la excitación de la radiación que ha de ser observada, llama, arco, chispa, tubo de vacío, etc. A continuación en la cuarta lección se explicarán los diferentes tipos de líneas espectrales y cómo las condiciones exteriores de presión, temperatura, etc., hacen modificarla. Se terminará esta parte presentando los problemas que surgen al querer fotografiar las distintas regiones del espectro y los medios que se han empleado para resolverlos.

La estructura de los espectros se comenzará observando los más sencillos, hidrógeno, helio ionizado y alcalinos. Una vez conocidos los principios empíricos se presentará el átomo de Bohr que los explique. Aunque más adelante se ha de ver que este modelo atómico tiene que ser sustituido por otro derivado de la mecánica ondulatoria, creemos de todo punto necesario el familiarizarse con ese modelo tan simple. Los espectros de los

alcalino-terreos más complejos que los estudiados anteriormente serán interpretados a continuación y el estudio de los potenciales críticos de resonancia y de ionización permitirá probar los esquemas de niveles.

Se pasará después a la interpretación de los espectros en toda su complejidad, presentando el modelo mecánico vectorial de Russell y Saunders, por medio del cual se explicarán los tipos de acoplamiento electrónico.

Será el momento preciso ya para hacer una presentación elemental de la mecánica ondulatoria, con sus problemas de indeterminación de probabilidad y causalidad.

Ya en posesión de los conceptos de la mecánica ondulatoria podremos presentar el electrón giratorio y consecuencia de él el principio de Pauli. También el efecto de Zeeman podrá ser explicado en este momento y permitirá seguir detalladamente los efectos magnéticos sobre los espectros de líneas en relación con su estructura.

Se estudiará entonces los diversos espectros que un mismo átomo va produciendo según se va haciendo más grande su grado de ionización.

A continuación podrá ser tratado el espectro de Rayos X, tanto en su forma general como en su estructura.

La parte más interna del átomo se estudiará por medio de los rayos positivos, espectros de masa que nos llevarán al conocimiento de los isótopos.

Conocidos ya los espectros de las tres partes del átomo: externa, media e interna, podremos por aplicación del principio de Pauli llegar a la constitución del sistema periódico. Seguiremos al detalle la formación sucesiva de los elementos, no sólo cualitativamente, sino también cuantitativamente por medio de las variaciones de energía de sus términos.

Para finalizar esta parte creemos conveniente dedicar una lección al estudio de algún espectro complejo que nos permita hacer aplicaciones a la determinación de la estructura de su átomo.

Pasaremos entonces a los espectros moleculares. Comenzaremos por los de rotación y vibración. Las bandas espectrales analizadas nos permitirán llegar a la estructura de algunas moléculas, y en algunos casos determinar nuevos isótopos.

El estudio de la radiación Raman será considerado a continuación y mediante ella deduciremos la constitución de algunos tipos de moléculas.

Para terminar el programa incluimos una lección de espectros estelares. En ella estudiaremos los elementos produciendo espectros de grados de ionización inalcanzable en los espectros terrestres. Veremos también efectos magnéticos intensos y transiciones espectrales que por no verificarse en los espectros de nuestros laboratorios hicieron creer que se trataba de elementos nuevos.

En concreto, el programa que presentaba era el siguiente:

I. *Espectros atómicos*

Espectro del hidrógeno y de los metales alcalinos.

Atomo de Bohr y potenciales de ionización.

Espectros complejos. Teoría de los multipletes.

- a) Modelo vectorial. Acoplamiento de Russell y Saunders. Otros acoplamientos.
- b) Estructura hiperfina.
- c) Principio de Pauli. Edificación del sistema periódico.
- d) Intensidad y principios de selección de las líneas espectrales.
- e) Potenciales de ionización de los elementos.
- f) Relación entre los espectros ópticos y los de Rayos X.
- g) Espectros de los elementos en que se constituyen las órbitas de tipo p.
- h) Id. id. las de tipo d.
- i) Id. id. las de tipo f (tierras raras).

II. *Espectros moleculares*

Espectros de bandas.

- a) Generalidades.
- b) Bandas infrarrojas o de rotación.
- c) Bandas de vibración.
- d) Intensidad de las líneas en las bandas.
- e) Influencia del campo magnético.
- f) Bandas y constitución química.
- g) Calor de disociación molecular obtenido del espectro de bandas.
- h) Isotopía y bandas espectrales.

Espectros Raman.

- a) Generalidades.
- b) Técnica.
- c) Frecuencias de rotación en los espectros Raman.
- d) Propiedades generales de la radiación Raman.
- e) Influencia de las fuerzas moleculares.
- f) El efecto Raman y la constitución molecular.

Espectros de absorción.

- a) Generalidades.
- b) Estudio especial de las disoluciones. Influencia de la temperatura, disociación electrolítica, etc.
- c) Relación entre absorción y constitución atómica.

La oposición tuvo lugar a mediados de junio (1934), sin que se presentaran ninguno de los tres contrincantes que mencionaba en su carta a Bechert. Entre los papeles de Catalán no han sobrevivido apenas detalles de la misma, salvo los cuestionarios de los ejercicios 5º (práctico) y 6º (desarrollar un tema elegido por el opositor de tres sacados a la suerte). El hecho es que Miguel obtuvo la cátedra. El profesor de enseñanza media se convirtió, por fin, en catedrático de universidad.

5.12. AMPLIANDO INTERESES: EL EFECTO RAMAN

Al menos desde el curso 1932-33, Catalán se había interesado por el efecto Raman. Recordemos en este sentido el contenido, citado anteriormente, del curso que desarrolló en la Universidad Central como parte de su labor dentro de la Cátedra conde de Cartagena. En aquella ocasión prestó gran atención a la interpretación molecular por el método del espectro Raman, incluyendo las diversas técnicas empleadas según el estado físico de los cuerpos a que se aplica (aparatos espectrales; fuentes luminosas, filtros y placas empleadas). Asimismo, acabamos de ver que en el programa que presentó en su oposición a la cátedra no faltaba una sección dedicada al mismo.

Es posible suponer que tales esfuerzos pedagógicos eran, en realidad, el primer paso para adentrarse, él mismo, en investigaciones basadas en este efecto. Un argumento ligeramente distinto



Catalán en la silla reclinable de la casa familiar de Chamartín

es el que este efecto constituía un tema de investigación en auge (una evidencia en este sentido es el de que a pesar de su relativa novedad, uno de los temas del ejercicio 5º de su oposición a cátedra fue: «Medida e interpretación de un espectro Raman») y que Catalán reaccionaba intentando involucrarse en él.

El efecto Raman tiene sus orígenes en el efecto Compton: En una nota presentada en septiembre de 1923 al *Naturwissenschaften*, Adolf Smekal (1923), de la Universidad de Viena, argumentaba que deberían existir una «nueva clase de transiciones cuánticas» (que él denominó «transiciones cuánticas traslacionales» [*Translationsquantenübergänge*]) que ocurrirían «bajo la influencia de radiación monocromática». «Para cada átomo o molécula que esté en su estado cuántico m , con energía E_m y que posea una velocidad traslacional v , cuya dirección forme un ángulo arbitrario con la dirección de la luz incidente, existe una [cierta] probabilidad ... de que pase en una unidad de tiempo —bajo la influencia de radiación de una frecuencia dada— del estado m al n , cambie la dirección y valor absoluto de su velocidad traslacional (a v') y emita simultáneamente radiación secundaria de frecuencia [distinta]» (utilizando la ley de la conservación de la energía, se comprobaba fácilmente que la nueva frecuencia podría ser mayor o menor que la inicial).

Cinco años después de la nota de Smekal, Chandrasekhara Venkata Raman (1928),⁶¹ por un lado, y G. Landsberg S. Mandel'shtam (1928), por otro, demostraban experimentalmente la existencia de este fenómeno, producido al iluminar un cuerpo transparente, entre cuyas ventajas se encontraba el que permitía investigar regiones remotas del infrarrojo, que hasta entonces no se habían explorado, además de que con él era posible obtener frecuencias propias con muchísima mayor rapidez y precisión que con otros procedimientos y así identificar con cierta facilidad moléculas y sus constituyentes.

El interés de Catalán por el efecto Raman se plasmó en un artículo (Catalán 54) que preparó con uno de sus estudiantes de

⁶¹ Las primeras observaciones del «efecto Raman» fueron realizadas por Raman en colaboración con K. S. Krisnan (1928). Sobre Raman, su vida y su obra, incluyendo el descubrimiento del efecto Raman, consultar Venkataraman (1988).

doctorado, L. Yzu, y con una cierta ayuda por parte de Karl Wilhelm Friedrich Kohlrausch, de Graz, que permaneció en el laboratorio durante algunos días, aconsejándoles en muchas cuestiones ⁶². Este trabajo es, en realidad, su única publicación en este campo, y como producto primerizo contiene una elevada dosis didáctica. Parece como si Miguel lo utilizara para poner en letras de molde las notas que debió preparar en los años precedentes con el fin de entender —él y sus alumnos— el efecto Raman. Naturalmente, este artículo también incluye resultados originales (que mencionaré después), pero esto es sólo una parte que no consigue oscurecer su dimensión pedagógica, una dimensión que aprovecharé a continuación para explicar el efecto Raman, tal y como lo practicaba Catalán.

Al iluminar un cuerpo transparente éste produce una reemisión de luz en la cual se distinguen dos fenómenos: la difusión molecular y el efecto Raman.

La difusión molecular es debida a la difusión de la luz por las moléculas que constituyen el medio material atravesado. Este fenómeno surge —de nuevo según Catalán— de la distribución irregular de las moléculas del medio, o mejor dicho, a sus fluctuaciones de densidad. Los paquetes de moléculas, repartidos al azar, juegan aquí el mismo papel que los granos de polvo en el fenómeno de la difusión observado corrientemente.

En la difusión molecular, la luz reemitida está en fase con la onda incidente; esto justifica la expresión de «radiaciones coherentes» dada a las radiaciones que forman la luz difundida. Además, de acuerdo con las consideraciones teóricas, la luz reemitida tiene la misma frecuencia que la luz excitatriz, pero la intensidad con la cual es reemitida depende de la longitud de onda; dicha intensidad aumenta con la cuarta potencia de la frecuencia común a la luz excitatriz y a la luz difundida; de esto resulta que si la luz excitatriz no es monocromática, la repartición de energía en la luz difundida no será la misma que en la luz incidente. Ahora bien, esta ley sólo es aplicable a las moléculas y a las partículas pequeñas con relación a la longitud de onda de la luz. La difusión por partículas grandes, con relación a la longitud

⁶² Kohlrausch (1931) era el autor de un libro dedicado al efecto Raman.

de onda de la luz, conserva, por el contrario, la repartición de energía de la luz incidente.

La observación diaria justifica plenamente estas concepciones; el cielo puro tiene una luminosidad azul debida a la difusión de la luz solar por las moléculas de la atmósfera; las nubes, al contrario, luminosas por la difusión de la misma luz por gruesas gotas de agua, son blancas ⁶³.

Pasemos ahora al efecto Raman (de nuevo según la presentación de Catalán): imaginemos un medio material cualquiera, iluminado por una luz monocromática de frecuencia N_0 . Estudiemos con la ayuda del espectrógrafo la luz reemitida por el medio iluminado de esta manera. Observaremos en primer lugar la existencia de la radiación de frecuencia N_0 excitatriz reemitida por difusión molecular, pero también observaremos radiaciones nuevas, de intensidad más débil, que la difusión molecular no permite prever.

Las frecuencias de estas radiaciones nuevas, secundarias, tienen por valores:

$$N_0 + n_1, N_0 - n_1, N_0 + n_2, N_0 - n_2, \dots$$

y su emisión es lo que constituye el llamado efecto Raman.

En los espectros Raman, a las radiaciones de frecuencia aumentada se les llama frecuencias positivas (ciertos autores las llaman líneas anti-Stokes por su analogía con los fenómenos de fluorescencia) y a las radiaciones de frecuencia disminuída, frecuencias negativas. Conforme a la ley de Stokes, estas últimas son a la vez las más numerosas y las más intensas.

Al ser el efecto que nos ocupa en este momento un fenómeno secundario que acompaña a la difusión molecular, no se manifiesta más que por la diferencia de frecuencias entre la radiación excita-

⁶³ La interpretación del azul del cielo por la difusión de pequeñas partículas se debe al físico inglés Tyndall. Después fue Lord Rayleigh quien dio la primera teoría de la difusión por las moléculas de los gases y, finalmente, M. M. Smoluchowski, Einstein y Keesom extendieron la teoría de Rayleigh a todos los medios materiales, introduciendo en la teoría precisamente la acción de las fluctuaciones de densidad.

triz y la radiación Raman. Por consiguiente, solo podía ser observado por un procedimiento espectroscópico, precisamente la especialidad de Catalán.

Se trata, además, de un fenómeno muy débil, en valor absoluto, aún en las mejores condiciones de luminosidad. En la época a la que me estoy refiriendo, las frecuencias Raman podían ser vistas en ciertas condiciones con el espectroscopio, pero eran tan débiles que ni siquiera se distinguía su color; para medirla era necesario utilizar un espectrógrafo y aún entonces se obtenían los espectros Raman mediante exposiciones largas; «oscilarán éstas —escribía Catalán (54, p. 30)— entre algunos minutos en los casos más favorables y hasta más de cien horas en casos extremos». Era preciso esforzarse en reducir el tiempo de exposición, aumentando mediante dispositivos convenientes la intensidad luminosa del foco excitatriz (en sus experimentos Raman empleó un telescopio de refracción acoplado a una lente para condensar la luz, abundante por otra parte en Calcuta). Era también ventajoso utilizar espectrógrafos muy luminosos y placas muy sensibles.

Pasemos ahora a la contribución de Catalán e Yzu.

Entre los numerosos trabajos que fueron apareciendo a raíz del descubrimiento del efecto Raman, bastantes se ocuparon del estudio de este fenómeno en el ácido sulfúrico, sacando diversas conclusiones que contribuían al conocimiento de su constitución.

Existía, sin embargo, un problema importante: acompañaba siempre al espectro Raman del ácido sulfúrico un fuerte fondo continuo que enmascaraba casi por completo las frecuencias Raman propias del ácido. Para evitar esta dificultad, se utilizaba el procedimiento de debilitar la intensidad del fondo continuo destilando el ácido estudiado.

Ahora bien, los valores encontrados para las frecuencias Raman propias del ácido sulfúrico, por los diferentes investigadores que se habían ocupado del problema, estaban en completo desacuerdo. Para Catalán e Yzu, esto era «debido en parte, a lo difuso que son algunas de las frecuencias, y en parte, a no haber eliminado por completo el fondo continuo que acompañaba a aquéllas».

Miguel y su estudiante hicieron ensayos con ácidos de diferentes marcas de fabricación «y en todas las fotografías obtenidas

con ellos se presentó siempre el fondo continuo, variando solamente la intensidad del mismo, resultando por cierto ésta menor en un ácido de fabricación nacional». Para ver de eliminar el fondo continuo, procedieron a la destilación del ácido, encontrando que el fondo continuo se debilitaba enormemente, aunque sin desaparecer por completo. En última instancia, «destilamos el ácido ... sobre unos pocos cristallitos de permanganato potásico (procedimiento recomendado por Medard) y resultó que en este ácido preparado en estas condiciones, desapareció por completo el fondo continuo, apreciándose con claridad las frecuencias Raman».

Como conclusión de su investigación, Catalán e Yzu señalaban:

Los hechos puestos de manifiesto en los párrafos anteriores nos hacen llegar a las siguientes conclusiones. Al estudiar un ácido sulfúrico comercial por el efecto Raman, aparecen las frecuencias propias del ácido, acompañadas de un fuerte fondo continuo, que creemos sea debido simultáneamente a las causas siguientes:

1ª. A la materia en suspensión que contiene el ácido, ya que una parte del fondo se elimina por una simple destilación.

2ª A ciertas sustancias orgánicas que lo hacen fluorescente, puesto que otra parte del fondo desaparece al destilar sobre permanganato potásico.

3ª (Solamente para ciertas concentraciones). Debido probablemente a ciertos complejos moleculares que constituyen el ácido. Como en estas concentraciones no es posible eliminar totalmente el fondo y resultando depender la intensidad de éste de la concentración del ácido, debemos interpretar que esta tercera parte del fondo continuo debe ser atribuida a la propia constitución del ácido para dichas concentraciones.

Este artículo fue publicado en 1936, pero está fechado en diciembre de 1935. No parece que en el poco más de medio año que restaba para que comenzase la Guerra Civil, Miguel realizase avances sustanciales en el dominio del efecto Raman. Y durante los tres años de contienda, como veremos, no tuvo ninguna oportunidad de proseguir sus investigaciones. Dispuso, en definitiva, de poco tiempo para adentrarse en la práctica de este

campo de investigación (al que, de hecho, nunca regresaría). Y sin embargo, como también tendremos ocasión de comprobar en un capítulo posterior, sería criticado fuertemente tras la guerra por científicos "nacionales", que consideraban que sus rayas espectrales se agotaban, sin que hubiese «logrado, como ha intentado largamente, realizar trabajos sobre tema más moderno, el efecto Raman».

Se buscaba atacarle, y este era el argumento utilizado, no importa que se desmoronase cuando se empleaba un punto de mira medianamente amplio.

CAPÍTULO 6

LA GUERRA CIVIL

6.1. EN LA ZONA "NACIONAL"

El verano de 1936 se presentaba interesante para Miguel. Estaba previsto que participase en los cursos de la Universidad Internacional de Verano, en Santander, de la que entonces era rector Blas Cabrera (antes —en 1933— lo había sido su suegro, Ramón Menéndez Pidal). El 23, 24, 27 y 28 de julio tendría que haber dictado cuatro conferencias dentro de un curso sobre «La isotopía en Química»¹. Asimismo, estaban las siempre esperadas vacaciones en la casa de campo de Menéndez Pidal en San Rafael.

Hasta cierto punto (siempre es difícil y peligroso aventurarse en el dominio de "lo que pudo haber sido y no fue"), el que el inicio de la Guerra Civil ocurriese unos días antes de que comenzase su curso de Santander tuvo alguna consecuencia positiva para Miguel. Me explicaré: si la guerra le hubiese sorprendido en Santander, lo más probable es que se hubiese visto obligado a regresar —después de un penoso itinerario— a Madrid (controlada por la República) con la expedición comandada por Cabrera², mientras que su familia, que posiblemente habría continuado veraneando en San Rafael, se habría visto detenida en la zona "nacional". Se habría producido, en consecuencia, una situación

¹ G. de Hevesy, de la Universidad de Copenhague, F. A. Paneth, del Imperial College de Londres, y Blas Cabrera eran los otros participantes previstos, con 4, 4 y 1 conferencias, respectivamente.

² Algunos aspectos de cómo afectó la guerra a la Universidad de Verano, así como del regreso a Madrid, se tratan en Sánchez Ron (1993), Pérez-Vitoria (1985) y Madariaga (1984).

de división familiar, tal vez no imposible de resolver (Cabrera, por ejemplo, abandonó Madrid en septiembre hacia París, en donde pasó la guerra), pero sí complicada³. Por otra parte, también hay que considerar que acaso no habría padecido las miserias, el control, que, como veremos enseguida, sufrió en Segovia, aunque también existe la posibilidad —como en el caso de Castillejo en Madrid— que hubiera tenido que soportar otras penalidades en la capital.

El hecho es que el estallido de la Guerra Civil sorprendió a Miguel, junto a su esposa, hijo y otros familiares y amigos, en la casa de campo de San Rafael, «tierra de nadie», según una afortunada expresión de Diego Catalán (1987). Después de un día de bombardeos «por las avionetas de Cuatro Vientos, la familia Catalán y los “refugiados” adjuntos huimos —utilizando, de nuevo, palabras de Diego Catalán (1987, p. 5)— a El Espinar a la mañana siguiente. Allí entraría la “columna Mangada” comunista, filtrada a través de la Sierra, y se retiraría, al faltarle la munición, ante los guardias civiles que retomaban el pueblo». Ante el peligro de la situación, la familia Catalán tuvo que huir el día de Santiago a Segovia. Allí, en una parte de España controlada por los rebeldes, sin medios económicos, separados de su medio, vivieron durante algunas semanas en una casa de la calle de San Frutos, donde les daban de comer gratis los propietarios de una taberna. Pronto, Miguel entró a formar parte del profesorado del Instituto de Bachillerato de Segovia. También formó parte de un grupo que prestaba servicios en un Centro de Información de Heridos. No obstante, la situación era poco acorde con sus cualificaciones, por no mencionar otros problemas que veremos inmediatamente. Para tratar de cambiar de ocupación, escribió el 3 de septiembre (antes probablemente de entrar en el Instituto) a Miguel de Unamuno, el rector de la Universidad de Salamanca⁴.

³ Veremos también más adelante cómo otros miembros de su familia pudieron salir de Madrid para reunirse con Miguel y Jimena en Segovia.

⁴ Citada en González Egido (1986, p. 96).

Mi admirado maestro:

Estando en San Rafael con mi mujer y mi hijo veraneando tuvimos que desalojar precipitadamente de allí por los combates que se celebraron en el mes de julio y refugiarnos en El Espinar y más tarde en Segovia. En esta ciudad presto ahora servicios en el Centro de Información de Heridos, pero acercándose la fecha en que tendrán que comenzar las tareas docentes universitarias y pensando que acaso pudiera mejor en estos momentos servir con mi modesta ayuda a esa vieja Universidad Española de Salamanca, me atrevo a ofrecerle mi entusiasta y devota colaboración a V. como Rector, por si tuviera a bien aceptarla.

Mi cátedra en Madrid es de la Facultad de Ciencias, Estructura atómico-molecular y Espectroscopía y como acumulada la de Mecánica. Mi interés, tanto en la Universidad, como en el Instituto Nacional de Física y Química (Rockefeller), en el que estoy encargado de una de las secciones, es la Química relacionada con la Física.

Sería para mí el mayor honor servir en estos momentos a España bajo su dirección y consejo.

La gestión no produjo ningún resultado y Catalán continuó vinculado al Centro de Información de Heridos y, enseguida, al Instituto de Segovia. Pero aquella España, en la que abundaban los sentimientos cerriles y sectarios, veía con recelo y hostilidad a personajes como él y así fue vigilado por los servicios de información "nacionales".

6.2. VIGILADO POR LA POLICÍA ⁵

Desde Burgos, el 2 de julio de 1937 se pedía a Segovia «un informe amplio y ecuaníme de las actividades así como la ideología política antes del Glorioso Movimiento Nacional» de los miembros de la familia Menéndez Pidal-Catalán. «Interesa también sean vigilados de un modo discreto, así como las amistades que

⁵ Los documentos siguientes fueron puestos en mis manos por Diego Catalán, a quien el Ministerio de Cultura proporcionó una copia.

operan alrededor de esta familia. En caso de que convenga —se añadía— le sea intervenida la correspondencia».

El informe familiar que se remitió a Burgos no tiene desperdicio y además muestra que por entonces el informante de Segovia no tenía ni idea de quién era realmente Miguel, al que se llamaba «Ramón Catalá». He aquí el texto enviado:

RAMÓN MENÉNDEZ PIDAL: Presidente de la Academia de la Lengua.

Persona de gran cultura, esencialmente bueno, débil de carácter, totalmente dominado por su mujer. Al servicio del Gobierno de Valencia como propagandista en Cuba.

MENÉNDEZ PIDAL, Señora de:

Persona de gran talento, de gran cultura, de una energía extraordinaria, que ha pervertido a su marido y a sus hijos; muy persuasiva y de las personas más peligrosas de España. Es sin duda una de las raíces más robustas de la revolución.

GIMENA MENÉNDEZ PIDAL:

Hija de los anteriores, con todas las características de su madre, casada con

RAMÓN CATALÁ, Doctor:

Un mentecato, célula comunista, juguete de su mujer y de su suegra. Era Dr. en Ciencias cuando se casó con Gimena; como regalo de bodas le dieron una cátedra en el Instituto de Segovia de donde era natural. Se amañó un tribunal especial para él y la Institución lo consagró como sabio y profesor de la Central.

En Segovia se reunió, al cabo de no demasiado tiempo, una buena parte de la familia. Tras acompañar a Ramón Menéndez Pidal a Francia, donde pronunció una conferencia, poco antes de embarcar hacia Norteamérica, María Goyri, su esposa, se trasladó junto a su hijo Gonzalo y la mujer de éste, Elisa Bernis ⁶, a

⁶ Gonzalo Menéndez Pidal contrajo matrimonio (civil) con Elisa Bernis el último día de su estancia en Madrid. El matrimonio religioso tuvo lugar en Burdeos. En Madrid, Gonzalo estuvo refugiado en la embajada de México desde la segunda quincena de octubre de 1936 hasta la segunda de diciembre.

Segovia, en donde vivieron con Diego y Jimena (Gonzalo se incorporó al Regimiento de Transmisiones nacional).

El 7 de septiembre de 1937 ya se había clarificado que «Ramón Catalá» era realmente Miguel Catalán, del que se escribía, más ecuanímicamente, que por «no ser ni haber residido en esta provincia, es difícil averiguar su ideología política, ya que todos los refugiados en ésta se conducen aparentemente con patriotismo, y el que nos ocupa aparenta ser entusiasta del actual Movimiento Nacional». Del resto de la familia también se hacían comentarios moderados.

Pero esta situación no duró mucho ya que en un informe secreto sobre la familia Menéndez Pidal, preparado por la Segunda Sección (Información) del Estado Mayor del VII Cuerpo del Ejército y remitido al Jefe del Servicio de Información Militar, en Burgos, el 24 de octubre de 1937, se lee lo siguiente acerca de nuestro espectroscopista ⁷:

MIGUEL CATALÁN SAÑUDO.— Antes del Movimiento pertenecía a Izquierda Republicana.— Protegido en todo momento por los de ideas izquierdistas e Institución Libre de Enseñanza, logra por mediación de esta última, diversos cargos, entre otros, la Cátedra de Espectrografía y Estructura del Atomo, creada para él y a su medida, por la Junta de Ampliación de Estudios.— Esta Junta, si no regida, se encontraba por lo menos tutelada por la Institución Libre de Enseñanza, sobre la que ejercía destacada influencia el Catedrático de la Universidad de Madrid, Don Enrique Moles, izquierdista muy significado.

Su amistad incondicional con el señor Moles y la intervención decidida de la citada institución le reporta en otro momento el obsequio de la Cátedra y Jefatura de Sección en la que tenía una remuneración anual de 12.000 pesetas (Instituto Rockefeller de Madrid).

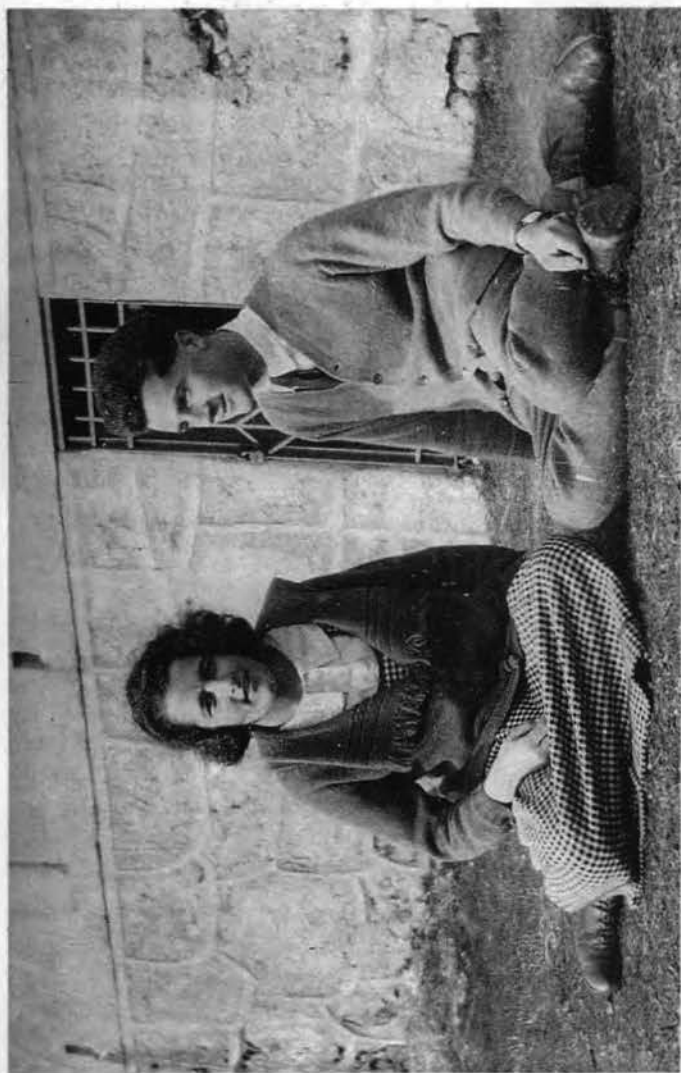
⁷ En el telegrama (calificado de «Muy reservado») en el que se enviaba el informe a Burgos, se hacía notar que las actividades de Catalán «se prestan a interpretaciones ciertamente sospechosas, estimándose no es aún llegado el momento de proceder a adoptar ninguna medida por no tenerse pruebas suficientes de su culpabilidad. Nuevas gestiones y averiguaciones, de si existe o no ficha masónica de los mismos [los miembros de la familia Menéndez Pidal], podrían posteriormente modificar este parecer».

El Movimiento le alcanzó veraneando en San Rafael, con su señora Doña Gimena Menéndez Pidal, desde donde se vieron precisados a evacuarse a Segovia, población en la cual empezó a trabajar en el Centro de Información de Heridos de Guerra ... La actuación y propósito de este Centro, hace se le mire con simpatía, pero no es menos cierto que manejado inteligentemente por manos hábiles, puede constituir esta Oficina un Centro de espionaje de altos vuelos y escaso riesgo.

En la noche del 29 de Septiembre último se penetró clandestinamente en la susodicha Oficina y estudiada con detenimiento la documentación diversa y múltiple que tiene se vieron oficios de Jefes de Cuerpo, otros de Jefes de Centros y dependencias, noticias de diferentes Hospitales, escritos de Unidades diversas y en suma, toda una Oficina de Información, con detalle del Movimiento diario de tropa y no se precisa puntualizar los efectivos, porque es de conocimiento vulgar el saber casi con exactitud el número de hombres que el Reglamento preceptúa para cada Unidad Orgánica y armamentos que tienen asignados ...

Así se da el caso de que el cerebro del Centro de Información de Heridos de Segovia es un individuo de Izquierda Republicana, encuadrado éste en la Escuela de la Institución de Libre Enseñanza de la que ha recibido beneficiosas designaciones, traducidas en cargo pingüemente remunerado. Este individuo es el que nos ocupa MIGUEL CATALÁN-SAÑUDO, hijo político de Menéndez Pidal, cuyos antecedentes y actitud con relación al Movimiento son sobradamente conocidos.

No eran éstas, desde luego, acusaciones carentes de peligro. De hecho, probablemente como consecuencia de este informe, un día Catalán fue llamado a la Comandancia militar acusado de espionaje. Salió libre gracias a que un policía rompió ocultamente la denuncia, porque su hijo había identificado en la calle al acusado como su profesor favorito en el Instituto de Segovia, al que por entonces Catalán ya se había incorporado como profesor de Ciencias en el Bachillerato.



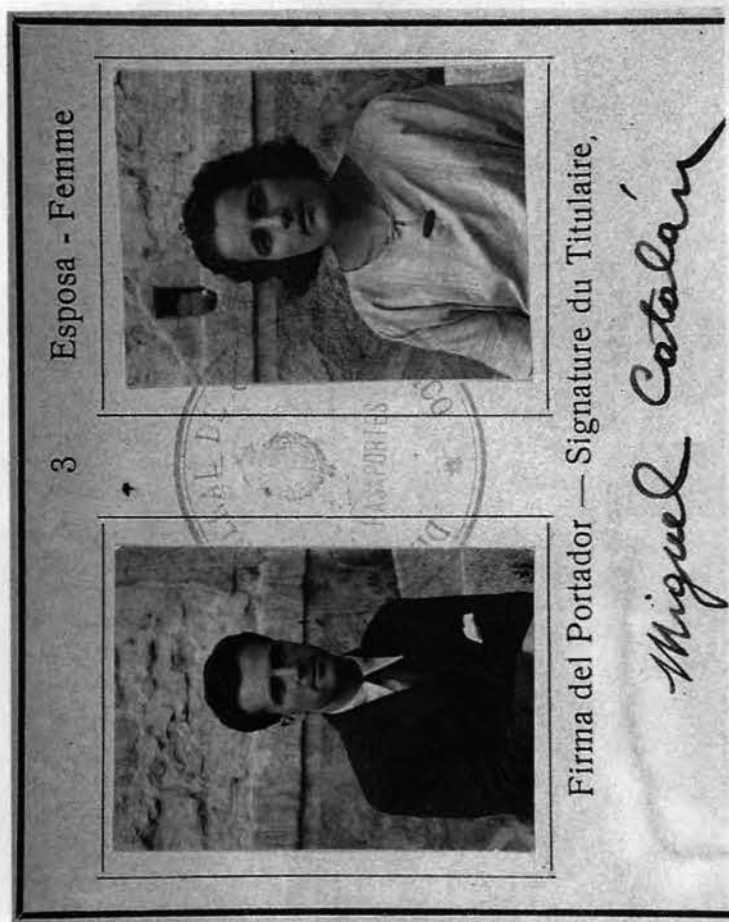
Miguel y Jimena en San Rafael



Miguel, Jimena y Ramón Menéndez Pidal delante de la casa de San Rafael



Miguel y Jimena en San Rafael



Jimena y Miguel. Fotografía de pasaporte

6.3. CIENTÍFICOS ESTADOUNIDENSES AL AUXILIO DE CATALÁN

Fueron científicos de Estados Unidos (los Russell, Shenstone, Meggers, Moore, Harrison), los que con mayor rapidez e interés se ocuparon de la situación de Catalán durante los años de guerra. A algunos ya los conocía el profesor español desde hacía mucho tiempo, pero con otros su relación se había establecido hacía poco. Parece, por ejemplo, que entró en contacto (epistolar) con Allen Goodrich Shenstone, del Palmer Physical Laboratory de la Universidad de Princeton, en octubre de 1934, ya que el 21 de aquel mes, Catalán contestaba a una carta anterior (perdida) que el científico norteamericano le había escrito el 19 de septiembre y en la que le solicitaba separatas de sus trabajos. Miguel le envió aquellos de los que todavía disponía, y aprovechaba la oportunidad para mencionar que «sería de gran ayuda para nuestro trabajo el tener también sus importantes artículos espectroscópicos»⁸.

Con Charlotte Moore, del Observatorio de la Universidad de Princeton, Miguel había entrado en contacto al menos a finales de 1935. El 15 de noviembre de ese año, en efecto, Moore agradecía a su colega español la colección de separatas que había enviado a H. N. Russell. Por su parte, Catalán escribía a la astrofísica estadounidense el 5 de junio de 1936, enviándole una tabla de los niveles pares del Fe I, «tal y como han sido analizados por mí en colaboración con J. Vicente». La lista de los niveles restantes, impares y pares altos, no estaba todavía lista, pero esperaba tenerla en unos pocos días. Y añadía:

Si piensa que la tabla estará a tiempo para su nueva Tabla de Multipletes, hágamelo saber y le enviaré la lista inmediatamente⁹.

La tabla de multipletes a la que se refería Catalán era: *A Multiplete Table of Astrophysical Interest* (Moore 1933). Para

⁸ Archivo Catalán. Shenstone debió enviar los trabajos solicitados, ya que el 27 de noviembre Catalán le escribía agradeciéndoselos.

⁹ A continuación Catalán escribía: «Puede ver en la lista adjunta que se han encontrado términos *singlete* del Fe I. Este espectro es el primero en el que *cuatro* diferentes multiplicidades están presentes (septetes, quintetes, tripletes y singletes).

apreciar la importancia de este trabajo para los astrofísicos, basta con citar lo que se señalaba en la «edición revisada» —a la que se refería Catalán, y que no apareció hasta 1945— (Moore 1945, p. iv): «Cuando la autora se encontraba en el Observatorio de Monte Wilson en 1931, preparó una tabla de multipectes solares para utilizar privadamente al revisar y extender la identificación de líneas en el espectro solar y de las manchas solares. Este manuscrito fue utilizado constantemente por los astrónomos. Como respuesta a las solicitudes de copias, se añadieron datos de elementos ligeros presentes en estrellas jóvenes y se publicó una edición en 1933. Esta edición quedó anticuada y agotada casi inmediatamente (no se había previsto semejante demanda)».

El 21 de octubre de 1936, y después de solicitar a Meggers una copia de un artículo de Catalán y Antunes sobre Co I, H. N. Russell mostraba a su colega su preocupación por la suerte de Catalán ¹⁰:

Estoy muy preocupado por el muy importante trabajo de Catalán sobre el hierro, y todavía más por el propio Catalán, en estos trágicos días. Supongo que podremos saber algo dentro de unas pocas semanas si Madrid es capturado. Afortunadamente él acaba de publicar el descubrimiento de sus niveles bajos pares en el hierro. En una carta a Miss Moore decía que tenía muchos más niveles impares y que nos los enviaría más tarde. Me pregunto si los podremos obtener.

En las citas anteriores, y en particular en esta última de Russell, vemos con claridad el principal motivo detrás del interés de los científicos norteamericanos: tener acceso, que no se perdieran, los importantes datos que sobre el espectro del hierro

Los siguientes viejos niveles deben ser rechazados:

46 ⁰ ₁	45024.23	39 ⁰	49198.40
44 ⁰ ₁	47970.60	30 ⁰ ₂	49710.64

De las 350 líneas que permanecían sin clasificar en su tabla, hemos clasificado hasta ahora alrededor de 250».

¹⁰ «H. N. Russell papers».

poseía Catalán, que, como ya indicamos en el capítulo precedente, llevaba años investigando en este tema.

También estaban, no obstante, preocupados por su seguridad personal, como revela la carta que Charlotte Moore dirigía el 20 de octubre a Lisboa, a Manuel Antunes, solicitándole noticias de Catalán ¹¹:

Querido profesor Antunes:

Le escribo para preguntarle si me puede dar alguna información sobre el profesor Catalán. Estamos inquietos acerca de su seguridad, tanto personal como científica, ya que las actividades militares en las proximidades de Madrid han sido tan violentas. Espero sinceramente que haya escapado de cualquier desgracia.

Poco más de una semana después, el día 28, era William Meggers quien solicitaba información sobre la situación de Catalán a Antunes ¹². El 9 de noviembre, Henry Russell se unía a sus colegas estadounidenses. Es interesante citar *in extenso* esta carta ¹³, en la que se pueden apreciar con claridad los motivos científicos que justificaban el interés de estos físicos:

Mi querido Dr. Antunes:

Gracias a la cortesía del Dr. Meggers, hemos tomado prestado del Bureau of Standards una copia de los "Anales de la Soc. Esp. Física y Química" 34, nos. 330, 331, 1936 [Catalán 55], que contienen el muy importante artículo del Dr. Catalán y Vd. sobre el espectro del Co I. Permítame que les felicite sinceramente a ambos por este admirable trabajo.

El Dr. [?] y yo hemos estado trabajando bastante en este mismo espectro, sin saber que Vd. y el Dr. Catalán habían emprendido previamente su investigación. Estoy extremada-

¹¹ Una copia de esta carta, preparada por el propio Antunes, se encuentra en el Archivo del Ministerio de Educación y Ciencia, Alcalá de Henares. Probablemente, Antunes la hizo llegar a Madrid para ayudar a su amigo y colega.

¹² Copia de esta carta, también enviada por Antunes, se encuentra en el Archivo del Ministerio de Educación y Ciencia.

¹³ Archivo Ministerio de Educación y Ciencia. Copia. .

José Manuel Sánchez Ron



William F. Meggers

W. Meggers

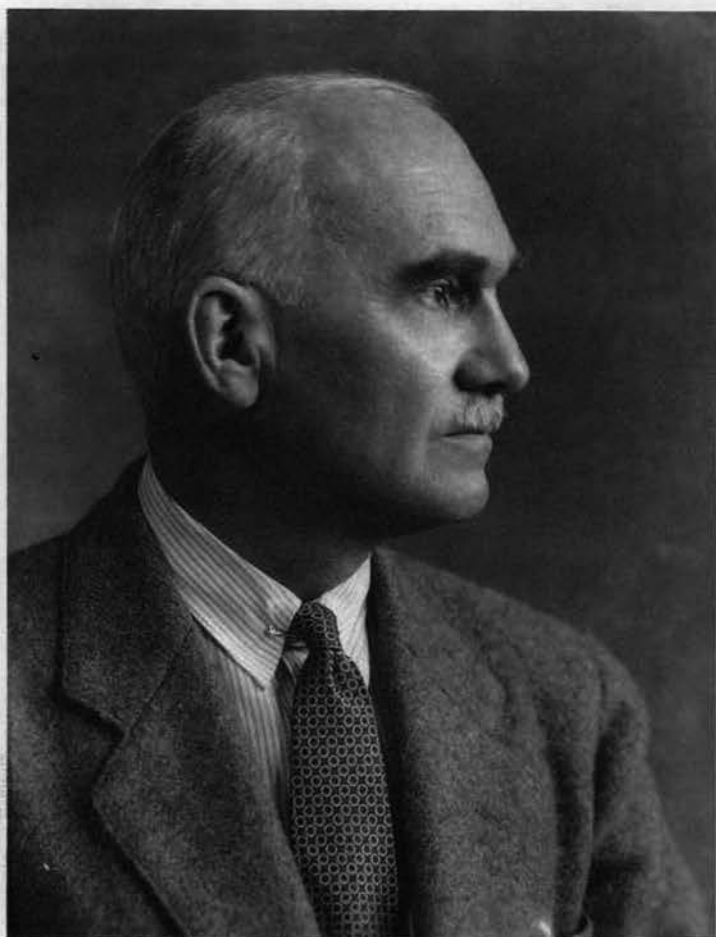
mente contento de que sus resultados fueran publicados de manera completa antes del comienzo de los trágicos disturbios políticos de España. Nuestro trabajo ha sido desarrollado esencialmente como el suyo. Creo que Vds. tienen algunos términos más que nosotros. En general los dos conjuntos de asignación de niveles a términos, y de configuraciones electrónicas, coinciden magníficamente. Nosotros tenemos la ventaja de una amplia serie de medidas del efecto Zeeman, realizadas por el Dr. King en Monte Wilson, y éstas nos han llevado en ciertos casos a diferentes asignaciones de los niveles de energía ... En algunos de estos casos creo que el efecto Zeeman viene a reforzar nuestra disposición de los niveles. En otros probablemente tendrán razón Vds. Tan pronto como haya encontrado tiempo para examinar la cuestión con cuidado, el Dr. King y yo esperamos publicar un artículo que complete el suyo, y que trate del efecto Zeeman y de la asignación de términos. Cuando nuestros resultados estén en forma definitiva espero tener el placer de enviárselos en manuscrito. Esto constituirá un resultado feliz de una duplicación inintencionada, ya que tendremos suficiente para justificar nuestra publicación, sin disminuir en modo alguno el crédito que se debe a su admirable publicación. Si dispone de una o dos separatas de este artículo, le agradecería mucho si me las pudiese enviar a Princeton, ya que a los Estados Unidos no llegan muchos ejemplares de los "Anales de la Soc. Esp. Física y Química", y no tenemos ninguno en nuestra biblioteca.

Esperamos con el mayor deseo que la actual trágica situación en Madrid no haya implicado ningún peligro para el Dr. Catalán y sus colaboradores, personalmente, así como en lo que se refiere a la conservación de sus importantes investigaciones sobre el Fe I y otros espectros. Cualquier información que sea Vd. capaz de darnos sobre este tema será del mayor interés.

La noticia de la situación en que se encontraba Catalán se propagó con rapidez entre los científicos estadounidenses relacionados con el mundo espectroscópico. Desde Princeton, Shenstone se dirigía a Catalán el 29 de junio de 1937 ¹⁴:

¹⁴ Archivo del Ministerio de Educación y Ciencia. Shenstone era entonces *associate professor* en la Universidad de Princeton; en 1938 pasó a ser *full professor*.

José Manuel Sánchez Ron



A. G. Shenstone

Querido Dr. Catalán:

El Dr. H. N. Russell y yo hemos oído con pesar que ha perdido Vd. todos sus papeles científicos, incluyendo sus resultados sobre el análisis del Fe I. Nos preguntamos si tendrá el tiempo y la inclinación para intentar reproducir sus resultados mientras todavía están frescos en su memoria. Tenemos aquí una tabla muy completa de las longitudes de onda del hierro y estaríamos muy felices de prestársela para que trabaje con ella, si considerase que pudiera serle de utilidad.

El 27 de agosto de 1937 era George R. Harrison, director del Laboratorio de Investigación de Física Experimental del Departamento de Física del Massachusetts Institute of Technology (MIT), quien escribía a Catalán a Segovia, vía Lisboa, con la oferta de un posible trabajo en Estados Unidos ¹⁵:

Querido profesor Catalán:

Entiendo por el profesor Henry Norris Russell y por el Dr. Henry A. Barton, del American Institute of Physics, que podría ser posible para Vd. el venir a este país si se le asegurase un puesto oficial en alguna institución académica.

En la actualidad estamos dedicados en nuestro Laboratorio de Espectroscopia a un completo programa de medición de longitudes de onda bajo los auspicios del Massachusetts Institute of Technology y la WPA. Disponemos de dos comparadores automáticos, con los que hasta el momento hemos realizado unos seis millones de mediciones de longitudes de onda en los espectrogramas de varias redes concavas de 10 metros y un

¹⁵ Archivo del Ministerio de Educación y Ciencia. No era la primera vez que Harrison escribía a Catalán. El 15 de julio de 1936 le había enviado una carta en la que le pedía separatas de sus «recientes artículos sobre el espectro del cobalto», aprovechando la ocasión para solicitarle «cualquier otra separata de que disponga». Al mismo tiempo Harrison ofrecía a Catalán alguna información sobre el programa de investigación espectroscópico del MIT: «Tenemos en curso un programa muy amplio de medición de longitudes de onda y durante el año pasado hemos realizado varios millones de medidas con una máquina automática que mide, computa y tabula longitudes de onda. Estamos trabajando en los espectros de todos los elementos químicos entre 10.000 y 1.000 Å. Disponemos de un cierto número de longitudes completas entre 4.500 y 2.700 Å y nos gustaría utilizar sus valores de energía para comprobar la precisión de nuestras longitudes de onda». Archivo Catalán.

José Manuel Sánchez Ron



G. R. Harrison

espectrógrafo de vacío de 6,5 metros que tenemos en nuestro laboratorio. En la actualidad hay alrededor de cien personas trabajando en este proyecto y esperamos publicar en el futuro, primero, una tabla bastante completa de las principales líneas de los elementos, incluyendo tal vez 100.000 líneas, y después una lista más completa en una escala uniforme, dispuesta según los elementos e incluyendo como medio millón de líneas.

Nuestra necesidad más urgente en el momento actual es la de mayor supervisión inteligente del proyecto. En la actualidad el único espectroscopista dedicado a este trabajo es, además de yo mismo, el Dr. Walter Albertson y dos o tres de mis estudiantes graduados. También estamos interesados en utilizar algunos de los nuevos datos para análisis de espectros y el Dr. Albertson ha tenido buenos comienzos con los espectros del osmio y el iridio, y hemos estado trabajando algo en el cerio y el neodimio. Estamos preparándonos ahora para publicar listas de longitudes de onda revisadas del hierro, cobalto y níquel entre 10.000 y 1.000 angstroms, que creemos sería la más completa que se haya dispuesto nunca.

Vd. sería, por supuesto, la persona que podría hacer el mayor uso de estos datos para extender el análisis del hierro y el cobalto, y nada me gustaría más que hacer posible el que Vd. trabajase con nosotros, utilizando estos datos para la ampliación de estos espectros y de otros en los que pueda estar interesado.

En este momento el presidente Compton está fuera, al igual que el vicepresidente, y no se puede efectuar ningún nombramiento oficial en el Instituto hasta que el Comité Ejecutivo se reúna a primeros de octubre. Sin embargo, el vicepresidente me ha dado permiso para extenderle una invitación de *Research Associate* para el próximo año, una invitación procedente del Departamento de Física. El tema del estipendio es uno acerca del cual no puedo realizar ninguna promesa en este momento, pero podríamos hacer algo para ayudarle y yo esperaré ser capaz de llegar a una cantidad que cubriese sus gastos. Tan pronto como el presidente Compton regrese trataré este asunto con él, pero entre tanto puede Vd. considerar ésta como una invitación oficial del Departamento de Física.

Estoy seguro que si podemos hacer que se establezca aquí y que trabaje con nosotros, se encontraría un medio para que se

José Manuel Sánchez Ron

mantenga sin recibir ayuda de sus familiares, que, entiendo, estarían dispuestos a ayudarle a establecerse en este país.

Para entender estas últimas frases, veamos la carta que el mismo día 27 de agosto Ramón Menéndez Pidal dirigía a su yerno e hija bajo membrete del Department of Romance Languages, Hispanic Languages, de la Columbia University (Nueva York) ¹⁶:

Queridos todos: Onís que llega de New York trae carta de Princeton que el nombramiento de Miguel sale en el vapor Darnia con esta carta. En el mismo vapor saldrá recomendación oficial para que le den ahí permiso para salir.

Onís os escribe que el banquero de Salamanca García Blanco, hermano del García Blanco que conocéis, catedrático de Literatura, os dará dinero. Como no dejan sacar dinero de España, yo os pagaré el pasaje aquí o lo giraré calegráficamente a Lisboa lo que allí necesitéis. Telegrafiais a Columbia, diciendo la cifra de dólares que necesitáis.

La prometida oferta del presidente del MIT, Karl T. Compton, llegó el 30 de septiembre ¹⁷:

Mi querido profesor Catalán:

Es un placer para mí invitarle a pasar este año en el Instituto de Tecnología de Massachusetts, como *visiting professor*, investigador asociado en el Departamento de Física. Este nombramiento ha sido autorizado por el Comité Ejecutivo de nuestra corporación el 22 de septiembre de 1937.

Este puesto tendrá un sueldo de 1.000 dólares, proporcionados conjuntamente por esta institución y por fondos del National Research Council a disposición del profesor Henry Norris Russell, como *chairman* de sus comités sobre Análisis Espectral.

Mis colegas y yo nos sentiríamos muy felices si le fuese

¹⁶ Archivo Catalán.

¹⁷ Transcripciones en inglés y en castellano de esta carta aparecen (con el rótulo «Secreto») en el expediente político-policial de Catalán al que me referí antes.

posible aceptar este nombramiento. Aunque el salario disponible es muy modesto, las oportunidades para trabajos científicos interesantes son poco habituales en vista de las amplias y precisas nuevas medidas de longitudes de onda de las que disponemos ahora como resultado de un extenso programa de medidas que está siendo llevado a cabo bajo la dirección del profesor George R. Harrison.

Entre los documentos de H. N. Russell se conservan cartas con ofertas análogas ¹⁸. El 19 de noviembre de 1937, por ejemplo, Russell se dirigía a Menéndez Pidal reiterando la invitación de un puesto de profesor visitante entre el 9 de febrero y el 21 de junio de 1938 para Catalán, financiado conjuntamente por los departamentos de Astronomía y Física de la Universidad de Princeton. Miguel tuvo, sin embargo, que rechazar todas las ofertas porque el Gobierno de Burgos no le concedía, ni a él ni a su mujer, el visado necesario.

Parece que por fin Catalán pudo ponerse en contacto con sus colegas norteamericanos, como demuestra el que Shenstone le escribiese a Segovia, al Centro de Información de Heridos, el 20 de septiembre de 1937. Tras señalar que no había podido contestarle antes por encontrarse de vacaciones, Shenstone le decía que «Miss Moore ha preparado una copia de la tabla de líneas completa de Fe I, incluyendo todas las identificaciones, efectos Zeeman, etc. Le enviaremos *todos* los datos que tenemos (incluyendo los suyos) cuando esté lista, suponiendo que nada haya sucedido antes que haga que no sea necesario. Miss Moore está muy ansiosa por disponer del espectro completo y hará todo lo que esté en su mano para hacer posible que pueda trabajar en él».

El 28 de marzo de 1938 era el propio H. N. Russell quien escribía a Catalán ¹⁹.

Querido profesor Catalán:

Nos ha proporcionado gran placer el saber que existe la

¹⁸ «H. N. Russell papers».

¹⁹ «H.N. Russell papers».

José Manuel Sánchez Ron



*To Dr. Miguel A. Catalán
the discoverer of multibolts
with the profound appreciation of me
who has benefited from his discovery
May 8, 1947
Henry N. Russell*

H. N. Russell. Fotografía dedicada a Catalán (Cortesía del American Institute of Physics)

posibilidad de que vuelva a su trabajo espectrográfico. Entiendo que le sería útil el disponer de una lista completa del espectro del Fe I. Por consiguiente, me es muy grato el enviarle una lista que contiene las longitudes de onda, números de onda, clases de temperatura de King, identificaciones previas en la medida en que son conocidas, y los efectos Zeeman. Una lista todavía más completa del espectro del hierro, con longitudes de onda más precisas, está siendo preparada bajo la dirección del profesor Harrison en el Massachusetts of Technology. Cuando esté completa esperan poder enviarle una copia. La lista que le adjuntamos representa el mejor material disponible en este momento, pero no es homogéneo.

Añadimos una copia de la *Multiplet Table* de Miss Moore, de la tabla de Rydberg y una separata de su propio artículo sobre el espectro del hierro, del que tenemos un duplicado.

6.4. LA JAE Y LA GUERRA CIVIL

Para finalizar este capítulo, voy a tratar, brevemente, los avatares de la Junta para Ampliación de Estudios durante la Guerra Civil. Es éste un tema obviamente relacionado con Catalán, toda vez que él era “un hombre de la Junta”. En qué medida era considerado como tal por aquellos para los que el nombre de la JAE era anatema, es algo que tendremos ocasión de comprobar en el próximo capítulo.

En 1934 moría Cajal, la gran pantalla en la que se habían estrellado tantos ataques a la Junta, siendo sucedido en la presidencia por Ignacio Bolívar, al que acompañaron Menéndez Pidal y Casares Gil como vicepresidentes. Si la ausencia de Cajal pudo o no significar un serio problema para la Junta, es algo que no es posible saber, ya que el auténtico problema estaba a punto de llegar: el comienzo de la guerra.

Renovada la Junta de la Asociación de Catedráticos de Instituto el 18 de agosto de 1936, a la que sólo podían pertenecer miembros de partidos integrados en el Frente Popular, estos decidieron incautarse de los edificios de la JAE, que era contemplada con recelo por un sector del profesorado de izquierdas, e iniciar la

depuración de su personal. Conocidos son los acontecimientos en torno a Castillejo, sacado de su domicilio para ser "paseado" por profesores que él conocía ²⁰. Fue conducido al antiguo Palacio del Hielo, donde estaban el Centro de Estudios Históricos y las oficinas de la Junta, sobre las que por entonces ya no tenía poder Castillejo, puesto que formalmente hacía tiempo que había abandonado su puesto de secretario de la Junta para encargarse de la Fundación Nacional para Investigaciones Científicas y Ensayos de Reformas, para que les entregara llaves y documentos. Gracias a la intervención del ministro Barnés, Menéndez Pidal, Paulino Suárez (médico de la Residencia de Estudiantes) y otros amigos, el asunto se resolvió saliendo Castillejo para el exilio a Londres, donde días antes había enviado a su familia, temeroso de la situación. El «Libro de Actas» de la JAE es, en algunos aspectos, algo más explícito sobre ciertas actuaciones que rodearon a este incidente. Tanto por su propio interés, como por constituir el posiblemente primer ejemplo de los problemas con que a partir de entonces se iba a enfrentar la Junta, merece la pena transcribir los párrafos correspondientes ²¹:

Seguidamente el señor Bolívar dio cuenta del intento de incautación de la Junta realizado el día 18 del corriente por varios miembros de la Asociación de Catedráticos de Instituto del Frente Popular, hecho que dio lugar a una reunión con el señor Ministro de Instrucción Pública en la que dichos señores manifestaron sus aspiraciones respecto a la renovación de la Junta y a determinados aspectos de la situación. Respecto al primer extremo, enterados los referidos señores de que el señor Ministro algunos días antes había hecho cesar en su cargo a varios de los vocales de la Junta, se mostraron conformes con esta eliminación. En cuanto al segundo punto se limitaron a pedir las listas de los pensionados correspondientes a las tres últimas convocatorias y de los ponentes respectivos. La Junta hizo que la Secretaría proporcionase acto seguido esa información. Los reunidos quedaron en juntarse de nuevo el día siguiente para determinar los nombres que hayan de ser

²⁰ Gamero Merino (1988, pp. 281-282) y Claremont de Castillejo (1967).

²¹ Archivos de la JAE.

propuestos al Ministerio en sustitución de los vocales que han sido cesados.

En agosto la JAE fue, efectivamente, remodelada. Ignacio Bolívar fue confirmado como presidente y Navarro Tomás como secretario. Los vocales cesados fueron: Casares Gil, Juan de la Cierva, Amalio Gimeno (el ministro fundador de la JAE), Inocencio Jiménez, Luis Marichalar, José Marvá, Gabriel Maura, Sánchez de Toca, Jacobo Stuart Falcó, José María Torroja y Juan Zaragüeta. Continuaron: Menéndez Pidal, Torres Quevedo, Manuel Márquez, Alvarez de Sotomayor, José María Castellarnau, García Tapia y Teófilo Hernando. Confirmaciones más testimoniales que efectivas, porque, como se puede apreciar en la última cita, la JAE había perdido gran parte de su autonomía. En septiembre de 1936, Wenceslao Roces, desde Instrucción Pública, declaraba caducadas todas las pensiones al extranjero, dándose un plazo de quince días para el regreso, salvo aquellos enviados por la República después del 18 de julio. Algunos reclaman dinero para volver, como le ocurría a Dámaso Alonso desde Alemania, y se les comunica que lo recibirán «en sus respectivas residencias de la zona leal», donde el ministro ya no tiene nada que ver con el institucionismo: a Francisco Barnés le sucedió en el cargo José Hernández Tomás, del Frente Popular. En diciembre de 1936 es nombrada una Comisión provisional en Valencia para continuar la labor de la JAE; Manuel Márquez era el presidente y Moreno Villa y Victorio Macho, vocales. Trasladada parte de la Universidad de Madrid a Valencia, también pasó allí la JAE, pero, naturalmente, la docencia y la investigación como fines quedaban cada vez más lejos de sus posibilidades. Elocuente en este sentido es el siguiente texto, correspondiente a la sesión del 13 de enero de 1937, celebrada en Valencia ²²:

A continuación fue leída la comunicación de la Subsecretaría de Instrucción Pública en que establecê las normas que deben observarse para la formación de las nóminas de personal de los Centros de la Junta, cuyo texto es el siguiente: "Es decisión

²² «Libro de Actas», Archivos de la JAE.

de este Ministerio que todas las actividades y todos los trabajos científicos prosigan o se reanuden con la mayor intensidad en la medida en que lo consientan las circunstancias actuales y dando, naturalmente, preferencia a aquellos trabajos que puedan tener una aplicación directa o indirecta a las necesidades de la guerra. El Ministerio de Instrucción Pública y Bellas Artes ofrecerá todos los medios necesarios para fomentar las actividades y las investigaciones científicas en todos los órdenes y, muy especialmente, aquellas que se hallan puestas bajo la dirección de esta Junta.

De hecho, ese mismo año, 1937, el Ministerio del que dependía la Junta pasó a denominarse de Instrucción Pública y Sanidad, necesariamente más atento a ésta que a la enseñanza e investigación. Realmente no hubo ya labor ni para la JAE como institución, ni para sus hombres como pensadores. Algunos participaron en actividades culturales orientadas a la formación obrera o a la ilustración de los soldados. La Casa de la Cultura organizada en Valencia —pasó a Barcelona pronto— para acoger a profesores, artistas e intelectuales, publicó varios números de las revistas *Nueva Cultura* y *Madrid*, donde aparecieron artículos de Bolívar, Moles, Rioja, Gili Gaya, Navarro Tomás, Duperier, Lafora, Sacristán y Carrasco Garrorena, personas formadas al amparo de la Junta. Otros corrieron destinos diversos: unos desposeídos de sus cargos (María de Maeztu, Luzuriaga, Domingo Barnés); algunos destinados al extranjero (Fernando de los Ríos, Francisco Barnés, Luis de Zulueta); y bastantes declarados incursos en el Artículo 171 de la ley de Instrucción Pública que castigaba con la expulsión a quienes no se presentaran en su puestos docentes, circunstancia agravada por la modificación de distritos universitarios, el agrupamiento en Valencia de algunas facultades (la de Ciencias de Madrid, entre ellas) y la disposición de 28/8/1937 obligando al profesorado a impartir sus clases donde el Ministerio decidiera. Se vieron afectados por el Artículo 171, entre otros, José A. Zubiri, Américo Castro, Sánchez Albornoz, Ortega y Gasset, Luis Recasens, Hugo Obermaier, Luis de Zulueta, Agustín Viñuales, Alfonso García Gallo, Prieto Bances, Alcalá Zamora, Pérez Bustamante, Gil Robles, Joaquín de Entrambasaguas, Albareda Herrera, Camón Aznar, Esperabé Arteaga y Blas Cabrera.

Si esto ocurría en la zona republicana, en la “nacional” se creaba, a comienzos de 1938, el Ministerio de Educación Nacional, bajo la dirección de Pedro Sáinz Rodríguez, quien puso todos los centros docentes bajo el patronazgo de Santo Tomás de Aquino. El 19 de mayo de 1938 se cumplían 26 años de la muerte de Marcelino Menéndez Pelayo. Se conmemoró con un decreto firmado por el propio Sáinz Rodríguez, en el que se declaraba la esperanza en el renacimiento científico de nuestra patria liberando a los dispuestos para el estudio «de la funesta esclavitud de camarilla o partidos». Por ese decreto quedó disuelta la Junta para Ampliación de Estudios, repartiéndose sus servicios entre las Universidades y el Instituto de España —que agrupaba a todas las Reales Academias-, y anunciándose para «fecha próxima y ocasión también de alto significado nacional la organización de otro grupo de Instituciones concernientes al estudio de las Ciencias de la naturaleza y matemática». Se anunciaba de esta manera la creación de lo que sería el Consejo Superior de Investigaciones Científicas, institución de la que me ocuparé más adelante y con la que, como veremos, también tuvo que ver Catalán.

CAPÍTULO 7

LA POSGUERRA. AÑOS DIFÍCILES

El final de la Guerra Civil no significó, como algunos —especialmente los científicos norteamericanos— podían suponer, el que Catalán pudiese retomar sus investigaciones espectroscópicas. Las heridas abiertas por la lucha fratricida no curaron tan rápidamente, más aún teniendo en cuenta el poco interés que mostraron en tal sentido los vencedores de la guerra.

En los dos capítulos que restan de este libro, me voy a ocupar de la vida de nuestro protagonista en los años posteriores a 1939. En el presente capítulo me centraré, en primer lugar y continuando lo ya visto anteriormente, en los intentos realizados por sus colegas del otro lado del Atlántico por comunicarse con él, para pasar a continuación a describir cómo se ganó la vida durante los años en que se vio apartado de su cátedra universitaria. En el capítulo siguiente —y último— trataré de sus actividades una vez que volvió a entrar en el mundo académico hispano. Obviamente, es imposible separar completamente ambas etapas; así, al referirme a sus relaciones con los científicos norteamericanos, tendré que entrar, para evitar demasiado penosas soluciones de continuidad, en actividades científicas que desarrolló cuando ya había retornado al mundo académico que acabo de citar.

7.1. CONTINÚA EL INTERÉS DE LOS CIENTÍFICOS NORTEAMERICANOS

Al poco de acabar la guerra, el 16 de junio de 1939, H. N. Russell volvía interesarse por la suerte de Miguel, que había regresado a Madrid. Habiendo obtenido la dirección de Ramón Menéndez Pidal, entonces en el Institut Hispanique de París, a

través de un compañero de Princeton, le escribió solicitándole noticias de su yerno. Volvía el astrofísico norteamericano a mencionar que estaban interesados «particularmente en el progreso de sus trabajos sobre el espectro del hierro, porque nosotros, así como otros espectroscopistas americanos, hemos dejado este tema hasta saber lo que él hace». «Hace un año —continuaba— le enviamos [a Catalán] algunos ejemplares de listas de líneas relativas al espectro del hierro, porque esperábamos ayudarle en su trabajo. Es posible, dadas las circunstancias extraordinarias, que el profesor Catalán no las haya recibido. En este caso, tenemos aún otro ejemplar de esas listas que podríamos enviarle, si ahora existe una probabilidad razonable de que esta vez las reciba realmente»¹.

Menéndez Pidal envió una traducción de la carta de Russell a Miguel, con una nota en la que le pedía que le pusiera «dos líneas de agradecimiento, para que no crea que es imposible que le escribas»², pero las dificultades eran demasiado grandes y no parece que Catalán se pusiera en contacto entonces con sus colegas.

Su silencio no impidió, no obstante, que estos continuasen escribiéndole. Desde Princeton continuaron llegándole solicitudes. Russell necesitaba datos acerca del hierro I para la revisión que él y Charlotte Moore estaban realizando de la tabla de multipletes, y por este motivo escribía a Catalán el 27 de marzo de 1940³. Tras mencionar que esperaba que con la llegada de la paz pudiese haber reanudado los trabajos en que «se encontraba inmerso antes del comienzo de la guerra», Russell le preguntaba si había obtenido términos adicionales de este espectro. En el caso de que así fuese, le agradecería que le pudiese informar de los datos obtenidos, ofreciéndose a calcular las combinaciones. «Nos daría un gran placer el darle un completo crédito cuando se publiquen los resultados», algo que tardaría todavía bastantes meses. Al mismo tiempo, el profesor de Princeton señalaba que

¹ «H. N. Russell papers».

² Archivo Catalán.

³ «H. N. Russell papers». Otra copia de la misma carta está fechada el 29 de marzo.

«había oído indirectamente [probablemente a través de Antunes] que estaba planeando trabajar en el Mn I. Disponemos de una gran cantidad de material sobre él procedente de los espectroscopistas del Massachusetts Institute of Technology, y estaríamos muy contentos de saber si está trabajando en él y lo que ha encontrado».

El 7 de junio Russell volvía a escribir a Catalán. No había recibido noticias suyas, pero sabía a través de Antunes que «había sido capaz de volver a sus importantes investigaciones sobre el espectro del hierro» ⁴. Y repetía sus peticiones del 29 de marzo, insistiendo en esta ocasión en la conexión con los trabajos del grupo de Harrison en el MIT, en donde estaban investigando el efecto Zeeman del Fe I con un nuevo imán que alcanzaba los 90.000 gauss.

En Madrid, sin embargo, a Catalán le resultaba muy difícil reanudar sus investigaciones. Entre sus papeles ha sobrevivido el manuscrito de una carta que desde el caserón de la Cuesta del Zarzal escribió a Russell el 18 de agosto de 1940 ⁵. En ella se aprecian las dificultades que se encontraba nuestro personaje: «Para enviarle una lista con todos los términos de Fe I, he estado trabajando en la versión de los manuscritos que escaparon a la destrucción durante la guerra. Como todos estos papeles son muy incompletos, creo que se pueden perder algunos términos, en especial los más elevados. Mi trabajo procede con algunas dificultades porque ya no trabajo en el Instituto Nacional de Física y Química (Rockefeller), en el que se ha cerrado la Sección de Espectroscopia. No me es posible consultar una biblioteca científica, de manera que desde julio de 1936 estoy prácticamente aislado del mundo. ¿Será tan amable de enviarme cualquier separata de que pueda disponer? Los trabajos del Bureau of Standards

⁴ «H. N. Russell papers». (los documentos que cito más adelante también proceden de este fondo). Por una carta posterior de Catalán a Russell (18 de agosto de 1940) sabemos que el científico español escribió a Russell el 12 de abril; esta carta, al igual que otra que le envió el 15 de junio, parece que nunca llegaron a su destino.

⁵ No sabemos si llegó a enviarla. En la lista de cartas de Catalán a Russell a la que he tenido acceso no aparece.

también son desconocidos aquí desde 1936. He escrito al Dr. Meggers, pero hasta el momento no he recibido respuesta. Tengo algunas dificultades económicas y debo trabajar en otros temas, no espectroscópicos, para ganarme la vida». Y añadía: «Me vendría muy bien disponer de los valores g del Fe I si el prof. Harrison consiente en enviármelos. Le enviaré a Vd. la lista requerida tan pronto como me sea posible. En el Mn I he estado trabajando durante algunos años y he medido muchos efectos Zeeman porque tengo una buena colección de placas que el prof. Back de Tubinga (Alemania) me dio cuando trabajé con él hace algunos años. Desgraciadamente los manuscritos ya no están en mis manos, por lo que no puedo enviarle la lista de términos».

Una descripción bastante precisa de las —frustrantes— relaciones entre Miguel y el grupo de Russell aparece en el importante trabajo que sobre el espectro de arco del Fe I publicaron en 1944 Russell, Moore y Weeks (1944) ⁶:

Los autores se complacen en expresar su gratitud a los muchos colegas que les han proporcionado resultados antes de publicarlos. Un agradecimiento especial es debido al doctor Miguel A. Catalán por su comunicación de muchos términos espectrales nuevos ...

Notables extensiones al análisis [del Fe I] fueron realizadas (independientemente) por Walters y Burns y por Catalán. Este último interpretó 2350 líneas como combinaciones entre 304 niveles de energía, descubrió 51 términos espectrales y determinó el potencial de ionización ... ⁷.

En 1939 Green encontró algún término nuevo, pero todos sabíamos que el Dr. Catalán seguía trabajando en el análisis. En 1936, en contestación a nuestra solicitud de sus nuevos términos para incluirlos en la *A Multiplet Table of Astrophysical Interest*, nos envió generosamente una lista de los niveles pares “bajos” y anunció que los demás nos los remitiría cuando terminase de copiarlos. Esta lista incluía términos singletes y

⁶ Citado en Velasco (1977, pp. 51-52).

⁷ Aquí se están refiriendo a los resultados incluidos en el artículo de Catalán (43) sobre el espectro del hierro publicado en 1930.

por vez primera permitía reconocer en un mismo espectro cuatro multiplicidades distintas.

Poco después estalló la gran guerra española. Nuestras comunicaciones se interrumpieron y no sabíamos si Catalán podía disponer de su laboratorio y sus papeles y ni siquiera si ese laboratorio y esos papeles existían aún. De todas maneras, para ayudarle a continuar su trabajo preparamos en Princeton una lista de líneas del Fe I que contenía todos los datos que nos eran asequibles, incluyendo datos de Zeeman obtenidos por Babcock, y se la enviamos a Catalán. Más de cuatro años después, el Dr. Catalán nos contestó remitiendo una lista de términos espectrales y constantes g del desdoblamiento magnético Zeeman, que incluía gran cantidad de resultados nuevos. Aún hoy, las comunicaciones son difíciles y Catalán no ha podido enviarnos todavía su extensa lista de líneas clasificadas. La hemos tenido que reconstruir a partir de los valores de los niveles ...

El Dr. Catalán debería aparecer también como autor del presente trabajo si no fuese por las dificultades de comunicación que nos han impedido el continuo intercambio y discusión de los resultados. Tal como están las cosas, nos vemos obligados a tomar la responsabilidad de la asignación final de las designaciones de los términos, el análisis de las configuraciones y la eliminación de los niveles dudosos ...

El presente trabajo es, pues, un ejemplo más de la cordial cooperación internacional entre los espectroscopistas, que es en gran parte responsable del rápido avance del análisis de los espectros complejos.

Las líneas anteriores muestran con gran claridad un aspecto de la espectroscopia que ha ido manifestándose ya a lo largo de este libro: su dimensión internacionalista. Mucho más que otras disciplinas científicas, la espectroscopia necesitaba de esfuerzos mancomunados, solidarios; el enorme número de datos que había que manejar, la gran diversidad de factores que pueden influir en la posición de las rayas espectrales (presión, temperatura, campos magnéticos, ...), hacía necesario el que los espectroscopistas colaborasen entre sí, algo que, asimismo, facilitaba las relaciones en el plano personal.

Al margen de sus comunicaciones con Catalán, entre sí los científicos estadounidenses también trataban el "caso Catalán". Así, Russell se dirigía a George Harrison —que de director del Laboratorio de Física Experimental había pasado a decano de Ciencias del MIT— el 30 de octubre de 1945:

Acabo de saber a través de mi colega el profesor [A.] Castro que es posible que se deje a Catalán, al que no se le permite trabajar en física en España al estar en las listas negras del Gobierno de Franco, el venir a este país si tuviese algún tipo de puesto visitante aquí. No hay duda de que es uno de los mejores en el análisis de espectros. Supongo que tendrás una cantidad considerable de material espectrográfico sin clasificar y que podrías acumular más rápidamente. Creo que Catalán sería de gran utilidad en este sentido si pudieses tomar un espectroscopista refugiado.

He hablado con Shenstone, que acaba de regresar, pero la situación aquí es todavía tan vaga que por el momento no podemos decir nada acerca de trabajos en espectroscopia.

Entiendo que Catalán es un liberal y no un rojo, pero no lo suficientemente negro como para ser aceptable para la Falange

Harrison respondió pronto y favorablemente a Russell, quien el 3 de noviembre acusaba recibo de la carta señalando que si Catalán «pudiese estar contigo durante varios años, sería una gran ventaja para todos los implicados y para el progreso de la espectroscopia. Espero que tu solicitud de apoyo [a la Carnegie Foundation] para tu nuevo programa sea aceptada pronto».

El 18 de febrero de 1947 Russell volvía a la carga de nuevo con Harrison, señalando que acababa de saber que el «Gobierno español probablemente dejaría ir a Catalán a este país para trabajar si se pudiesen encontrar fondos»⁸. Un día después se dirigía a Meggers para decirle que acaba de escribir a Harrison, que el problema era financiero y que aunque no esperaba nada del National Bureau of Standards, si tenía alguna sugerencia que, por favor, se la comunicase.

⁸ Por entonces Miguel ya había recuperado su cátedra en la Universidad de Madrid.

Finalmente, Catalán fue a Estados Unidos en 1948-49, invitado por la American Philosophical Society, a trabajar en el National Bureau of Standards con Meggers y Charlotte Moore, en el MIT con Harrison y en la Universidad de Princeton con Shenstone. Permaneció en Estados Unidos quince meses.

En algunos de sus trabajos posteriores se aprecia claramente la importancia que aquella estancia tuvo para la reanudación de su carrera científica. Dedicó (Catalán 69, 71), por ejemplo, más atención al efecto Zeeman, en el que antes que sólo había trabajado ocasionalmente, en, por ejemplo 1923 y 1934 (Catalán 21 y 49), debido, probablemente, a no disponer de los instrumentos necesarios, de los que sí dispuso en Estados Unidos. Así, después de explicar que el análisis estructural del espectro de arco del manganeso se hallaba en un punto en el que era imposible avanzar por falta de nuevas medidas de líneas y estudio del efecto Zeeman, Catalán y su estudiante Olga García-Riquelme (Catalán 71, p. 173) señalaban que para subsanar este problema «uno de nosotros (C.) obtuvo dos series de espectrogramas Zeeman en el Laboratorio de Espectroscopia del Massachusetts Institute of Technology, de Boston, en 1949, con campos magnéticos del orden de los 85.000 oersteds y utilizando dos espectrógrafos con red de difracción, cuya dispersión media es de unos 0,8 A/mm». Los electrodos empleados le habían sido proporcionados por Meggers, y estaban constituídos por polvo de manganeso electrolítico, comprimido con plata purísima, con lo cual la presencia de impurezas era prácticamente inexistente. También emplearon una serie de espectrogramas facilitados por el MIT y obtenidos con los mismos aparatos en 1939. Finalmente, las medidas se realizaron en el National Bureau of Standards y en el Instituto de Óptica del CSIC⁹.

⁹ En los agradecimientos, los autores manifestaban su reconocimiento «a los doctores W. F. Meggers y Ch. Moore-Sitterly, del N.B.S., y al Prof. G. R. Harrison, del M.I.T., por las facilidades prestadas en la realización práctica de este trabajo en los E.U.A. Al Prof. van den Bosch, del Zeeman Lab., de Amsterdam, por su colaboración en la puesta en marcha de los aparatos del M.I.T., de Boston, y a los Sres. R. Velasco y M. Losada, de este Instituto de Óptica del [CSIC], por su ayuda en la interpretación de patrones».

José Manuel Sánchez Ron

Análogamente, Catalán y Velasco (Catalán 68, p. 917) señalaban:

Durante su reciente estancia en Estados Unidos, uno de los autores de esta nota (Catalán) fotografió, en colaboración con el Dr. Van den Bosch, el espectro del manganeso en un campo magnético de alrededor de 80.000 oersted. Las placas se tomaron utilizando los instrumentos del profesor Harrison en el M.I.T. Se utilizaron también placas tomadas con el mismo aparato en 1939.

Muchos de los esquemas encontrados son asimétricos. Se ha realizado un estudio cuidadoso de estas asimetrías y de su interpretación cuantitativa, en términos del efecto Paschen-Back, en el Bureau of Standards y los resultados se publicarán pronto.

Tras aquella primera visita, Catalán volvería otras veces a Estados Unidos. Durante el curso 1950-51, por ejemplo, trabajó en problemas de niveles de energía invitado por la Universidad de Princeton y por el National Bureau of Standards. En uno de sus artículos (Catalán 81, p. 179) se menciona explícitamente aquella estancia:

En 1951, en el departamento de Física de la Universidad de Princeton, U.S.A., fue fotografiado por el autor de la presente nota el espectro del Mn, usando como fuente luminosa una chispa fuertemente condensada entre electrodos de metal manganeso muy puro. El instrumento empleado principalmente para las observaciones fue un espectrógrafo de red, en el vacío, que ha sido descrito repetidas veces por Shenstone [(1954)].

De hecho, en los agradecimientos Catalán señalaba que «este trabajo pudo realizarse gracias a la amable invitación del profesor A. G. Shenstone, de la Universidad de Princeton, que puso sus instrumentos a mi disposición y me ayudó con fondos de la Higgins Fund».

También se refería Catalán a la historia posterior de aquellas investigaciones, explicando indirectamente el por qué había tardado seis años en publicar su artículo:

El objeto principal de fotografiar aquel espectro era obtener una descripción lo más completa posible del Mn III que permitiera el análisis de los niveles de energía del Mn^{++} y de sus configuraciones electrónicas. Los resultados preliminares conseguidos en el análisis, que se realizaron en colaboración con Olga García Riquelme, han sido publicados en el libro de Charlotte Moore-Sitterly [(1952, p. 103)], pero la lista de líneas observadas ha permanecido inédita. Ahora, ante las reiteradas peticiones recibidas de conocer los detalles de aquellas observaciones, nos hemos decidido a su publicación ¹⁰.

Pero estamos traicionando ya demasiado la secuencia temporal. Hay, por consiguiente, que regresar a los difíciles años de la posguerra.

7.2. AL MARGÉN DE LA UNIVERSIDAD. EN LOS LABORATORIOS ZELTIA

Tras la Guerra Civil, Miguel se encontró con que le estaba vedado el regreso a su cátedra de la Universidad de Madrid, aunque en realidad no se le había desposeído oficialmente de ella. De hecho, continuó recibiendo regularmente parte de sus ingresos como catedrático, pero únicamente la mitad de los correspondientes al salario base, sin ningún tipo de complementos, lo que significaba que no podía, en modo alguno, mantener a su familia (ni siquiera a él sólo) con tales ingresos. Además (lo analizaremos en el próximo capítulo), le estaba vedado el acceso a su laboratorio en el Instituto Nacional de Física y Química, ahora perteneciente al Consejo Superior de Investigaciones Científicas, creado por el Gobierno del general Franco para sustituir a la vieja JAE, a la que se anatematizaba.

Ante tal situación Catalán, que volvió a vivir, junto a su mujer e hijo, en la casa de su suegro en la calle Cuesta del Zarzal

¹⁰ La región estudiada en este trabajo comprendía en principio la zona de entre 590 y 4.000 angstroms, pero por diversas razones únicamente se consiguió observar con intensidad suficiente la región 590-2.450 Å. Por ello sólo se daban a conocer las longitudes de onda e intensidades de las 851 líneas medidas en esa zona.

23 del olivar de Chamartín, no tuvo más remedio que buscar algún medio de ganarse la vida. Se vio obligado, en definitiva, a entrar en la industria privada.

Como ha contado su hijo Diego (Catalán, D. 1987, p. 15), durante algunos años (entre 1940 y 1946, cuando pudo volver a su cátedra) trabajó como asesor para «Mataderos de Mérida», para las fábricas de productos químicos Zeltia, para Industria Riojana y para los laboratorios IBYS. Vitaminas, DDT, células fotoeléctricas y colorímetros figuraron entre sus intereses de aquella época.

Es de su paso por Zeltia de donde nos han quedado más documentos ¹¹. Por este motivo a continuación me referiré brevemente a ese episodio de su vida, para que nos podamos hacer una idea más precisa de cómo transcurrieron aquellos años, en los que su formación como químico resultó esencial.

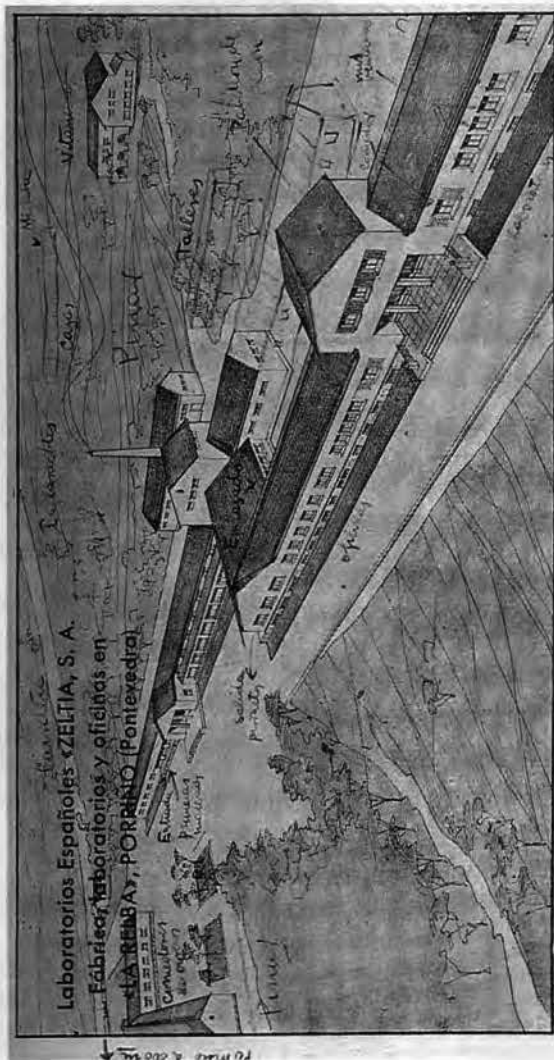
Las primeras noticias escritas de sus trabajos en Zeltia que me han llegado son a través de una libreta de notas que se ha conservado ¹². Ahí se observa que al menos desde finales de 1941, Miguel se ocupó de temas como: saponificación del aceite de pescado, análisis de muestras de concentrado de aceite ¹³, determinación de caroteno y vitamina A en la sangre, cálculo de las unidades de vitamina por gramo de sustancia, valoración de sulfamida en la sangre, determinación de vitamina C, análisis y preparaciones de distintos tipos de sustancias orgánicas, y valoración de alcaloides o soluciones de alcaloides. No hay duda, observando los datos de esta libreta, de que trabajó en estas cuestiones con intensidad, ni de que actuaba como químico, en general (pero no siempre) al margen de sus conocimientos espectrográficos.

Su trabajo para Zeltia se desarrollaba normalmente en Madrid, aunque el laboratorio principal de la empresa se encontraba en

¹¹ Archivo Catalán.

¹² Esta libreta contiene anotaciones fechadas desde el 26 de diciembre de 1941 (aunque hay anotaciones previas sin fechar) al 29 de julio de 1942.

¹³ Se tuvo que familiarizar con todo tipo de aceites (de almendras, bacalao, lino, oliva, ricino, sésamo, secantes, geranio, etc.).



VIGO
Capitán Carreró, 11
Teléfono, 1960
Apartado, 299
Dirección Telegráfica LABORZELTIA

"Zeltia, S.A." 3

Postal de Zeltia con anotaciones de Catalán

Porriño (Pontevedra) ¹⁴. No está claro cuando visitó por primera vez el centro de Porriño, ni con cuanta frecuencia fue allí, pero por la libreta antes mencionada sabemos que se trasladó a esa localidad el 26 de abril de 1942. Es posible que esta visita fuese propiciada por F. Calvet, el director científico del laboratorio, antiguo catedrático de la Universidad de Santiago separado tras la guerra de su cátedra (más tarde retornaría a la universidad, como catedrático de Bioquímica), pues el 13 de marzo de 1942, éste escribía a Catalán, desde Porriño, en los siguientes términos:

Querido Catalán:

Como quiera que me han encargado de vitaminas y de la dirección de [Faustino] Córdón, me permito hacerte algunas sugerencias, por si provisionalmente quisieras prestarnos tu valiosa colaboración, resolviéndonos algunos puntos y técnicas.

En primer lugar, cuando quieras puedes venir a enseñarnos a valorar la vitamina A, con el aparatito que has ideado, del que me ha hablado con entusiasmo León. Es imprescindible que Córdón aprenda a valorar, pues sin esa piedra de toque vamos a ciegas, y no podemos dar un paso.

Y añadía: «Aprovecho la ocasión para felicitarte por los éxitos rotundos en la valoración de Vit. A, pues por León me entero de que eres ya, indiscutiblemente para todo el mundo, la única autoridad en España en la materia».

Calvet estaba interesado en particular en la vitamina D, y sugería a Miguel que estudiase su valoración espectrográfica mediante el método de Brockmann y Chen, que parecía especialmente útil en presencia de ergosterina ¹⁵. «Nuestro plan —continuaba Calvet— es fabricar ergosterina, y proceder después a su irradiación. De ésta segunda parte, podrías también encargarte tú, si quieres. Me acuerdo del arco voltaico con electrodos de hierro

¹⁴ Laboratorios Zeltia, S. A., dedicados a la explotación químico-farmacéutica de materias primas españolas.

¹⁵ En presencia de la vitamina A no se podía hacer la valoración por ese método, pero Calvet no pretendía «valorar la D de los aceites de pescado, pues tenemos proyectada la valoración biológica, única posible —según parece— en este caso».

con el que tratabas a tu hijo, y me pregunto si —mientras no se recibe de Alemania el aparato de irradiación— podrías tú iniciar ensayos con un arco parecido. Opino que no hace falta en este caso atmósfera inerte, pues tanto la ergosterina como la vit. D son sustancias muchísimo más estables que la A».

El 8 de abril Calvet, que había sabido por [¿Julio? o ¿Leopoldo?] Palacios que Catalán esperaba una invitación algo más formal para ir a Porriño, le escribía que «te esperamos tan pronto como te sea posible venir. Hay que valorar unos hígados de atún y necesitamos que nos enseñes».

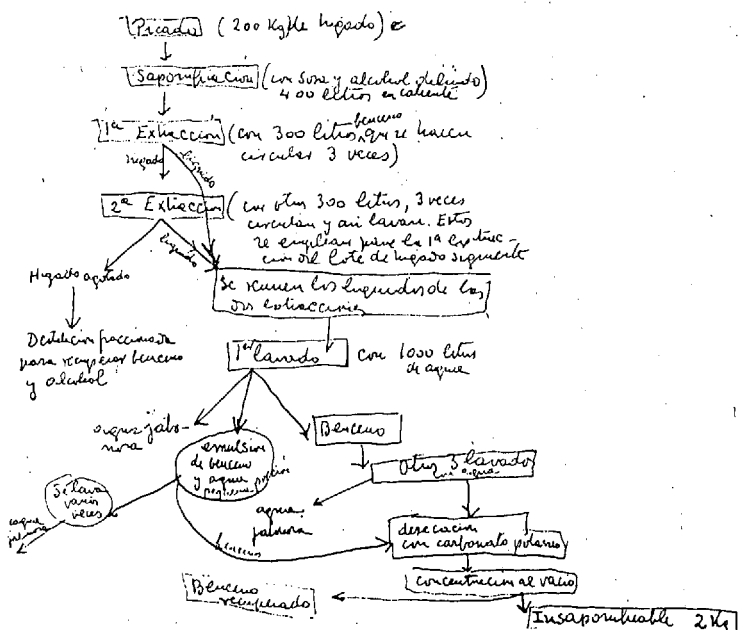
Parte del verano de 1942 lo pasó Catalán en el laboratorio de Porriño (llegó a Galicia a finales de julio y parece que volvió a Madrid a finales de agosto). En la primera carta que escribió desde Porriño a su mujer e hijo (se encontraban de vacaciones en Luanco con unos familiares), Miguel explicaba cómo pasaba el día:

Me levanto a las 8^{1/4} y me afeito y me doy una ducha y bajo a la fábrica que está a unos 100 metros de la casa atravesando el pinar. Desayuno leche, pan y un trozo de queso del país y me pongo a trabajar en el laboratorio o estoy en el pabellón de vitaminas viendo montar las instalaciones. A las dos nos ponemos a comer, los tres de aquí y Calvet y Meis que vienen de fuera. Luego entran Joaquín Novoa y otros dos (de oficinas) para la tertulia. A las 3 me subo a echar una siestecita de una 1/2 hora y luego bajo otra vez al laboratorio en donde trabajo hasta las 8 o 8^{1/2}. A esa hora poco más o menos viene [Andrés] León, que trabaja en otro pabellón, y estamos los dos, o con [Faustino] Córdón, nos vamos a pasear. Recorremos sitios muy variados y difíciles pues muchos caminos que parecen grandes no tienen salidas pues terminan en casas o en campos y nos vemos obligados a retroceder. A Gonzalo [Menéndez Pidal] no le gustaría este paisaje que es monótono dentro de su enorme variedad: las praderas, los pinos, el maíz, muchos emparrados y muchos aldeanos muy gorrinos ... A las diez volvemos a casa y al aire libre, pues dentro de casa hace calor, cenamos, cuando nos traen la cena, que suele ser a las 10^{1/2}. Generalmente solos León y yo pues Córdón se baja al pueblo y se entretiene llegando más tarde. A las once y media, poco más o menos, nos acostamos.

Acerca de su trabajo, Catalán señalaba que «en el pabellón de vitaminas reina una gran actividad; tengo un sin fin de obreros mecánicos montando los aparatos, electricistas, fontaneros, albañiles ... Se pretende que el lunes empecemos a fabricar. Ya veremos si podemos. Ya tenemos 6 toneladas de hígado y ahora estoy descargando otras dos». Mientras se preparaba todo (empezó a fabricar el 3 de agosto), se dedicaba a otras cuestiones: «Ayer me he pasado el día —escribía en la misma carta— preparando una *pomada* para curar heridas graves a base de sulfamidas, de León, y vitaminas, más: lo primero sirve para desinfectar y lo segundo para cicatrizar, pues según muchos trabajos estas pomadas son muy eficaces. Nos las piden de fabricas importantes en que se producen heridas frecuentes por accidente. Hoy saldrán las muestras para Bilbao. Ya ves que nos dedicamos a todo».

El 11 y 12 de agosto escribía (de nuevo a su mujer e hijo) señalando que «estoy concentrando el atún de modo que a última hora de la tarde sacaré el insaponificable. No sabré exactamente el rendimiento pues cuando no se trabaja en serie se van quedando siempre fracciones retrasadas que no es posible sumarlas. Pero en fin los resultados del atún no son los que esperamos con impaciencia sino los del bonito. Esto será mañana noche cuando lo sabremos. Desde luego no pueden ser buenos pues los que esperamos del hígado del laboratorio han dado 3.000 unidades por gramo y el atún nos daba 17.000. En esta *proporción* el insaponificable de bonito no puede tener más de 250.000 unidades gramo pues el de atún vale 1.500.000. Veremos si después de esos resultados se deciden a seguir fabricando con bonito o prefieren hacer gestiones para el atún». Siempre amante de la claridad, Catalán incluía en su carta un gráfico en el que explicaba las operaciones que hacían con los hígados.

Aunque fue, como hemos visto, de estas cuestiones de las que se ocupó principalmente aquel verano, tuvo tiempo de interesarse por otras, aunque fuese marginalmente. El 14 y 15 de agosto, por ejemplo, volvía a escribir a su mujer e hijo, y después de mencionar que había terminado una operación de insaponificable de hígado de bonito, obteniendo una concentración de 400.000 U.I., apuntaba que como tenía todos los problemas de la operación resueltos, «faltando solo la coordinación de horario que cada



operación tarda en realizarse», mientras todo eso se pusiese en marcha iba a ver «si estudio en el laboratorio la producción de vitamina E que está muy en boga pues es la de la reproducción y en los animales favorece mucho la puesta de huevos, cría de todos los animales, etc., y también en los seres humanos».

Parece que a finales de agosto Catalán regresó a Madrid, pero no por ello dejó de mantener relaciones con los químicos de Porriño. Disponemos, por ejemplo, de algunas cartas de Faustino Cordon en la que éste le informaba acerca de cómo progresaban los trabajos en la localidad gallega. El 5 de septiembre de 1942, tras haberle dado cuenta, con todo detalle, «de la marcha de la fabricación durante la semana que hoy termina», Cordon le pedía que no olvidase la «adquisición del material de laboratorio que tan necesario nos es; le recuerdo como más urgente *gomas de vacío, goma ordinaria*, tapones de goma, un vacuómetro de mercurio y matraces de distintas capacidades para vacío, cápsulas

(algunas de gran capacidad), etc.; ya sabe Vd como andamos de todo»¹⁶.

Debido a su trabajo para Zeltia, Catalán tuvo que ponerse en contacto con Francisco Grande Covián, a quien había conocido durante sus años de estudiante en Madrid, ya que iba con frecuencia a la Residencia de Estudiantes, en donde residía Grande. En palabras de éste¹⁷:

Catalán trabajaba entonces en Zeltia y yo, que estaba académicamente en la misma situación que él, lo hacía en el Instituto de Investigaciones Médicas del Profesor Jiménez Díaz.

Acudió a mi, buscando ayuda para algunos problemas que

¹⁶ Al margen de su conexión con Catalán, algunas de las misivas de Córdón resultan útiles para entender su propia formación científica. Así en una carta que envió a Miguel el 23 de diciembre de 1943, Córdón señalaba: «Este mes hemos continuado el trabajo de que le hablé intentando identificar un posible fermento que acompaña a la insulina argentina inactivándola. El mes pasado pudimos demostrar la ausencia de tripsina y ahora de catépsina con lo cual se pueden descontar las proteasas y pasaremos a investigar con nuevas técnicas otras encimas (probablemente de óxido-reducciones). Tenemos un magnífico guía en el libro "Die Methoden der Fermentforschung" dirigido por Baman y Myrbäck y en el caso de las catépsina incluso la suerte de una puesta al día del problema en los últimos n.ºs del "Biochemisches Zeitschrift". Estoy entusiasmado porque estoy siguiendo un verdadero curso de biología bajo la experta dirección de Calvet con todo rigor y admirando la precisión que llega a conseguirse en la medida de fenómenos tan complejos por la acertada elección de ensayos simultáneos en los cuales se varían convenientemente las mezclas y condiciones físicas a que éstas se someten. Los dos ensayos efectuados (el de la tripsina según técnica de Willstätter y Waldschmidt-Leitz en que se mide la hidrólisis por el aumento de carboxilos determinados volumétricamente en presencia de un incremento igual de grupos amino; y el de la catépsina según el norteamericano Ansen que mide la hidrólisis del substrato valorando la tirosina producida por ella con una reacción coloreada) son de gran elegancia y precisión.»

La última carta de Córdón a Catalán que se encuentra en los papeles de éste, es una fechada el 15 de marzo de 1944 en la que Córdón anunciaba «una más larga detallándole todo el trabajo sobre hígado de pescado y sobre irradiación de ergostesol hecho en lo que va de año. A pesar de mi interés por ambas cuestiones la imposibilidad de obtener resultados de interés han ido demorando mi carta. Por la mala calidad del hígado recibido la campaña de hígados ha sido muy mala como verá usted por la mía inmediata».

¹⁷ F. Grande Covián a J. M. Sánchez Ron, 2 de octubre de 1992. Parece que Catalán residió durante algún tiempo en la Residencia.

tenía con las determinaciones de la vitamina A, de las que se ocupaba.¹⁸

Con la aquiescencia del Prof. Jiménez Díaz, le invité a venir a nuestro Laboratorio y pudimos resolver el problema que le preocupaba. Pudimos demostrar que en algunos de los productos que él estudiaba, existían sustancias inhibitoras de la reacción de Carr y Price que él empleaba para la determinación de la vitamina y que el color desarrollado por la reacción no seguía la Ley de Beer.

Este trabajo dio lugar a dos publicaciones firmadas conjuntamente por Catalán y Grande Covián, que aparecieron en la *Revista Clínica Española* (Catalán 62 y 63). No terminó allí, sin embargo, su colaboración científica. El interés de Grande por el metabolismo energético exigía disponer de métodos para el análisis de los gases respiratorios, pero no tenía aparatos adecuados. No obstante, pudo adquirir un interferómetro Zeiss que permitía el análisis de gases con precisión. «Pero la técnica de empleo [de este aparato], descrita por un grupo de investigadores alemanes, resultaba bastante engorrosa —ha recordado Grande Covián recientemente—¹⁹. Miguel se interesó por este problema y con su ayuda pudimos simplificar los cálculos y construir un dispositivo que permitió llevar a cabo las medidas que yo necesitaba». El resultado de esta nueva colaboración fue otro artículo, publicado en 1944 (Catalán 65).

El verano de 1943 Catalán volvió a pasarlo en Porriño. De nuevo, al encontrarse lejos de su familia durante esos meses, los escribía con frecuencia, y esas cartas nos permiten hoy reconstruir algunos de sus trabajos.

En una carta que escribía a su mujer y a su hijo Diego, que se encontraban en Luanco, el 28 de junio, se lee: «Ya está pasando

¹⁸ Catalán se había ocupado antes de, por ejemplo, la vitamina A y el caroteno en la sangre (ver más adelante). En una libreta de notas de Catalán se encuentran anotaciones que demuestran que también se ocupó de la vitamina C en su colaboración con Grande Covián. Se lee allí: «24 Ene. 1942 (Jiménez-Dz con Grande. *Determinación de Vitamina C*). A continuación se describían los procedimientos operativos seguidos.

¹⁹ Grande Covián a Sánchez Ron, c. nota 17.

el primer día de mi destierro veraniego. A ver si pasa deprisa». Y en otra (3 de julio):

Convendría que lloviera porque el maíz y las judías y las patatas están a punto de secarse. Durante 20 m. llovió a cántaros. Fue poco para la sequía pero menos es nada. Nosotros nos alegramos porque por la falta de agua nos han rebajado al 50 % la electricidad. En Vigo no funcionan más que la mitad de los tranvías, no hay ascensores, planchas eléctricas, etc. En Pontevedra sólo dan agua a las casas 2 h. al día ...

He construido un aparato para la medición con nuestros propios medios y marcha estupendamente pero no se ha podido hacer funcionar horas seguidas pues falta la corriente con frecuencia y se interrumpe. Quiero ver lo que se calentará para calcular bien las dimensiones del refrigerador pues la lámpara se calienta mucho y temo me hiervan los líquidos en una acción prolongada. Hemos conseguido Cordón y yo una extracción de carotenos de la zanahoria. Nos ha cedido 2 kg. [?] de su huerto y con ellos hemos empezado una operación semiindustrial. Primero se ha picado (con una máquina de carne), luego se ha machacado varias veces con alcohol de 96. Luego en un extractor de reflujo se está extrayendo con un mezcla de alcohol y éter de petróleo. Veremos que tal marcha. Los primeros líquidos, que ocupan mucho volumen (unos 3 litros), los hemos concentrado *al vacío* para reducirlos a pequeño volumen (1/2 litro) sin elevar la temperatura más de 40°. Y ahí en esa fase estamos. Hoy seguiremos a ver si podemos llegar a la cristalización del caroteno y ver que proporción contiene. En caso de que saliera económico haríamos una especialidad pues el caroteno es vitamina A (*provitamina*, esto es, sustancia que el organismo acumula y convierte en vitamina A).

A su esposa, Jimena, 12 de julio:

Fernández está muy interesado en el problema de la zanahoria y el caroteno. Veremos a ver si lo resuelvo con éxito. El problema está no en extraerla sino en conseguir después que cristalice y con rendimiento. Hoy tengo unos extractos en la cámara frigorífica que hice el sábado. Me di un día tremendo pues hice lo menos veinte tratamientos seguidos con agitación y sudé varios kilos. Porque yo aquí con la humedad del clima

(a pesar de la sequía) estoy siempre envuelto en agua. Menos mal que en el laboratorio estoy siempre con las sandalias y eso me refresca.

Y el 28 de julio (de nuevo a Jimena):

Ya ha cristalizado el caroteno. Esta mañana sacamos de la cámara el tubo en que debía haber cristales y los había ... Ahora ya falta menos pues variaremos lentamente las proporciones de los líquidos hasta ver si damos con el mejor rendimiento del producto. Pero ya sabes que los orgánicos dicen que producto cristalizado producto obtenido.

La cristalización del caroteno le llenó de alegría, como se ve en una carta que escribía ese mismo día a su hijo:

Hoy estoy muy contento pues acabo de conseguir la cristalización del caroteno y así ya voy a poderlo obtener en cantidad. Me ha costado muchos trabajos porque aunque lo conseguía extraer se quedaba en la disolución y ya sabes que hasta que un cuerpo no cristaliza no se consigue en estado de pureza. Pero al fin ya parece que marcha el procedimiento.

La precariedad, una precariedad que abrumaba a España, era la norma, como se comprueba en una carta que envió a Jimena (31 de julio):

Vino Sobrini [uno de los directivos de Zeltia en Porriño] a verme para hacer planes para el futuro. Como teníamos dificultades para resolver la vitamina A, pues no llegan atunes, no del Mediterráneo ni de Canarias, hemos decidido sembrar ya una buena parcela de zanahorias a ver si obtenemos caroteno con que sustituir en las especialidades que ya están aprobadas, "Complemt" y "Zeltivit 5". Respecto al aparato de irradiación de la vitamina D, que no acaban de terminarlo, lo iré a ver a Vigo con Cerdón y así se lo entregaré a éste. Las valoraciones las haré en Madrid (para lo cual me enviarán los líquidos irradiados) en Rockefeller [¿en colaboración?] con Izu.

En Madrid, Miguel tenía que atender las consultas que se le hacían desde Porriño. Un ejemplo en este sentido es la carta que

recibía el 10 de abril de 1944 desde allí, en la se le pedía que les diera su opinión sobre una valoraciones realizadas acerca de una solución de vitamina A, «supuesta equivalente a Vigantol, envasados en frascos goteros de 5 c. c.».

Al menos el verano de 1945 lo volvió a pasar Catalán en Porriño (el año siguiente ya se reincorporó a su cátedra). El 19 de julio de aquel año escribía a su hijo: «Yo sigo trabajando en la fábrica en varias cosas pero sobre todo en ver si logro hacer cápsulas de gelatina llenas de medicamento. Hoy ya he conseguido algunas regulares. Un molde caliente se cubre con una hoja fina de gelatina. Se vierte encima de ésta, que hace de cubeta, el líquido y se cubre con una 2.^a hoja de gelatina. Se pone el molde de encima y luego se comprime uno contra otro con una prensa fuerte ... El líquido abomba la gelatina y forma una cápsula y por la presión las dos hojas de esta se sueldan a la vez que queda cortada del resto de las láminas. Al separar los moldes aparecen las cápsulas terminadas. Esto es la teoría. Yo he conseguido que suelden pero contienen mis cápsulas poco líquido todavía».

7.3. FÍSICA Y QUÍMICA ELEMENTALES

Otra actividad a la que se dedicó Catalán después de la guerra fue la de escribir libros de física y química elementales, una actividad en la que ya tenía experiencia, puesto que antes de la guerra había preparado, junto a Andrés León, tres tomos de *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y la Química* (primer, segundo y tercer cursos), que publicó la Junta para Ampliación de Estudios para el Instituto-Escuela (Catalán 44, 48 y 50). De hecho, tras la guerra Miguel también se dedicó a la enseñanza de estas materias, ya que colaboró en un proyecto pedagógico iniciado por su esposa, Jimena: el Colegio «Estudio», que pretendía continuar el espíritu del Instituto-Escuela y de la entonces tan denostada Institución Libre de Enseñanza. Catalán dio clases de Física y Química, y de Matemáticas, entre 1940 y 1946, es decir hasta que se le restituyó en su cátedra de Estructura Atómico-Molecular y Espectroscopia.

El mismo año en que finalizó la Guerra Civil, Catalán (59) publicaba un libro de *Física y Química*, que cubría el material correspondiente al sexto curso del Bachillerato. Significativamente llevaba la siguiente dedicatoria:

A mis alumnos de Segovia, que tanto han contribuido a la realización de este libro con sus discusiones, en nuestra diaria convivencia escolar.

Esta *Física y Química* era un texto más avanzado que los tres tomos que había preparado con Andrés León. En la «Introducción», Miguel explicaba el talante con el que había abordado su escritura: «El libro representa, esencialmente, un gran esfuerzo por poner su texto a la altura del presente momento científico: trata de las cuestiones fundamentales clásicas, despojándolas de aquellos detalles que históricamente tuvieron interés alguna vez, pero que en la actualidad lo han perdido, y en cambio se esmera en exponer con detenimiento los problemas que preocupan al mundo de hoy día». Consistente con estas ideas, entre los 39 capítulos de esta *Física y Química* se encuentran algunos que daban una buena idea de algunos de los aspectos más relevantes de las ciencias físico-químicas contemporáneas: «El aspecto ondulatorio de la luz. Las diversas radiaciones», «El aspecto corpuscular de la luz», «El aspecto ondulatorio de la materia», «Los aspectos corpuscular y ondulatorio del Universo son complementarios. Inexistencia del éter», «Radiactividad», «Termoquímica, equilibrios químicos y catálisis fotoquímica», «Los átomos por fuera. El por qué del sistema periódico», «Los átomos por dentro. El núcleo», «Moléculas. Redes cristalinas. Fuerzas de valencia», «Teoría iónica. Oxidación y reducción» y «Proteínas».

También pretendía nuestro protagonista tomar en consideración la historia de la ciencia, especialmente los científicos hispanos, y así escribía que en su libro intentaba volver «la mirada a la Historia para desenterrar de ella los valores españoles que contribuyeron al avance de la ciencia y a los cuales los extraños relegaron al olvido; fue en parte por nuestra desidia, pues nosotros tampoco los defendemos ni buscamos ocasiones en que rehabilitarlos. Así los libros españoles, los diccionarios, pasan

sobre estas figuras sin valorizarles o a veces, lo que es peor, hasta desacreditando la opinión favorable de algún extranjero». Quien sabe si al escribir éstas líneas, Catalán no estaría pensando en su propio caso; en el de un científico que había realizado un descubrimiento de gran importancia, que había continuado investigando a gran altura, y que ahora se veía marginado, separado de su cátedra universitaria, imposibilitado de acceder a su propio laboratorio.

Su texto de *Física y Química* representa el producto de los años que pasó durante la guerra como profesor en el Instituto de Segovia (y, por supuesto, también el fruto de la experiencia que atesoraba como profesor del Instituto-Escuela), pero a la vista de los problemas económicos a los que, al carecer de un empleo fijo, se enfrentaba, no es sorprendente que intensificase este tipo de actividad. De hecho, entre sus papeles se han conservado muchos documentos relacionados con su actividad como escritor de textos de Bachillerato. En uno de esos documentos, un borrador de contrato fechado en marzo de 1941, se especifica que su contribución iba a formar parte de un proyecto colectivo, una «Síntesis de la Enseñanza Media» en dos volúmenes, el primero de Ciencias y el segundo de Letras. El volumen de Ciencias comprendía tres partes: «Ciencias Naturales» por Salustio Alvarado, «Física y Química» por Catalán y «Matemáticas» por Diego Montañez. En cuanto al tomo de Letras, iba a estar dividido en cuatro partes: «Historia» por Rafael Ballester, «Geografía» por María Comas (esposa de D. Montañez), «Filosofía» por Vicente Feliú y «Lengua y Literatura» por Gonzalo Menéndez-Pidal.

Varios son los libros que, en colaboración con Andrés León y formando algo así como una serie de «Cursos de ciencias físico-naturales. S. Alvarado, M. Catalán y A. León»²⁰, produjo Miguel. En 1943, por ejemplo, aparecía una Física y Química para séptimo curso (Catalán 64), dividida en 13 capítulos de física y 15 de química (orgánica). En lo que a la física se refiere, este texto es menos avanzado que el libro publicado en 1939, no así en lo que a la química se refiere, que incluye capítulos dedicados a, por

²⁰ Es decir, se terminó modificando algo el plan inicial.

ejemplo, «Albuminoides o próticos», «Vitaminas», «Fermentos o enzimas» e «Industrias basadas en fermentaciones».

En general es difícil, y no demasiado interesante, seguir las distintas variaciones y ediciones de estos textos ²¹ y, basta con insistir en que cumplieron la doble función de contribuir a la educación de un buen número de generaciones de estudiantes de Física y Química de Bachillerato, así como a ayudar a la subsistencia material de sus autores (se manejaban normalmente ediciones de 10.000 ejemplares).

Durante sus estancias en Porriño también aprovechaba Catalán para avanzar con sus textos de bachillerato. El 16 de julio de 1943, por ejemplo, escribía a Jimena:

Esta mañana he trabajado un buen rato en el libro que ya tengo encauzado. Los primeros días los he perdido en orientarme y he leído los libros del «Progreso de la física» ingleses, que te dije había recibido, para sacar las cuestiones nuevas que puedan ser añadidas pero ahora ya voy sobre ruedas. Escribo en sucio, luego lo redacto mejor y al día siguiente o cuando puedo lo paso a máquina en donde le doy la última corrección. Estos primeros capítulos son muy difíciles y tengo que hacer gran esfuerzo para no "subirme" y ver de tratarlo elementalmente y sin embargo en pocas páginas. Yo celebro hacer el trabajo porque así el curso de Diego en la escuela lo podré llevar con facilidad, que de otro modo me costaría mucho más y no sé si dispondría de tiempo y paciencia. Yo creo que este curso séptimo tenéis que planearlo lo más descargado de todas las materias accesorias que no van a ser objeto de examen, logrando así la máxima eficacia en los repasos; salvo naturalmente que hubiera quedado alguna materia que fuera indispensable de cultura y que no se haya tratado por cualquier causa. Me refiero especialmente a los idiomas que no entran en el examen que no haya que estudiarlos. Entérate si preguntan alemán y francés y si no lo hacen, pues son más horas que tendrán a su disposición. Yo tengo pensado, si me dais sitio en el horario, hacer un buen curso de trabajos prácticos con los de

²¹ Así nos encontramos, por ejemplo, con otra *Física y Química* (Catalán 66), esta vez para cuarto curso (tercera edición de 1947).

7º, que como son poquitos la estrechez del laboratorio me lo permitirá.

Y en este punto Miguel detallaba algunas reformas estructurales que deseaba introducir —«si no hay que hacer obra»— en el aula (instalación de grifos, desagües, enchufes, etc.).

Durante la mayor parte de la primera mitad de la década de los años cuarenta, este fue el mundo de Miguel Catalán: enseñanza elemental, trabajos para industrias como Zeltia, elaborar sobre datos espectroscópicos que había conseguido antes de 1936 y que sus colegas norteamericanos le reclamaban. Un mundo, en definitiva, acorde con la España de aquella época, en la que prejuicios ideológicos provocaban la dilapidación de saberes que tanto había costado producir.

CAPÍTULO 8

RETORNO AL MUNDO ACADÉMICO

8.1. RECUPERACIÓN DE SU CÁTEDRA

Casi siete años desde el término de la guerra tardó Miguel Catalán en recuperar de manera efectiva su cátedra universitaria. No sirvieron de mucho, al menos no inmediatamente, las invitaciones que recibía de Estados Unidos, y que algunos familiares y amigos transmitían a las autoridades españolas. Tampoco sirvió el que hubiese sido invitado a Portugal en marzo de 1940 para pronunciar cuatro conferencias de su especialidad, siendo su visita ampliamente aireada en la prensa lusa ¹. Y no fue únicamente la prensa: autoridades como el ministro de Educação Nacional le recibieron con todos los honores ².

Su regreso a la universidad terminó produciéndose a comienzos de 1946. Unas notas que se encuentran entre sus papeles, parecen indicar que su primera lección —al menos la que él consideraba como primera lección *oficial*— tuvo lugar el 2 de febrero, un sábado ³. El guión que preparó para aquella clase se

¹ En la invitación debió de intervenir Antunes, según se deduce del contenido de una carta de éste a Catalán fechada el 14 de enero de 1940. En esta misiva, Antunes se refería a una carta que el Instituto para la Alta Cultura había dirigido a Catalán el 6 de diciembre de 1939 invitándole, y que por lo visto se había extraviado (probablemente porque se la enviaron a la Universidad de Madrid).

² El eco de la visita de Catalán en la prensa portuguesa se observa en, por ejemplo: *Diário de Lisboa* (5 y 12 de marzo), *Diário de Notícias* (6 y 9 de marzo), *Diário de Manhã* (6, 8, 9, 10 y 12 de marzo) y *O Seculo* (6, 7 y 8 de marzo).

³ Las precisiones sobre «al menos la que él consideraba ...», responde al hecho de que entre sus papeles se encuentran también las notas de una clase sobre «Las valencias del carbono», con fecha, «Martes 22 de enero de 1946».



Caricatura de Catalán aparecida en el *Diario de Notícias*, 6 de marzo de 1940 (Lisboa)

abre con un escueto «Decíamos ayer», que cuando pronunciado debió sin duda estremecer a aquellos amigos de Miguel presentes. Ausentes personajes como Cabrera o Moles, la Facultad de Ciencias madrileña —y la española también— recuperaba a su otra gran luminaria de las ciencias físico-químicas. Con él en la Facultad, se podía pensar —probablemente una vana ilusión— que ni el pasado había muerto completamente, ni el futuro inminente estaba absolutamente perdido.

Aquel sábado del invierno del 46, y tras reclamar, a la manera de aquel otro gran maestro salmantino, el honor de un pasado y de una continuidad que le pertenecían, aunque se los hubiesen substraído, Miguel habló, según sus notas, sobre ⁴:

Thomson divide lo invisible y saca el electrón.

Rutherford encuentra el núcleo del átomo.

Rutherford descubre el protón.

Chadwick descubre el neutrón.

Fermi frena los neutrones.

Lise Meitner y Otto Hahn encuentran el bario en la ruptura del uranio.

Meitner camino del destierro halla la explicación; fisión. Calcula energía (56 y 36 kriptón; 200 millones e.v.).

Frisch telegrafía a Bohr. Martes 24 de Enero 1939.

Bohr y Fermi calculan.

Consulta de sabios con Pegram. En Columbia repiten. Miércoles y jueves.

Reunión en Washington el viernes. Habla Bohr ...

Sábado tarde comprobado en todos laboratorios.

Telegrama de Frisch que lo hace antes.

Teoría de Bohr y Wheeler.

Nier prepara el primer trocito de U-235 (de Minnesota 27 años)

Se comprueba que éste es el que se fisiona.

Dificultades de aislamiento vencidas.

Problema de interés en esta cátedra.

⁴ Según Velasco (1977, pl 97), la primera lección de Catalán versó sobre los multipletes. Las notas de Catalán se corresponden mejor, no obstante, con los recuerdos de otro de sus alumnos, Fernando Rico, quien me indicó que aquella primera lección tuvo que ver con la energía atómica.

Fue aquella la primera lección de un curso de doctorado sobre la estructura del átomo, que se extendió entre febrero y mayo (normalmente los miércoles y sábados) en la sección de Químicas de la Facultad de Ciencias ⁵. En él se ocupó de muchos temas habituales de la estructura atómica, adoptando a menudo una aproximación de carácter histórico: contribuciones, por ejemplo, de Rutherford, descubrimiento de los elementos químicos, radiactividad, la materia y la energía, momentos principales en el desarrollo de la mecánica cuántica y física nuclear. Sin embargo, el tema en el que más se detenía era el relacionado con la física nuclear, prestando especial atención a cuestiones como reacciones en cadena, propiedades y medios de obtención del uranio, fabricación del plutonio, métodos de separación de isótopos (difusión gaseosa, térmica, electromagnética y electrolítico), control de "pilas" atómicas o futuro de la energía atómica.

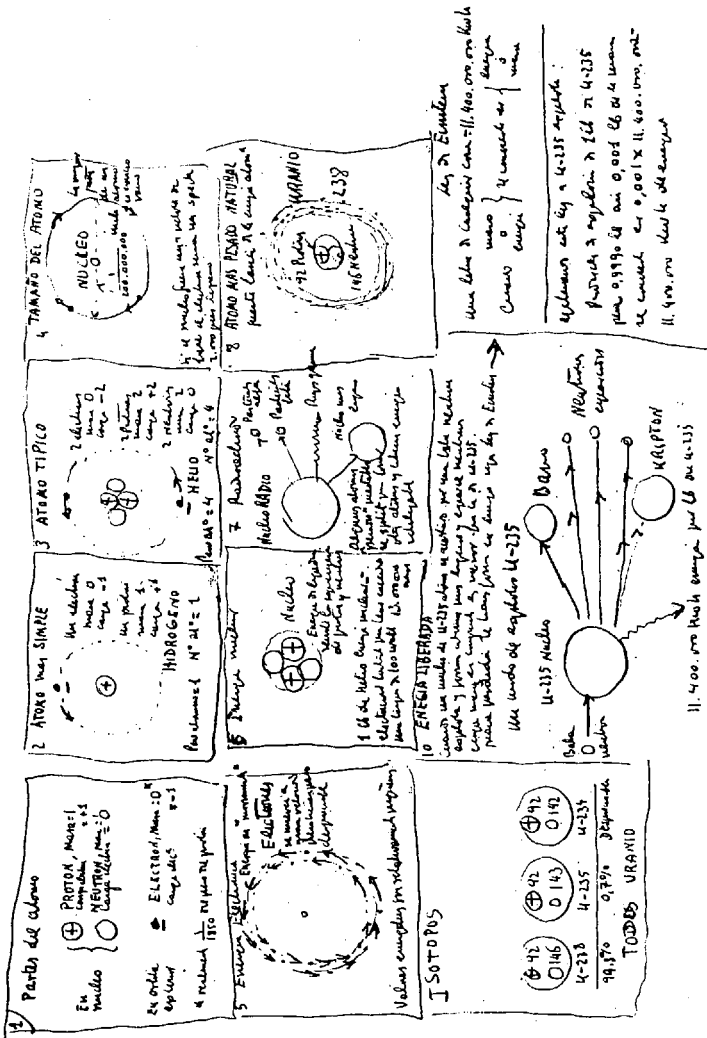
La presencia de la física y energía nucleares en este curso de doctorado es una manifestación del gran interés que mostró Catalán, tras la noticia del lanzamiento de las bombas atómicas sobre Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945, por este tema. De hecho, han sobrevivido pruebas de que muy poco después de esa noticia, Miguel se planteó escribir un libro sobre el asunto. Se trataba de un texto en colaboración, pero, desgraciadamente, no hay indicios de quien fue el colaborador.

El proyecto estuvo a punto de culminarse, y entre los papeles de Catalán se conserva el manuscrito de la obra, obviamente no pulida ni completada totalmente, pero sí bastante desarrollada. La introducción ya se había escrito y en ella se señalaba el proceso seguido en la composición del libro:

Este libro fue planeado por los autores y redactado en gran parte en Octubre y Noviembre de 1945, poco tiempo después de haberse recibido los informes sobre la bomba atómica en España.

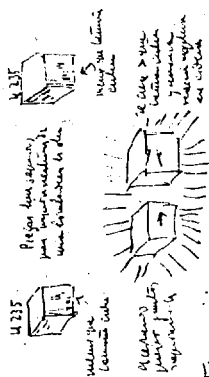
La aparición por aquella época de varios libros sobre la bomba o sobre la energía atómica de contenido más o menos

⁵ *Apuntes de Estructura del Átomo*, Doctorado en Ciencias Químicas. Madrid. Catedrático: Dr. Catalán», 108 páginas. Multicopiado.

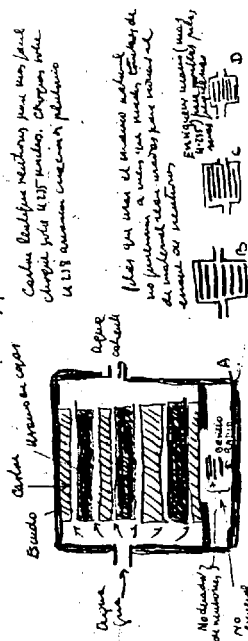


Ilustraciones preparadas por Catalán relativas a la energía nuclear para el libro (inédito) que preparó por los alrededores de 1945-6

PRINCIPIO DE EXPLOSION ATOMICA



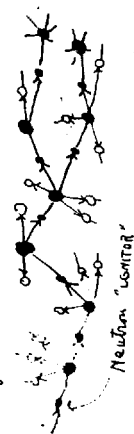
La Pila "Quena" 4235 near General Caceres y Pichincha

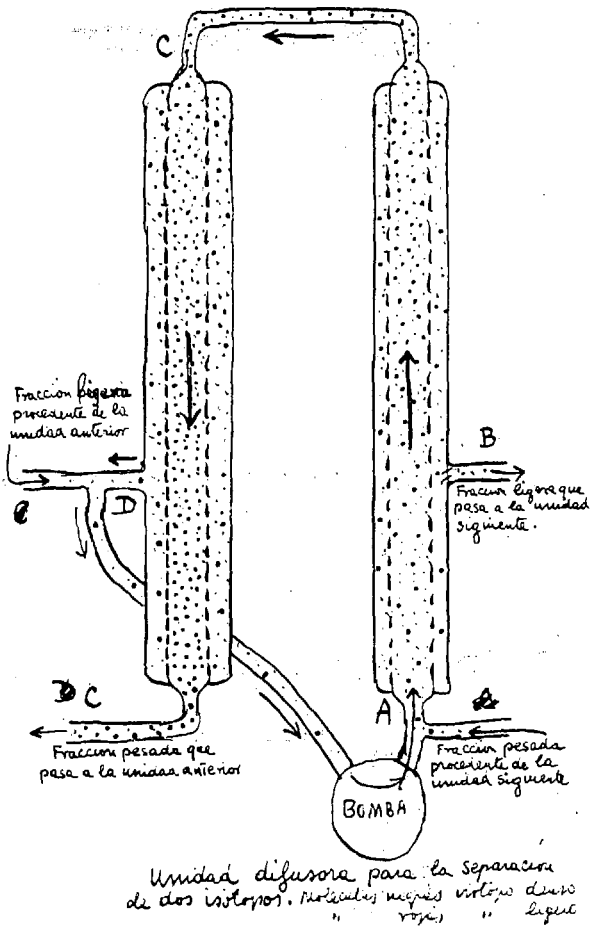


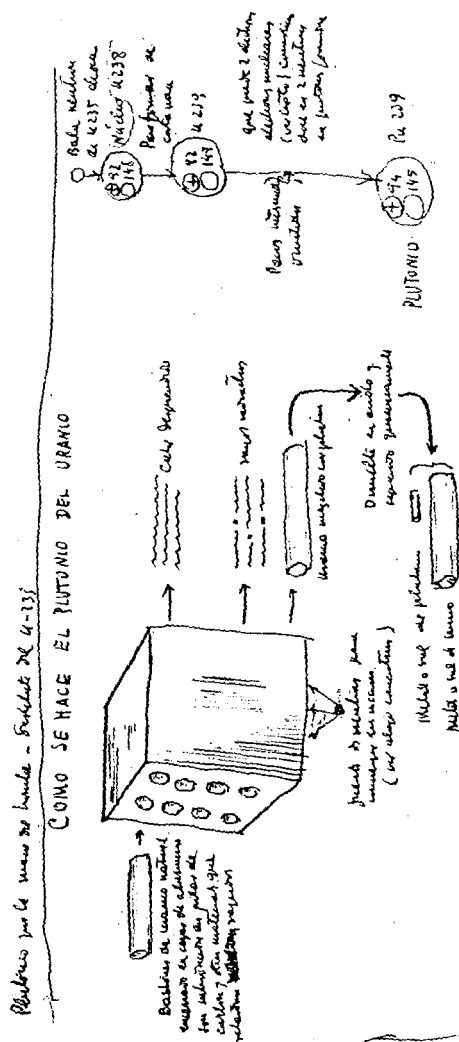
—Cadenes explorant



Ecdura epilibrida Linn. var. blumeni postica novae sp.







COMO SE PODRIA APLICAR LA ENERGIA ATOMICA

1 Calentador de agua



Calor para procesos



Calentación

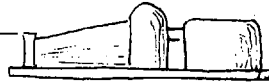
2 Generación vapor



Calor para procesos

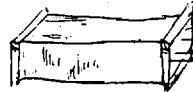
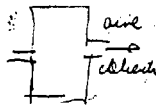


Calentación



Vapor para
potencia
eléctrica y
mecánica

3 Calentador aire

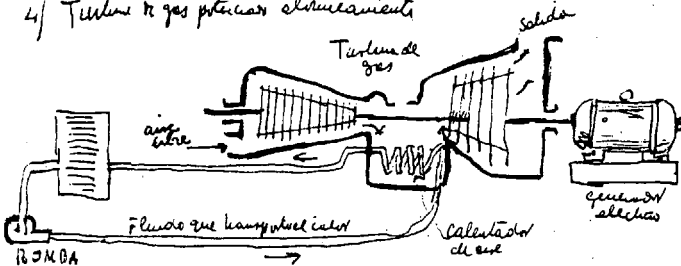


Procesos
(Secado etc)



Calentación

4) Turbina de gas potencia directamente



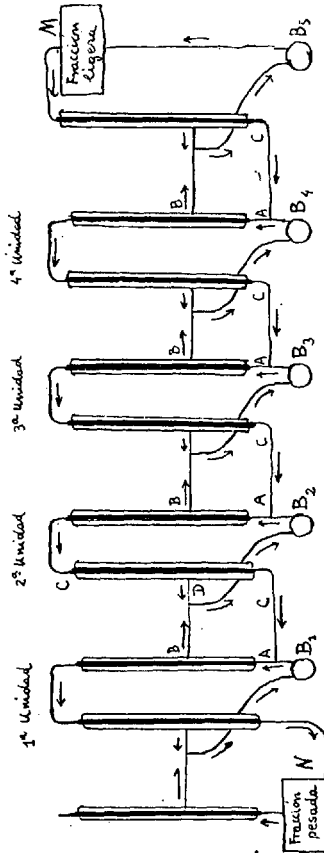
análogo al planeado, por una parte, y la llegada constante después de mucha mayor información sobre el asunto, que ha tenido que ser incorporada a la primitiva, por la otra, ha hecho que el libro se retrasase en su salida al público.

A nuestro juicio la obra por ese retraso ha ganado mucho. En primer lugar porque la información que contiene es mucho más completa que la que primeramente abarcaba y en segundo por haber tenido ocasión uno de los autores (C) de exponer en su Cátedra de Estructura atómico-molecular del Doctorado de Ciencias Químicas muchas de las materias aquí tratadas. Los apuntes taquigráficos de esas lecciones han servido de base para la revisión del primitivo texto ...

El índice del libro consta de una introducción, más diecinueve capítulos, de títulos: «La edad atómica», «Orígenes de la bomba atómica», «Cómo se veía al átomo indivisible hasta el comienzo de nuestro siglo», «Los elementos químicos o personajes de la química», «Cómo se ve al átomo en nuestro siglo», «La estructura de los átomos», «Existen átomos que siendo químicamente idénticos tienen diferente masa», «Métodos generales para separar isótopos», «El elemento natural uranio», «El isótopo U-235 del uranio natural», «Leyes de la desintegración radiactiva», «Los repetidos ensayos para transmutar los átomos», «Posibilidad de obtener energía de la desintegración atómica», «La fisión nuclear», «Dos nuevos elementos químicos en el mundo obtenidos por vía artificial», «Reacciones en cadena», «La energía atómica en la guerra», «Posibilidades futuras para utilizar la energía atómica industrialmente», «La organización científica mundial que hizo posible la rápida fabricación de bombas atómicas».

Ignoro porqué no llegó a completarse y publicarse, pero ciertamente fue una lástima. Volveré de todas maneras a ocuparme de los intereses nucleares de Catalán, a propósito de un curso que dictó en los años cincuenta en Sudamérica. Baste con apuntar ahora, que fue uno de los primeros científicos españoles en llevar a sus alumnos las noticias del nuevo mundo —nuclear— que se extendía ante la humanidad.

La recuperación de su cátedra no significó que se le abriesen las puertas de la investigación "oficial", localizada en aquella época de manera prácticamente exclusiva en el Consejo Superior

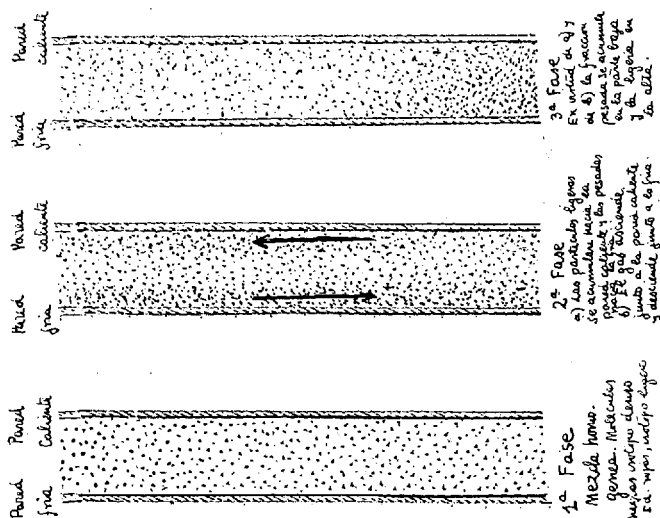
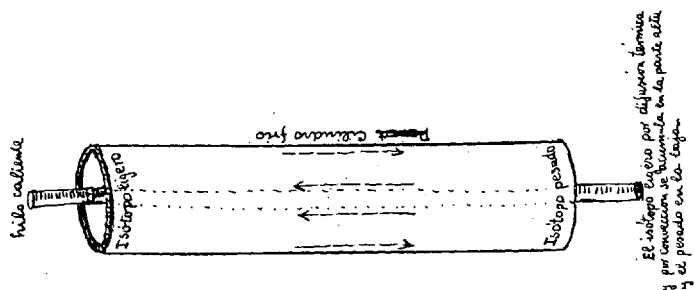


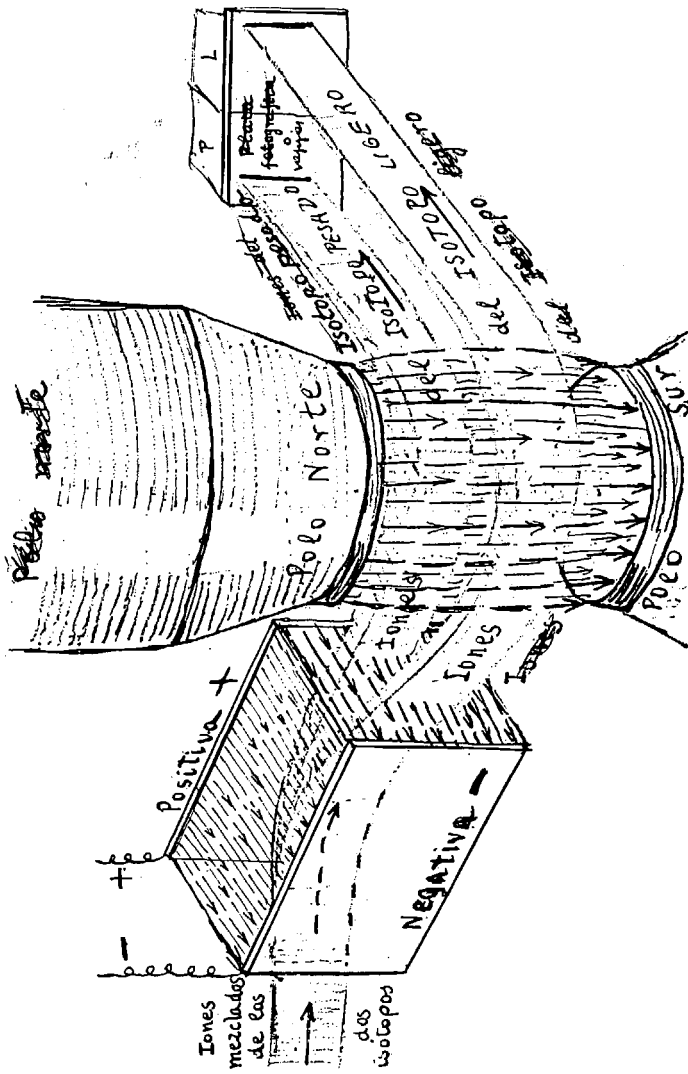
Batería de difusores en serie para la separación de isótopos.

¿Por qué avanza hacia la derecha?

El gas se va concentrando en el isotopo ligero por sucesivas difusiones, acumulándose finalmente en el depósito M. Las porciones que resultan la difusión se acumulan en N y convirtiéndose la fracción mas concentrada en el isotopo pesado.

Ilustraciones preparadas por Catalán para el capítulo "Métodos generales para la separación de isótopos" del libro (inédito) mencionado antes





de Investigaciones Científicas (CSIC), puesto que las universidades eran, en este sentido, auténticos eriales.

Sin embargo, su prestigio científico, la recuperación de la cátedra, así como los requerimientos que se le hacían de Estados Unidos terminarían favoreciendo su entrada en el Consejo, aunque no a su viejo Instituto, ahora denominado Rocasolano, sino al Instituto de Óptica «Daza de Valdés», dirigido por José María Otero Navascués, persona bastante abierta e intelectualmente sagaz, quien en 1950 le nombró jefe del Departamento de Espectros ⁶. Allí formaría un buen equipo, con investigadores como Fernando Rico, Olga García Riquelme, Rafael Velasco y Laura Iglesias Romero, dedicándose a temas relacionados con la estructura de espectros de distintos elementos (paladio, hierro, bismuto, sodio, manganeso, etc). Pero antes de entrar en ese apartado de su biografía, es conveniente ofrecer una panorámica de la institución de la que formaba parte el Instituto de Óptica: el CSIC.

8.2. EL CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS DURANTE LA POSGUERRA

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) fue producto de la Guerra Civil. Respondía, por un lado, al deseo de romper con un pasado al que se acusaba, como he ido apuntando ocasionalmente, de las mayores tropelías. Un pasado que en el ámbito de la investigación científica se denominaba Junta para Ampliación de Estudios. «La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas —válgame lo retumbante del título—, el gran organismo unificador institucionista, algo así como el gran Oriente o el gran timo de la Institución, capitaneada por el forajido Castillejo», llegó a escribir Joaquín de Entrambasaguas (1938, p. 47). Ahora bien, la ruptura con el pasado no pudo, por

⁶ Otero Navascués estaba bien considerado en el Consejo; fue elegido, por ejemplo, para dar la conferencia de apertura de la sesión de clausura, presidida por el Jefe del Estado, general Franco, del IX Pleno del CSIC, celebrado el 29 de enero de 1949. Otero Navascués (1950) disertó sobre «Teoría y representación del color».

mucho que lo desearan los vencedores de la guerra, ser completa: en lo referente a instalaciones y material, el CSIC fue heredero de la JAE. Así, en el artículo 6º del título II («De los centros de investigación y del intercambio científico») de la ley de 24 de noviembre de 1939 por la que se creaba el Consejo, se establecía que «Todos los Centros dependientes de la disuelta Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, de la Fundación de Investigaciones Científicas y Ensayos de Reformas y los creados por el Instituto de España, pasarán a depender del Consejo Superior de Investigaciones Científicas».

La continuidad material plasmada en edificios no encontró paralelo en el espíritu que animaba a la institución franquista. Al margen de lo ya apuntado, existen diversas formas de acercarse a ese espíritu, así como a la estructura y métodos utilizados por el CSIC. En lo que sigue utilizaré un instrumento particularmente atractivo: la palabra escrita —anotaciones personales e informes al ministro de Educación Nacional y presidente del Consejo, José Ibañez Martín— de José María Albareda, el edafólogo que desde 1939 hasta su muerte fue secretario general del Consejo (en muchos sentidos se puede decir de él que fue “el Castillejo del CSIC”) ⁷.

Recurriendo a las palabras de Albareda, en momentos (1939-1940) en que se estaba diseñando la nueva institución de investigación nacional, se puede apreciar en qué medida el diseño de la política científica española de los años cuarenta, y en particular la creación del CSIC, se vio condicionado por la ideología de los vencedores de la Guerra Civil ⁸.

En primer lugar hay que señalar que Albareda, arquitecto programático del CSIC, participaba de las ideas que sobre la JAE tenían muchos de los “nacionales” ⁹. En uno de sus papeles se lee:

⁷ Ibañez Martín era amigo íntimo de Albareda; ambos estuvieron refugiados en Madrid en la embajada de Chile durante la Guerra Civil y fueron miembros del Opus Dei (Albareda se ordenó sacerdote).

⁸ Los documentos (localizados en los archivos de la Residencia de Estudiantes) de Albareda con relación al CSIC han sido estudiados por Sánchez Ron (1992 b).

⁹ Recordemos que Albareda fue pensionado por la JAE durante 29 meses, entre 1928 y 1930, en Bonn (Institut für Chemie der Land), Zurich (Agrikulturs-chemischen Laboratorium de la Escuela Politécnica) y Königsberg (Pflanzenbau-Institut).

Ya es conocida la tendencia antinacional que dominó la actuación de esta institución [la JAE], que supo reunir, al liberalismo corrosivo de la doctrina, la estrechez excluyente de las personas. No quiso vitalizar la gloriosa tradición ecuménica de la Ciencia española, sino sustituirla por un turbio aluvión en que, a lo científico, se ligaba la infiltración irreligiosa, el tono extranjerizante y la mezquindad partidista.

Hubo, además, en la prolongada labor de la Junta para ampliación de estudios, otras orientaciones rechazables. Actuó disociada, cuando no enfrente de la Universidad, a la que trató con altanería y desdén.

Crilló la investigación técnica, lo mismo en las pensiones al extranjero que en la creación de Centros y Laboratorios. Esta deficiencia quiso subsanarse tardíamente, con recursos proporcionados al retraso, y en julio de 1931, como una dilatación de la Junta, aunque independiente en lo administrativo, se creó la Fundación de investigaciones científicas y ensayos de reformas, cuya nimia influencia en el desarrollo de la técnica española, estuvo en contraste con su solapada labor al servicio de la política antinacional.

Y no sólo era esto; se argumentaba que limitación científica y sectarismo político estaban ligados:

La Junta para ampliación de estudios, lejos de suscitar y proteger una fecunda variedad de orientaciones y trabajos científicos, recortó su actuación exactamente a la medida de determinadas personas, especializadas en utilizar la cultura como vehículo y cubierta del sectarismo político.

Se quería, en definitiva, olvidar, casi como fuese, todo lo que recordase a la vieja JAE, no importa que lo que en realidad se hiciese estuviese condicionado, en un sentido u otro, por aquella. «Si el nombre hace la cosa, vamos mal, porque de nombre no se ha dicho nada. Hay palabras que no se pueden emplear: Junta, Institución», escribía Albareda. Y para evitar que se pudiesen dar independencias como la de la Junta con respecto al Ministerio, se pensaba en hacer Presidente de la nueva institución al ministro: «El organismo que se establece tendrá toda la libertad de acción

que conviene a su eficacia, y tendrá toda la estabilidad que requiere su continuidad, pero no podrá ser un conato de Ministerio frente al único Ministerio de Educación».

Para Albareda, el secretario del nuevo Consejo debía ser únicamente «el Secretario. Ya es bastante. Y los patronatos marcharán porque habrá en ellos personas de valía y de trabajo, y lo mismo el Consejo. Nuestra diferencia con los de enfrente está ahí. Ellos excluyen a los que valen, para que no les hagan sombra ... así, a Moles le molestaban Ríos, Jimeno, etc., en el puro terreno de químico y de investigador. Una estrechez que los esterilizó. Por eso, ahora ha de ser al revés».

El nuevo Consejo no podría estar completamente dissociado de la universidad, una universidad que quedó maltrecha tras la guerra; consecuentemente, Albareda también reflexionaba acerca de la situación de la universidad española. En una nota «Sobre el proyecto de reforma universitaria» realizaba (de nuevo, muy probablemente a Ibañez Martín) el siguiente comentario:

La Universidad queda con muchas vacantes, y con bastantes catedráticos acomodaticios y solamente con una minoría de plena valía y confianza. Dar el poder a los Profesores Ordinarios que quedan es entregarse en muchos casos a elementos peligrosos o vanos. Hay que facilitar el acceso de los que reúnen valía e ideales. Lo que hizo cínicamente el enemigo lo podemos hacer decorosamente "los hijos de la luz". Moles escribía en los Anales de la Sociedad Española de Física y Química, en la reseña del año: «la verdadera reforma universitaria ha dado un paso más; han obtenido cátedras nuestros consocios X, Y, Z.

Y más adelante manifestaba: «La labor más trascendental que hay que preparar en la Universidad es la de la provisión definitiva de cátedras. Convendría muchísimo que en el verano próximo se resolviesen los concursos y se celebrasen oposiciones a bastantes cátedras para las que hay personas preparadas y ejemplares. Con ese primer núcleo ya definitivo, la conquista de la Universidad

sería una cosa decidida. Y la "verdadera reforma universitaria" estaría en marcha» ¹⁰.

En un documento titulado «Organización del Consejo», dirigido a Ibañez Martín por Albareda y al que éste añadió la nota de «Confidencial» ¹¹, el entonces director del Instituto Ramiro de Maeztu (fue nombrado nada más finalizar la guerra) proponía como vicepresidentes de lo que sería el CSIC a Miguel Asín Palacios y a Antonio de Gregorio Rocasolano (ambos fueron elegidos para el cargo, aunque Rocasolano, en cuyo Instituto de Bioquímica de Zaragoza había trabajado Albareda entre 1926 y 1928, murió pronto, el 25 de abril de 1941); asimismo insistía en que José María Torroja Miret debería ser designado interventor (también fue elegido para el cargo). Por sus comentarios sobre la «Secretaría», parece que fue Ibañez Martín quien insistió en que ésta fuese ocupada por Albareda.

En cuanto a los vicesecretarios, «deberían ser uno de Letras o Derecho y otro de Ciencias o Ingeniería ... Voy a proponerte nombres. De Letras, hay uno a quien querías traer al Ministerio: Sánchez Bella, Auxiliar de la U. de Valencia, Premio extraordinario, Alférez, etc. Yo le valoro directamente, pero al mismo tiempo, valoro su ambiente ... Reúne la simpatía de esa derecha que con impropiedad pero entendiéndonos, podríamos llamar de la Acción Católica —Propagandistas, Juventud Católica— y de Falange: es amigo de Laín. Es jefe de Radio Valencia. En Ciencias o Ingeniería parece más difícil encontrar un buen Vicesecretario. Les falta o nos falta formación clásica. Con todo conozco una alhaja. Un licenciado en Exactas con estudios de Arquitectura, camino de cátedra como Sánchez Bella, que ha sido quien ha llevado la parte estadística del Cuartel de Movilización y Recupe-

¹⁰ Es preciso reconocer, desde luego, que Albareda se preocupaba genuinamente por la investigación en la Universidad. «La investigación no puede aislarse de la enseñanza superior, y hay que dejar abierto el camino de dotar cátedras que cultiven la investigación; en este sentido, no se trata de absorber la investigación en un organismo, desflorando a centros docentes superiores de su vida investigadora, sino al revés: hay que vitalizar las Universidades inoculando en ellas, en las proporciones debidas, el espíritu investigador».

¹¹ Este documento parece haber sido preparado a mediados de diciembre de 1939.

ración del General Ordaz. Francisco Botella Raduán». El padre Botella, jesuita, obtendría una cátedra (de Geometría) en la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid, pero no la vicesecretaría; tampoco Sánchez Bella ¹². Como vicesecretario general fue designado José Royo López.

Al analizar la situación en que se encontraba la investigación científica en España, o, mejor, lo que se podía hacer con los medios humanos existentes tras la victoria del Ejército "nacional", Albareda efectuaba algunas observaciones muy interesantes. En primer lugar está su insistencia en la necesidad de no olvidar lo aplicado; un énfasis natural en alguien de su educación (farmacéutico, además de químico; su primera cátedra fue —en 1928— una de Agricultura, en el Instituto de Huesca, y en el extranjero trabajó, como ya indiqué, en centros eminentemente aplicados):

La organización de la investigación española no puede ser un encuadramiento de disciplinas científicas, en que la lógica clasificadora elimine la consideración de la realidad actual y de las conveniencias inmediatas.

Los grandes males de la investigación institucionista, dominante hasta hoy fueron:

- a) La orientación irreligiosa y extranjerizante,
- b) la aversión a la Universidad,
- c) el partidismo personalista,
- d) el desprecio de lo técnico y lo económico.

En este último sentido se señalaba que «la investigación no puede desconectarse de servicios públicos que competen a otros Ministerios: hay un Instituto Geológico y Minero dependiente del Ministerio de Industria y Comercio; un Instituto Agronómico y otro de Investigaciones Forestales, en el Ministerio de Agricul-

¹² El 19 de junio de 1941, Albareda escribía: «Sánchez Bella me dijo el otro día que con este carácter que yo le doy a la Secretaría del Consejo, ser Vicesecretario en un plan administrativo (en ese plan eficaz y oscuro en que se mueve Royo) no le interesa. Y realmente, para quien ha de hacer oposiciones a Cátedras, la carga administrativa de la Vicesecretaría no le conviene. Para Sánchez Bella, a reserva de lo que resulte de las oposiciones, se podría pensar para el curso próximo que un encargo docente, que sirva para estudiar y prepararse a lo que ha de ser su carrera».

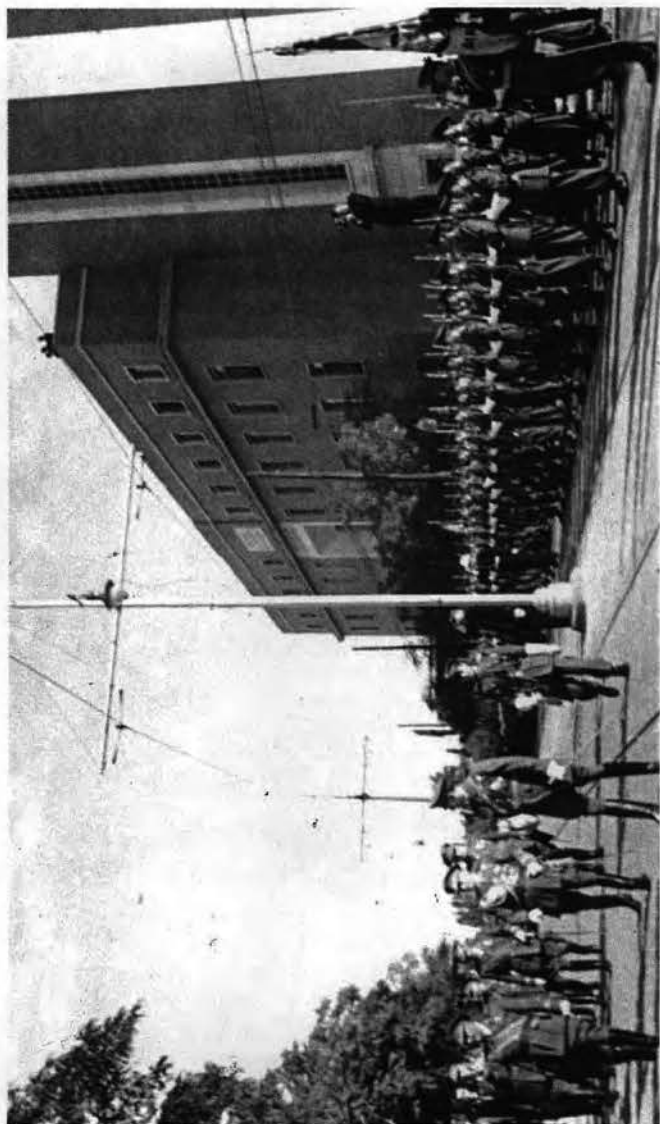
tura; uno de Sanidad en Gobernación; hasta el Banco de España tiene su Centro de Estudios, que son investigación también. La investigación es algo ligado a la vida, y no cabe pensar en un órgano independiente de investigación». Con ocasión de un viaje que realizó, ya como secretario del CSIC, a Valencia, escribió: «Se oye decir en Valencia que la Universidad representa poco; que la huerta puede más que la Universidad; pero hay que pensar que la huerta debería ser objeto de estudio por la Universidad. La Universidad no deberá ser absolutamente ajena a la huerta».

Con un secretario general de este talante, y en la España de comienzos de los años cuarenta, no nos debe extrañar que la ciencia aplicada se viese favorecida en el Consejo. Pero volveré a este tema más adelante.

Para el Patronato Menéndez Pelayo —«el más perfectamente definido»—, contaba con la base de la Escuela de Estudios Arabes y el Centro de Estudios Históricos (con lo que quedaba de él, por supuesto). Recordemos que Miguel Asín Palacios, que dirigiría el Instituto «Benito Arias Montano» de Estudios Arabes y Hebraicos y que sería el vicepresidente 1º. del CSIC, había apoyado claramente la rebelión, intentando incluso darla algún tipo de soporte intelectual con, por ejemplo, artículos como el titulado «Por qué lucharon a nuestro lado los musulmanes marroquíes» (Asín Palacios 1940).

En aquellos años en los que la Iglesia constituía uno de los soportes del Régimen, la teología no podría faltar en la nueva organización investigadora nacional. El talante de estos estudios debía ser, según Albareda, el siguiente:

La Teología deberá ponerse bajo el Gobierno de la Jerarquía; hay el peligro de los clérigos dedicados a sabios. Además, nada debe hacerse pensando solo en Madrid; se puede apoyar así, toda labor investigadora que proponga la Jerarquía en tal o cual Seminario. La Iglesia con Seminarios miserables y el Estado con un Superseminario lleno de clérigos investigadores, sería una desgracia. Quizá cabe hacer este enlace: el Señor Obispo de Madrid-Alcalá es académico de la Lengua y de Ciencias Morales y Políticas; podría ser Consejero y nexo entre el Consejo y la Jerarquía.



Inauguración de edificios del CSIC por Franco (12 de octubre de 1946)



Ibáñez Martín, Franco y Albareda en el CSIC (31 de enero de 1948),
VIII Pleno del CSIC



Inauguración del primer microscopio electrónico en el Instituto «Daza de Valdés»
(31 de enero de 1948)

Cuando se creó el CSIC no faltó, dentro del Patronato «Raimundo Lulio», un Instituto «Francisco Suarez» de Teología dirigido por Leopoldo Eijo y Garay, obispo de Madrid-Alcalá, quien además fue nombrado, como deseaba Albareda, vocal del Patronato que englobaba a los Patronatos «Raimundo Lulio» y «Marcelino Menéndez Pelayo».

En cuanto a la Filosofía de antes de la guerra, no ofrecía garantías. Hacía falta «un trasplante».

En matemáticas se esperaba poder contar con Julio Rey Pastor y con Esteban Terradas, ausentes en Argentina ¹³, además de con, entre otros, Francisco Navarro Borras, Antonio Torroja, Pedro Puig Adam, Eduardo de Rafael. Ricardo San Juan, «discípulo predilecto» de Rey Pastor, «no es de confianza», hacía notar Albareda.

Para nuestros propósitos, los comentarios más interesantes de Albareda se referían al Instituto Nacional de Física y Química ¹⁴:

Queda, pues, como Centro inmediatamente ligado al Consejo, el Instituto de Física del Rockefeller. Exige pensar concienzudamente en su situación. Los físicos de la escuela de Cabrera están persuadidos de que hoy la Física en España es un coto cerrado, en el que, formado el cuadro, nadie podrá penetrar. Dicen que ni siquiera se puede aprobar una tesis doctoral, porque no hay más que un catedrático, Palacios. Y de ahí deducen que es imprescindible la vuelta de Cabrera y el traslado a Madrid de alguno de sus discípulos: de su hermano, que está en Zaragoza; de Velasco, que esperó tranquilamente en Inglaterra el desenlace de la guerra y fue repuesto con la sanción de seis meses de suspensión, por lo que está más rojo que nunca, etc. El hecho es que hoy, en la Sección de Física del Rockefeller

¹³ Sobre las "reincorporaciones" de Terradas y Rey Pastor a España tras la Guerra Civil, ver Roca Rosell y Sánchez Ron (1990, cap. V).

¹⁴ Es muy probable que los comentarios que Albareda hacía, en este y en otros documentos, sobre la física y la química de la JAE, estuviesen influidos por las opiniones de Rocasolano, un enemigo declarado de la Junta, que consideraba había marginado su laboratorio de Zaragoza. Como apunté antes, Albareda había pasado un tiempo, antes de ser pensionado por la JAE, en el Instituto de Bioquímica de Rocasolano.

sólo hay una tesis doctoral a punto de ultimar, la de un rojo: Berasáin, que estaba en Canarias, y no lo incorporó el Servicio Meteorológico militarizado durante la guerra por falta de confianza. Hay en esta materia, como en otras, un agotamiento de temas que impone la renovación. Se agotan las rayas del espectro de Catalán, sin que haya logrado, como ha intentado largamente, realizar trabajos sobre tema más moderno: el efecto Raman. Está exhausto el magnetismo de Cabrera. Van muy trilladas las redes cristalinas de Palacios. Mientras tanto, la Física hace brotar impetuosamente temas novísimos, de los que nuestra investigación está al margen. No podemos seguir condenados a no tener más investigación física que la que produce la técnica que nuestros físicos aprendieron en su juventud. Es necesario traer un físico extranjero, mucho más barato, sencillo y eficaz, que empezar por enviar pensionados. En la escuela del italiano Fermi, premio Nobel de Física, hay alguna figura que habría que traer. Hay que traer también un matemático; italianos los hay magníficos. Rey Pastor es una gran figura, pero es solo el científico puro de la Matemática, y al margen de esa dirección pura, hay ramas muy fecundas y prácticas —Volterra en matemáticas aplicadas a la Biología, Humberto Cisotti en mecánica de fluidos, etc.— que nos interesa enormemente trasplantar, más, si la investigación, además del progreso de la ciencia pura, ha de tener sentido práctico.

Vemos en este texto que se acusaba a Catalán de que sus investigaciones espectroscópicas hacía tiempo que estaban «agotadas» y que no había logrado dominar el tema del efecto Raman. En cuanto a la primera acusación, denota claramente un profundo desconocimiento de la naturaleza y proceso de la investigación en espectroscopia, que requería una constancia, experiencia, perspicacia y habilidad en diversos sentidos muy distinta a otras ramas de la física o la química. Es cierto que la importancia de la espectroscopia en el desarrollo de la física no era la misma en 1939 que en las décadas precedentes, cuando se estaba construyendo la mecánica cuántica y sentándose los pilares de la astrofísica moderna, pero aun así continuaba siendo un elemento imprescindible y de primera magnitud en el avance de las ciencias físico-químicas; las demandas de los datos obtenidos por Catalán, procedentes de Estados Unidos, y no de científicos de segundo

fila, sino de auténticos líderes de sus respectivos campos (Russell, Meggers, Shenstone, Moore, Harrison), es una buena prueba de lo injustificado de las críticas que recibía la espectroscopia de Catalán. Y en cuanto al efecto Raman, ya mencioné en el capítulo 5 que, efectivamente, nuestro científico no prosperó mucho en el tema, pero es preciso recordar que comenzó a producir en 1936, es decir, cuando poco después se vio obligado, debido a la guerra, a dejar de investigar.

Volviendo a las notas de Albareda, tenemos que también se refería a la química, en donde la situación parecía ser bastante más complicada; repasaba los elementos disponibles para su posible utilización en el Rockefeller, en particular en lo que se refería al cargo de director, así como a los patronatos del CSIC¹⁵. Rocasolano era, obviamente, una posibilidad para dirigir el Instituto, pero Albareda no terminaba de verlo claro. «D. Antonio [Gregorio Rocasolano], como tiene bastantes atacantes, por problemas industriales en que no tuvo éxito, es incitar más al ataque el repetir demasiado su nombre. Nombrando a varios, se amplía y diluye el frente atacado, ya que pienso que todo nombrado ha de sufrir ataque de alguien. Por eso parece demasiado llevarlo a Vicepresidente [del CSIC], Presidente del Patronato y Director de Instituto». Otros nombres de químicos que barajaba Albareda para incorporar a la estructura del Consejo eran los de otros dos profesores de Zaragoza, Gonzalo Calamita («no ha investigado nunca nada y explica hoy tan bien como hace treinta años») y Paulino Savirón («Savirón es más científico que Calamita, pero está jubilado hace tres años, y antes de la jubilación era un hombre bueno, muy bondadoso, concienzudo en su saber, pero de una inactividad académica máxima»), Antonio Ríos («es sencillo y excelente, y no hay en él problema de primacía»), José Casares («haría buen papel por sus relaciones en el extranjero»), José Pascual Vila, de Barcelona, Manuel Lora Tamayo, de Sevilla, e Ignacio Ribas, de Salamanca: «Ignacio Ribas no tiene la importancia que se le quiere dar. Es muy inferior a Vila. No le interesa moverse, porque está absorbido por una compañía industrial de

¹⁵ Informe («Confidencial») de Albareda a Ibañez Martín, titulado «La Química en España».

Vigo, a donde va con frecuencia. Discípulo predilecto de Madina-veitia ... Sabe química, sin ser nada extraordinario, pero es un tipo materializado ... La gran figura de Orgánica es Vila, a quien solo he saludado una vez, y Ortiz, que le conoce, dice que es excelente católico. También es excelente Lora, que está muy bien, como indicaste, para Secretario [del Instituto]. En el Rockefeller hace falta un orgánico, y hay la posibilidad de que venga Vila o Lora (soy objetivo: soy muy amigo de Lora, apenas conozco a Vila, pero valiendo Lora, le antepongo a Vila) a la vacante de Orgánica de Farmacia.

Como se sabe, Lora Tamayo ascendería en la jerarquía académica y política del régimen, llegando a ministro de Educación, cargo para el que fue nombrado en julio de 1962 (lo mantuvo hasta abril de 1968) ¹⁶.

Pero tras este prelude, que permite captar algo del espíritu que animaba al CSIC, y en consecuencia también a la orientación de la política de investigación científica nacional, es hora de regresar a Miguel Catalán, a su entrada en el Instituto de Óptica del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

8.3. EN EL INSTITUTO DE ÓPTICA

El Instituto de Óptica del CSIC fue creado oficialmente en marzo de 1946, aunque antes había funcionado como una sección del Instituto «Alonso de Santa Cruz» de Física, a la que iba asociada una subsección de Espectroscopia ¹⁷. Como jefe de sección, primero, y como director del Instituto después, José María Otero Navascués fue el motor y responsable máximo del centro, mientras que Juan Manuel López de Azcona lo era de la Subsección de Espectroscopia. Otero Navascués era ingeniero de la Armada y

¹⁶ También fue presidente del CSIC, de 1967 a 1971.

¹⁷ Las otras secciones del Instituto eran: «Rayos X y magnetismo», dirigida por Julio Palacios y «Electricidad», encabezada por Alfredo Guijarro Alcocer; además existían secciones fuera de Madrid: una de «Electricidad y radiaciones» en Barcelona, otra en Valladolid, en torno a Salvador Velayos y otra en Zaragoza, dirigida por Juan Cabrera.

como tal tuvo acceso durante bastantes años a las instalaciones del Laboratorio y Taller de Investigación del Estado Mayor de la Armada, lo que facilitaba las investigaciones de su grupo del Consejo.

En cuanto a la Subsección de espectroscopia, tenemos que las investigaciones que se llevaban a cabo allí eran de un tipo bastante diferente de las de Catalán, como se puede comprobar sin más que recordar los títulos de algunos de los trabajos producidos: «Estudio espectroquímico de cinabrios» (*Anales de Física y Química* 1944; J. M. López Azcona y E. Sánchez Serrano), «Relación entre el color y la composición espectroquímica de las turmalinas» (*Alfa* 1944; J. M. López de Azcona) o «Consideraciones estadísticas deducidas de los análisis espectroquímicos de las aguas subterráneas del norte de Portugal» (Congreso de Córdoba de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, 1944; J. M. López Azcona y A. C. de Britto) ¹⁸.

Al pasar de ser una mera sección del Instituto «Alonso de Santa Cruz» a un Instituto independiente, la estructura del centro dirigido por Otero varió. Se establecieron secciones de «Óptica fisiológica y fotometría», «Óptica física y teórica», «Óptica geométrica», «Óptica oftalmológica», «Óptica electrónica» y una de «Espectros ópticos», de la que en la Memoria de 1946 y 1947 se decía (Memoria CSIC 1948, p. 335) que se había ocupado de estudiar la estructura del cromo, de continuar «la valoración espectral de porfirinas, encontrándose técnicas adecuadas para la extracción de estos pigmentos de los líquidos en que se encuentran y de preparar así soluciones aptas para valorarlas al espectrógrafo»; también se prosiguió el estudio de la distinción espectral de los aceites de presión y de los de extracción. Colaboraban en la sección, F. y J. M. Poggio, M.^a Jesús Otero de la Gándara, P. García Díez y J. Barceló.

Privado de un edificio propio, durante 1948 y 1949 la estructura del Instituto de Óptica no cambió de manera significativa, aunque la sección de «Espectros ópticos» pasó a denominarse en 1948 de «Espectros atómicos y moleculares», dirigida por Francisco Poggio, con quien Catalán (49 y 51) había colaborado en

¹⁸ Más títulos en Memoria CSIC (1945, pp. 273-275).

1934 en estudios sobre el efecto Zeeman del espectro del wolframio y la determinación de los valores g de los términos del espectro, aunque no parece que la buena relación de entonces se mantuviese tras la guerra. A pesar de que se «preparó la labor bibliográfica relativa a los efectos Raman y Zeeman» (Memoria CSIC 1950, p. 233) y de que se recibió un espectrógrafo Hilger para el estudio de la zona infrarroja, propiedad del INTA, la lista de publicaciones de la sección no revela variaciones significativas con relación al año precedente.

En 1950, sin embargo, el Instituto de Óptica se instaló definitivamente en el nuevo edificio (que todavía ocupa en el complejo del CSIC situado a lo largo de la calle Serrano). Y con el cambio, Catalán se incorporó para dirigir una de las dos secciones del Departamento de Espectros, la de «Espectros atómicos». Con relación a la entrada de Miguel en este Instituto del Consejo, disponemos de unos recuerdos de Otero Navascués citados por Rafael Velasco (1977, p. 152):

Conocí al profesor Catalán de una forma curiosa: tuvimos largas conversaciones durante semanas sin vernos las caras, porque acontecía que coincidíamos en la cámara oscura del Laboratorio de Investigaciones Físicas ... Él revelaba sus placas de espectros atómicos y yo lo hacía con las de cristalografía de rayos X, tarea en la que me iniciaba en la investigación. Después ya fue el conocimiento cara a cara y la simpatía mutua, en la que creo como una de las experiencias más valiosas de mi vida. Luego, al inaugurarse el Instituto entonces llamado Rockefeller y posteriormente de Física y Química, pude visitarle repetidas veces.

Según Otero, «terminada la guerra, [Catalán] se incorporó inmediatamente a las tareas de investigación de dicho Instituto, aunque pronto tuvo que abandonarlo en contra de su voluntad». Habida cuenta de lo que hemos visto, no es sorprendente que tuviera que abandonar el Instituto, en una estancia que —si realmente se produjo— debió ser extremadamente breve. Pero

Otero no olvidó la categoría científica del descubridor de los multipletes:

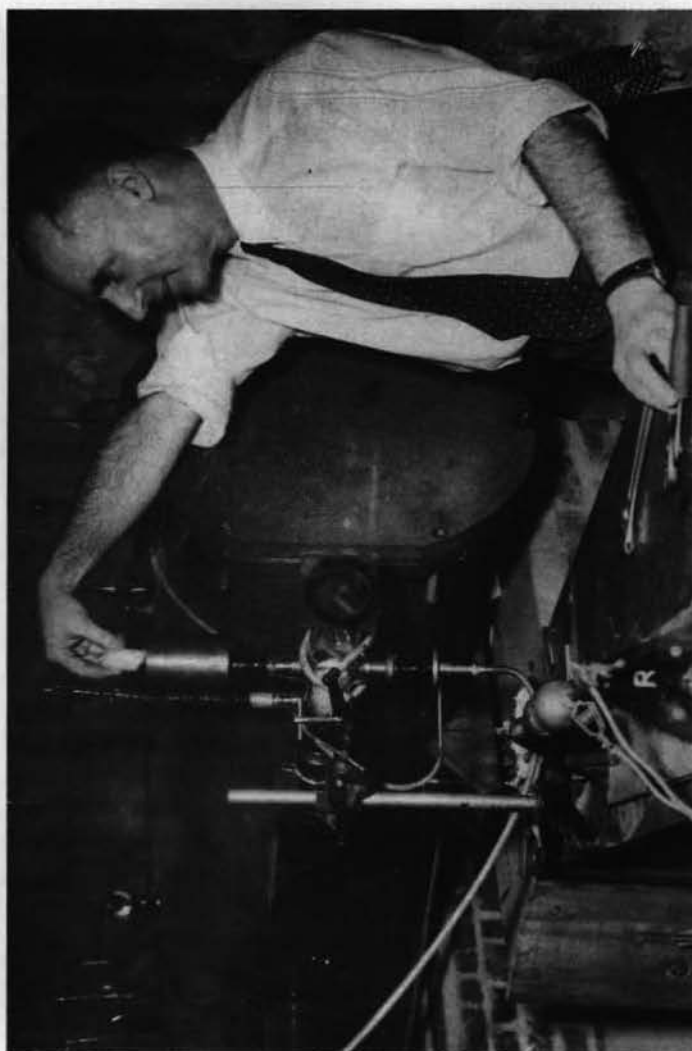
Más tarde, cuando en 1946 se creó el Instituto de Óptica, le invité a que se incorporase al mismo, pero me dijo, con ironía, que él no volvía a aquel edificio, a cuya fundación tanto había contribuido y del que se le había separado.

Esta negativa, al parecer, se centraba en no volver al edificio. Por ello, cuando en 1950 se inauguraron los nuevos locales del Instituto de Óptica «Daza de Valdés» en edificio propio, aceptó inmediatamente mi sugerencia, dedicándose con sus consejos a ayudarme a rematar la obra y a que la inauguración fuese la de un Instituto totalmente en marcha.

En el informe de la memoria del Consejo del primer año (1950) que Miguel pasó en el Instituto de Óptica (Memoria CSIC 1951, pp. 228-229) no se dice nada especial acerca de él, con lo que su entrada en la gran institución de investigación franquista no pudo ser más discreta. La lista de publicaciones de la sección de espectroscopia, sin embargo, muestra con claridad el cambio que se estaba experimentando en ella:

La labor de investigación de esta Sección es la siguiente: *Nueva medida completa de los espectros de Mn arco y chispa separando las líneas de Mn I, Mn II y Mn III (parcialmente realizado en EE. UU.); Análisis estructural del espectro de Mn I. Nuevos niveles; Efecto Zeeman de Mn con medición de placas e interpretación de resultados; Efecto Paschen-Back en algunos multipletes de Mn I; Interpretación cuantitativa de las asimetrías en el efecto Zeeman; Medida de longitudes de onda y análisis estructural del espectro de Re I; Estructura del espectro de Mn III; Estructura del espectro Ni III, con medición de longitudes de onda (Prof. Catalán en EE. UU.); Variaciones del factor "g" en el efecto Paschen-Back parcial.*

También se hablaba de que se estaba iniciando la labor de preparación necesaria para estudiar otros temas, como, por ejem-



Catalán en los años 50

plo, el efecto de presión y su relación con la estructura atómica, o los espectros del Re II y Cr II. En cuanto a publicaciones, se citaban algunas de Catalán y dos de sus colaboradores, Rafael Velasco y Olga García-Riquelme: Catalán (68, 69, 70, 71).

8.4. CATALÁN Y LA CIENCIA APLICADA

En la España de la posguerra, la España del aislacionismo y la autarquía, la ciencia aplicada era considerada como particularmente importante. Es muy difícil, en efecto, mantener un sistema autárquico cuando no se es capaz de suplir con la propia capacidad tecnológica la ausencia del recurso a comprar fuera. Esta característica intrínseca de la autarquía produjo en España una "sensibilidad" por lo aplicado, por la técnica, por lo necesario para la vida diaria, que es visible en diferentes dominios. Por un lado en las ramas industriales declaradas de interés nacional: fabricación de automóviles (1940) o de compuestos nitrogenados (1940), empresas mineras o metalúrgicas que contribuyesen a la mejora del comercio exterior (1940), industrias de la celulosa textil (1940), del aprovechamiento de primeras materias textiles (1940) y aeronáutica (1940), fabricación de materias plásticas (1947), fabricación de productos sustitutivos de la chatarra en procesos siderúrgicos (1947) o de penicilina y antibióticos (1948) ¹⁹.

De hecho, de los seis patronatos en que se organizó el CSIC, uno (el «Juan de la Cierva Codorníu») estaba orientado hacia la investigación de carácter técnico e industrial. En 1946, por ejemplo, formaban parte del patronato los siguientes Institutos: «Leonardo Torres Quevedo» de instrumental científico, de la Construcción y Edificación, Nacional del Combustible (con tres secciones: Instituto del Carbón de Oviedo, Sección de Zaragoza y Centro de Investigación de la Empresa Nacional Calvo Sotelo), de Racionalización del Trabajo, del Hierro y del Acero, Especial de la Grasa y sus derivados, de la Soldadura, del Cemento, y de Electrónica, además de varias secciones ²⁰.

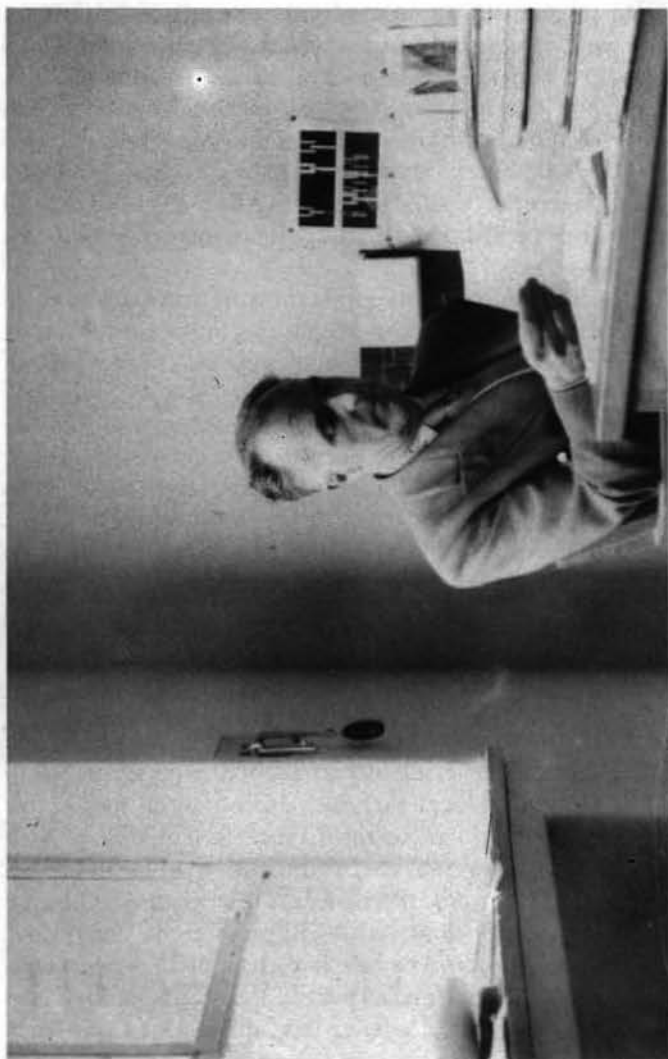
¹⁹ Braña, Buesa y Molero (1984, p. 165). Ver, asimismo, Sánchez Ron (1992 a).

²⁰ Memoria CSIC 1946-47 (1948).

Ya hemos visto que Albareda participaba de esta tendencia a favorecer lo aplicado. Naturalmente, el CSIC reflejó sus ideas. Estudiando los presupuestos que manejaba el Consejo se observa con claridad que la importancia que se daba al Patronato «Juan de la Cierva» era superior a la de los demás patronatos. Así, mientras que, por ejemplo, en 1948 el patronato «Raimundo Lulio» recibió 1.744.079 pesetas, el «Marcelino Menéndez y Pelayo», 3.794.102, 2.520.758 el «Santiago Ramón y Cajal», 2.602.606 el «Alonso de Herrera» y 2.293.270 el «Alfonso el Sabio», el «Juan de la Cierva» recibía 15.958.000 pesetas, más que los otros cinco juntos ²¹.

Catalán no estaba de acuerdo con semejante inclinación de la sociedad española; al menos no en lo que implicaba de rebajar el valor de la ciencia pura. Entre sus papeles se ha conservado un escrito de tres páginas titulado, «Menéndez Pelayo y la investigación pura», que aunque no está fechado, probablemente date de la posguerra (así lo sugieren los documentos entre los que se encuentra). En este trabajo Miguel mostraba con claridad su postura ante el "utilitarismo" que impregnaba entre muchos españoles la propia idea de investigación científica. «Desde hace algunos meses se viene hablando, con insistencia, en los medios científicos —escribía—, de la inutilidad de la ciencia pura y sosteniendo la hipótesis, absurda a mi parecer, que lo que a una nación interesa no es el cultivo de la ciencia pura, sino la aplicada que rinde una utilidad inmediata». Él no se habría alarmado si tales ataques «procedieran de gente indocta, de esa gente que aún piensa que el científico es una especie de mago que rodeado de retortas y luces extrañas, escondido de todos para que nadie pueda robarle sus secretos, mezcla líquidos y hace cálculos complicados para fabricar sustancias que le permitan hacerse rico en poco tiempo». Pero no era ese el caso: «Lo que nos ha causado asombro y dolor también, por qué no decirlo, ha sido comprobar que la enfermedad de la ciencia útil ha penetrado ya en los laboratorios de ciencia pura y ha contagiado a sus cultivadores, a los que, sin desdeñar las aplicaciones que más

²¹ Un estudio bastante complejo de la actividad "aplicada" del patronato «Juan de la Cierva» se encuentra en López García (1994).



Catalán en su despacho del Instituto de Óptica

tarde puedan tener sus descubrimientos, investigaban hasta ahora, libres de toda preocupación de lucro personal o de que sus inventos pudieran tener aplicación inmediata». Y como estaba convencido de que «ese estado de espíritu de los investigadores será fatal para la marcha de nuestros Institutos de investigación, pues ahogará en gérmen todos los trabajos científicos», salía en «defensa de la ciencia pura».

Probablemente consciente de su frágil situación en la sociedad española de entonces, Catalán optó por defender su posición utilizando solamente citas de Marcelino Menéndez Pelayo, uno de los héroes culturales e ideológicos de la España franquista. Como ejemplo, he aquí uno de los párrafos que utilizó:

De la historia de la ciencia española, aun conocida de la manera incompleta que hoy la conocemos, se deduce una consecuencia de las más extrañas e inesperadas para los que persisten en el falso y romántico concepto que tradicionalmente se tiene de nuestro pueblo. En este país de idealistas, de místicos, de caballeros andantes, lo que ha florecido siempre con más pujanza no es la ciencia pura (de las exactas y naturales hablo), sino sus aplicaciones prácticas, y en cierto modo utilitarias. Lo que más ha faltado a nuestra ciencia en los tiempos modernos es desinterés científico ... [Y] esto indica, no una limitación del genio nacional, sino una propensión excesiva y absorbente, que importa rectificar ... No el idealismo, sino el utilitarismo (¿quien lo diría?), es, a mis ojos, una de las principales causas de nuestra decadencia científica, después del brillantísimo momento del siglo XVI.

Podía estar marginado, en situación precaria, pero se resistía a guardar silencio. También hay que tener en cuenta, por supuesto, que la situación política —y la suya propia— había mejorado.

8.5. ACADÉMICO DE CIENCIAS

Otro indicio, mucho más claro, de que lo peor había pasado y de que Catalán volvía a ser aceptado en la España gobernada por el general Franco, fue su elección como académico de número de

la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, una institución que no se había caracterizado, precisamente, por su "resistencia" a la política de marginación de científicos asociados, de alguna manera, con la República, como demuestra el hecho de que académicos como Blas Cabrera (que, además, había sido presidente de la corporación), Enrique Moles y Emilio Herrera fuesen desposeídos de sus medallas, siendo elegidos otros en sus lugares.

Miguel Catalán fue elegido en la sesión del 30 de marzo de 1955. Había sido propuesto por los académicos José María Otero —su "jefe" en el Instituto de Óptica— y Emilio Jimeno Gil, quienes en su escrito de presentación señalaban que «los méritos científicos del Prof. Catalán, singularmente en el estudio de espectros atómicos, son tan relevantes y su personalidad tan universalmente conocida que creemos huelga una relación particularizada de sus trabajos y publicaciones»²². La medalla para la que fue elegido fue la número 22, asignada a la sección de Ciencias Físico-Químicas. Su predecesor había sido José María Fernández Ladreda, catedrático de Química Técnica de la Universidad de Madrid y general de División del Cuerpo de Ingenieros de Armamento (también fue director de la Escuela Politécnica del Ejército); Blas Cabrera, su antiguo jefe en el Laboratorio e Instituto de la JAE, también había ostentado la misma medalla.

No llegó, sin embargo, a pronunciar el preceptivo discurso de entrada en la Academia debido a su muerte. Pero había comenzado a prepararlo y algunos borradores fragmentarios han sobrevivido²³. El título que estaba manejando era el de «Los elementos químicos»²⁴. «Vivimos —comenzaba su exposición— en un mundo integrado por los más diversos materiales. Nos rodean miles de sustancias que difieren ampliamente por sus coloraciones,

²² 2 de marzo de 1955. Archivo de la Real Academia de Ciencias. Por los documentos existentes en este archivo, parece que nadie presentó otro candidato.

²³ Agradezco al Prof. Fernando Rico el que pusiese a mi disposición estos documentos que con tanto cuidado ha conservado.

²⁴ Velasco (1977, p. 87) señaló, sin embargo, que «Catalán eligió para ese discurso el tema "Los espectros atómicos y la clasificación periódica de los elementos"».

densidades, dureza, agresividad, etc ... Que rica variedad en el color que encontramos, desde las amapolas rojas hasta el brillante azul del cielo; en la ligereza, desde el denso plomo hasta los sutiles aromas de las flores; en la dureza, desde el rígido diamante hasta la blanda cera, en la agresividad, desde las vitaminas que guardan las funciones vitales hasta los mortíferos alcaloides. Y en tantas otras características que hacen casi infinito el número de sustancias distintas que conocemos».

Tras esta un tanto poética introducción, repasaba la historia de los elementos químicos, comenzando por los antiguos, los griegos en especial, aunque no desdeñando adentrarse, superficialmente, en el terreno de la exégesis bíblica. Su idea era, claramente, ir desbrozando la historia de cómo habían ido apareciendo —y en qué orden— los distintos elementos químicos. Así, por ejemplo, escribía:

El *zinc* parece que fue obtenido primeramente en la India. En el libro Rasarnava Tandra, escrito hacia 1200, se dice que la calamita mezclada con varios ingredientes y calentada en un crisol da una esencia de la apariencia del estaño. Esta "esencia" era evidentemente zinc aunque entonces no se le identificaba como un metal. Este reconocimiento del zinc se hace en un libro de medicina atribuido al rey Madanapada, escrito hacia 1374 en el que se da al zinc el nombre de Jarada. No se sabe con seguridad si el conocimiento del zinc pasó de la India a China pero en el libro chino Tien Kong Kaiwu se describe un método de extraer el zinc de sus minerales.

Para nuestro protagonista, la frontera entre los descubrimientos fortuitos de elementos químicos y los sistemáticos se encontraba en el siglo XVIII: «Podría decirse que hasta comenzar el siglo 18 los pocos elementos que se fueron descubriendo fueron encontrados de un modo casi fortuito, pero que a partir de esa fecha los trabajos se realizaron de un modo tan sistemático, en todos los países, que realmente se inició una nueva era y por ello la corta lista de elementos fue engrosando rápidamente con nuevos hallazgos. Nada menos que once nuevas sustancias elementales se descubrieron en ese siglo 18, mientras que desde la

aparición del hombre en la tierra hasta 1700 solo se habían identificado catorce. En un centenar de años la lista casi se dobló, añadiéndose por el orden de su descubrimiento los siguientes elementos: *cobalto, platino, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, manganeso, molibdeno, wolframio, telurio, cromo y berilio*».

En este punto aprovechaba para, como había hecho en alguno de sus textos de bachillerato, comentar acerca de las aportaciones españolas:

Y a España, que por esta vez no se halló alejada de las tareas internacionales científicas, le cupo la gloria de descubrir dos de esos once citados: el platino que descubrió Antonio de Ulloa en 1748 y el wolframio que en 1783 aislaron, por vez primera, los hermanos Juan José y Fausto Elhuyar. Y si añadiéramos que en el primer año del siglo 19 Andrés del Río descubrió el metal que hoy se llama *vanadio*, podríamos decir que, en aquel periodo, de doce elementos nuevos una cuarta parte se debió al ingenio español.

Recordando que Enrique Moles había dedicado, en 1934, su discurso de entrada a este tema, Catalán manifestaba que no pretendía abordarlo, aunque sí decir algo acerca del ambiente científico español en aquella época. «Estoy plenamente convencido —señalaba— de que esas aportaciones tan relevantes de los españoles descubriendo nuevos elementos, máxime cuando han sido estos los únicos encontrados por españoles, no fueron hechos aislados sino una consecuencia del gran empuje que en España se dio en aquel tiempo a los estudios científicos». Y pasaba a mencionar, entre otras cuestiones, las conocidas aportaciones de científicos extranjeros que enseñaron y trabajaron en España, como Proust y Chabaneau.

A continuación se adentraba en el mundo científico de los Lavoisier, Volta y Davy, para pasar en seguida a un descubrimiento al que tanto debió su propio trabajo: «En la segunda mitad del siglo 19, exactamente en el año 1860, se produce otro acontecimiento científico que va a revolucionar el problema de descubrir elementos. En ese año Bunsen y Kirchhoff construyeron el primer espectroscopio y con su ayuda encontraron los metales *cesio y rubidio*; poco después Crookes descubrió, también con el

espectroscopio, el *talio* y Reich el *indio*. En 1868 Janssen, observando durante un eclipse el espectro de la corona solar, descubrió una línea amarilla muy intensa que no correspondía al espectro de ningún elemento conocido en la tierra. Frankland y Lockyer sugirieron que sería debida a un elemento presente en el sol y desconocido en la tierra, al cual denominaron *helio*. Este elemento *helio* fue encontrado independientemente por Ramsay y Clevé, en 1895, en algunos minerales terrestres».

Poco después, tras haber insistido en algunos puntos específicos de la espectroscopia, las notas de Catalán regresaban, de manera fragmentaria, a temas que ya había tocado, muestra de que todavía no estaba satisfecho de su tratamiento. Nunca lo pudo estar. En su momento, para cubrir la vacante que el espectroscopista aragonés dejó fue elegido Arturo Duperier Vallesa, con quien se repitió la misma situación. Fue designado el 5 de febrero de 1958 y falleció poco más de un año más tarde, el 9 de febrero de 1959, sin haber llegado a pronunciar su discurso de entrada.

8.6. ENERGÍA NUCLEAR Y CONFERENCIAS EN CARACAS

El estallido de las dos bombas atómicas sobre las ciudades japonesas de Hiroshima y Nagasaki en agosto de 1945 atrajo la atención mundial sobre la energía nuclear, que a partir de entonces pasó a ser no solo tema preminente de investigación científica y asunto de Estado, sino también titular de todo tipo de medios de comunicación ²⁵. Ya hemos visto que Catalán no fue ajeno al atractivo de la energía nuclear, y que desde su regreso a la universidad la incluyó en sus cursos, planeando también escribir un libro. También se ocupó del tema en conferencias generales, como la que pronunció el 19 de febrero de 1955 dentro de un ciclo de conferencias dedicado a la guerra moderna que organizó

²⁵ Algunos comentarios sobre la introducción de la energía nuclear en España se encuentran en Sánchez Ron (1992 a, p. 61 y ss.) y Ordoñez y Sánchez Ron (1994-5).

el Seminario de Estudios Internacionales «Jordán de Asso», del CSIC. En aquella ocasión Catalán (77) disertó sobre «Efectos de las explosiones atómico-nucleares con fines de guerra»²⁶.

«A las diez horas cuarenta y cinco minutos de la mañana del día 6 de agosto de 1945 —comenzaba Miguel su exposición—, el secreto atómico más guardado durante la segunda guerra mundial fue revelado solemnemente por el presidente Truman con estas palabras: “Hace dieciséis horas un avión americano ha dejado caer una bomba sobre Hiroshima, base militar importante del Japón. Esa bomba tenía una potencia mayor que la de 20.000 toneladas de trinitrolueno (T.N.T.). Ha sido una bomba atómica. La fuerza, de la que el sol saca su potencia, ha sido desatada contra los que encendieron la guerra en el Extremo Oriente”».

Era, no cabe duda, un comienzo que no podía sino captar firmemente la atención de la audiencia. La gran habilidad de Catalán para, como escribió Antunes (1958), «hacer las cosas transcendentales, o tildadas de tal, accesibles a una gran mayoría», se mostró en aquella ocasión con particular intensidad.

Una vez preparada la atmósfera de la conferencia, nuestro personaje llamaba la atención sobre el hecho evidente de que el lanzamiento de la bomba y los efectos que produjo la explosión, habían abierto una nueva era para la humanidad. «En lo sucesivo todos los seres pensantes deberían ajustar sus pensamientos, sus modos de vida, sus leyes y sus relaciones humanas a nuevas normas, si la humanidad quería librarse del caos y marchar hacia un futuro brillante, el de la era atómica».

Es interesante señalar que su actitud frente a lo que podríamos denominar “peligro atómico” era muy precavida, casi tendente a minimizar semejante riesgo. Así, decía (pp. 60-61):

Desde que estalló esta bomba en el Japón, se ha especulado mucho acerca de las armas atómicas. Casi a diario se publican informaciones periodísticas y se dan a conocer conferencias sobre los daños que producen; pero, a nuestro juicio, mucho de lo que se ha dicho está hecho con fines sensacionalistas y hasta

²⁶ De hecho, el texto de esta conferencia es muy parecido al del capítulo I («La edad atómica») del libro que Catalán planeó y del que ya me ocupé.

con mala fe para producir confusión. Gentes que están fuera del campo atómico quieren llamar la atención para adquirir un poco de fama, y se aprovechan de la credulidad de un público que, a causa del secreto con que se guardan los descubrimientos atómicos, está muy poco informado. Téngase presente que del medio centenar de bombas de tipo atómico que hasta ahora se han hecho estallar por todos los países, sólo media docena de ellas han sido presenciadas, a distancia relativamente corta, por gentes que, por no ser militares o no pertenecer a los servicios atómicos, pudieran hacer uso público de lo que vieron ... y es claro que por el escaso material informativo que pudieron proporcionar esos observadores, no oficiales, no es posible hacer una valoración precisa de sus efectos.

A continuación, efectuaba una ordenada y transparente explicación de los procesos físicos que subyacen detrás de la bomba atómica, sin olvidar comentar acerca de las bombas H y de cobalto, ni sobre las radiaciones producidas. Al concluir, daba muestras de su fe en el avance de la ciencia:

El espíritu humano, llevado por su insaciable curiosidad, adentrándose cada vez más profundamente en los misterios de la naturaleza, llegará, sin duda, a descubrir secretos aún más importantes que los que hasta ahora se han encontrado, secretos que en este momento caen fuera de los límites de nuestra imaginación y que están tan lejos de la fusión y fisión nuclear, como estos procesos lo están, a su vez, del descubrimiento de encender el fuego por la chispa del pedernal.

En su propia búsqueda mental de posibles mecanismos más eficientes energéticamente que la fisión —o la fusión—, se paraba en la aniquilación materia-antimateria. «La materia se transforma así totalmente en energía, con un rendimiento del cien por cien», apuntaba. Y tras señalar que hasta el momento solo era posible realizar este proceso en la pequeña escala del laboratorio, concluía revelando el temor que sentía si se pudiese aprovechar en gran escala tal aniquilación, y que no era otro que entonces se podría construir una bomba más potente. «Se podría, probablemente, producir una reacción en cadena con los negatrones [electrones] de nuestra atmósfera, y entonces la energía total de la desmate-

rialización aparecería en forma de gigantesco y mortífero relámpago de radiación gamma, capaz de aniquilar todos los seres vivos de la zona que alcanzase». Habida cuenta de la historia reciente, ¿quien le podía asegurar que semejante posibilidad no pudiese llegar a ser realidad?

Continuando con su labor divulgadora de la física atómica y nuclear, tenemos que también ha sobrevivido el texto de una conferencia que pronunció el 29 de marzo de 1957, esto es, sólo unos pocos meses antes de que falleciera, dentro de un «Tercer curso de conferencias para preuniversitarios». El tema que abordó entonces fue el de «Aplicaciones de la energía nuclear para la propulsión de barcos, aviones y cohetes» ²⁷. En un estilo coloquial, muy apropiado para jóvenes que iban a entrar en la universidad, pasaba revista a la aplicación de la energía nuclear al transporte. De los submarinos decía que «el primer submarino, que se llama Nautilus, lleva en este momento en servicio cerca de dos años y todavía no le han tenido que cambiar el combustible; ha recorrido unos cien mil kilómetros con una cantidad muy pequeña de combustible atómico». Es cierto que había resultado muy caro a Estados Unidos, pero ya se estaba construyendo un segundo más grande y más perfecto.

En un principio la energía nuclear también podría parecer conveniente para la aviación: «el combustible atómico proporciona tal cantidad de energía que prácticamente no se consume», y por tanto se podía pensar que ya «no necesitaremos esos grandes depósitos que ahora llevan los aviones pues no necesitaremos gastar combustible en transportar combustible». Pero había un problema para llevar a la práctica tal idea: evitar la radiación que emiten los reactores nucleares. Catalán reconocía la dificultad, pero prefería pensar en que terminaría resolviéndose: «Pensad que hace muy pocos años no había quien se arriesgara a cruzar el Atlántico en un avión y hoy lo hacen miles de personas todos los días». En el caso de los cohetes apenas se refería a la energía nuclear, centrándose en los distintos tipos de propulsión que se utilizaban entonces.

²⁷ Agradezco al Prof. Fernando Rico el que me proporcionase una copia de esta conferencia.

En líneas generales, se puede decir que Miguel se convirtió en uno de los principales expositores del "mundo nuclear" en España.

Sin embargo, su esfuerzo más elaborado en lo que a la física nuclear se refiere no se llevó a cabo en España, sino en Venezuela, en un curso que terminaría publicándose, aunque ya no lo pudiese ver su autor, pues apareció en 1959, cuando él ya había muerto. Me ocuparé a continuación de él.

En 1955 el Comité de Becas de la Fundación «Eugenio Mendoza» de Caracas decidió organizar un curso de física nuclear del que pudiera derivarse la concesión de alguna beca para estudiar en el extranjero el tema. Con tal fin preguntó a Catalán si estaría dispuesto a pasar un periodo de tres o cuatro meses en la capital venezolana dictando un curso de esa materia. El físico español accedió y tras conseguir la Fundación «Eugenio Mendoza» la colaboración del Colegio de Ingenieros se hizo firme la oferta.

El curso intensivo sobre física nuclear de Miguel comenzó el 3 de febrero de 1956, celebrándose en la sede del Colegio de Ingenieros. Cada semana dictaba dos clases (lunes y viernes), prolongándose el curso hasta la penúltima semana de mayo (un total de unas treinta clases). El número de asistentes osciló entre las 70 y las 90 personas, la mayor parte —como se señala en una nota de prensa que se conserva entre sus papeles— profesores universitarios y de enseñanza secundaria, ingenieros, químicos, médicos y alumnos de la Facultad de Ingeniería²⁸. Además del curso, pronunció ocho conferencias divulgativas patrocinadas por la Fundación y Colegio de Ingenieros²⁹, así como otras en el

²⁸ Al término del curso, once asistentes optaron a la beca que ofrecía la Fundación para estudiar en el extranjero. Catalán participó en el proceso de selección del becario.

²⁹ No he podido averiguar el título de la primera conferencia; los de las restantes son: «Qué es el mundo de los átomos y en especial como es el núcleo de esos átomos» (8 de febrero), «Los reactores donde la energía nuclear es producida en escala industrial» (15 de febrero), «La propulsión nuclear de los aviones, submarinos y cohetes» (22 de febrero), «Aspectos económicos de la producción de la energía nuclear», «Los radioisótopos empleados como trazadores en los procesos industriales, en biología y en medicina», «Los diversos tipos de explosiones nucleares empleados con fines bélicos» y «Protección contra los peligros de las explosiones nucleares».



Dando clase en 1956 en el curso de Caracas

Estado Mayor de la Escuela de Infantería, Asociación de Químicos y tres en la Universidad de Zulia, en Maracaibo, a donde había sido invitado a su llegada. Estas últimas exposiciones tuvieron lugar el 21 («La utilización de la energía nuclear»), 22 («Los reactores para obtener energía nuclear») y 23 («El antiprotón y la antimateria») de mayo.

También se asomó Miguel a los diarios venezolanos, a través de entrevistas, e incluso se le brindó la oportunidad de contribuir con un editorial a la revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela. Ahí se refirió a «Nuestro mundo en la edad atómica» (Catalán 78). Es interesante citar algunas de sus palabras:

La energía nuclear salía de los confines del laboratorio para mostrarse al mundo en la forma de un poder terriblemente destructivo: la bomba atómica. A la humanidad se le habla de una Nueva Era representada por esa amenaza, que considera de orden casi cósmico, y el hombre se suma en mil reflexiones, se revela contra ese descubrimiento humano y querría anularlo, y que el científico renunciase a su victoria.

Pero ello no es posible. No podemos elegir otra realidad que la que nosotros, con nuestras investigaciones y descubrimientos hemos hallado. A nuestra disposición se encuentra ya liberada la energía nuclear y lo único que debemos hacer es continuar nuestro trabajo, para canalizar su empleo en otras direcciones y calmar el espanto de las gentes, mostrándoles que el terrible poder de esa energía es transformable en factor de múltiples beneficios, para los seres a los que les ha correspondido vivir en esta era atómica.

En cuanto al curso sobre física nuclear en sí, se trata de un texto (Catalán 86) eminentemente expositivo, esto es, sin discusiones teóricas muy elaboradas. Pero lejos de constituir este rasgo una limitación, representa una de sus mayores virtudes, pues permitió a su autor ampliar significativamente el rango de temas tratados, que van desde la equivalencia masa-energía hasta las partículas elementales, pasando por el espín, las fuerzas nucleares, la fisión, reactores nucleares, tipos y peligros de las radiaciones, así como la física, química y biología de los isótopos, incluyendo muchos de los 22 capítulos una lista de problemas. Realmente fue una pena que este texto no se difundiese en

España, en donde fue prácticamente desconocido, incluso para sus discípulos más allegados ³⁰.

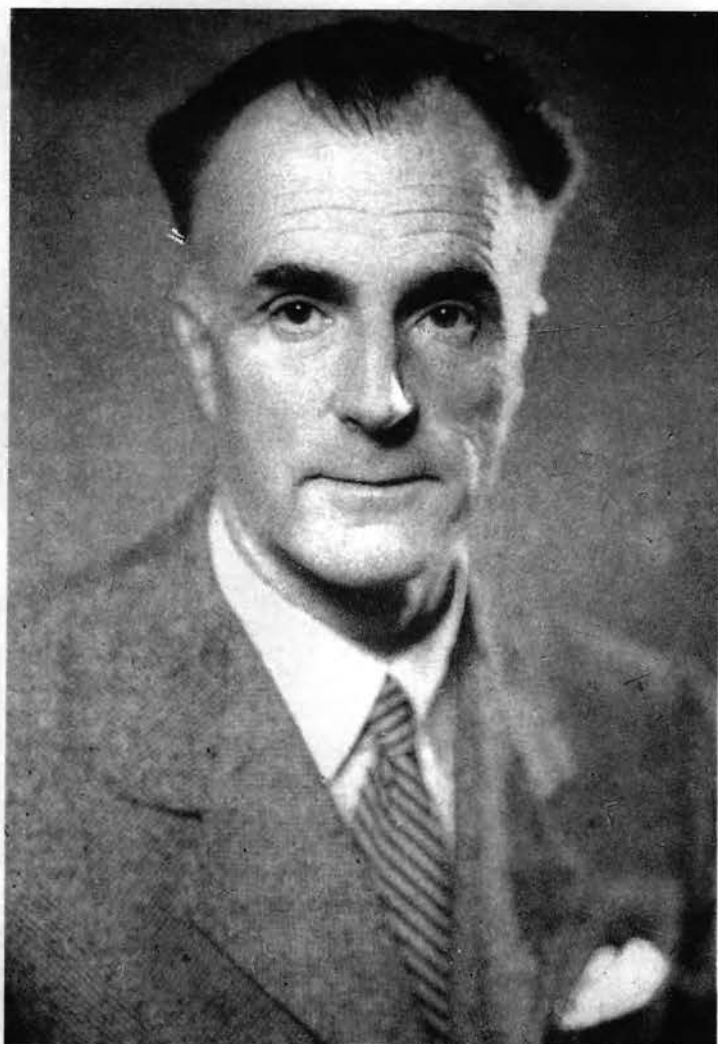
De Venezuela Catalán se trasladó a la Universidad de Princeton, en donde continuó con sus colaboraciones con los científicos de allí. Posiblemente de regreso hacia Madrid desde Estados Unidos, nuestro científico pasó por Buenos Aires, en donde, patrocinado por la Institución Cultural Española y la Comisión de Energía Atómica argentina dictó (el 30 de agosto, 6, 13, 20 y 27 de septiembre) un curso de cinco lecciones sobre «Problemas atómicos» en la Facultad de Ciencias Exactas. Además, el 3 de septiembre habló de «El átomo» en la Sociedad Científica Argentina. El eco de su curso y conferencias en Venezuela debió de haberse propagado rápidamente y otras naciones hispanoamericanas le solicitaban.

8.7. FINAL

La actividad de Catalán en la década de los años 50 era, como vemos, muy intensa. Además de las tareas ya mencionados, cabe señalar que en 1952 había sido elegido en Roma consejero de la Joint Commission for Spectroscopy de la International Union of Scientific Unions, y que en 1953 trabajó durante un semestre en problemas de niveles de energía atómica invitado por la Universidad de Princeton.

Sin embargo, el 11 de noviembre de 1957, a los sesenta y tres años de edad, después de una breve (dos días) e inesperada enfermedad, Miguel Antonio Catalán fallecía en Madrid. Estaba trabajando entonces sobre espectros de átomos múltiplemente ionizados (carentes de dos electrones) en elementos químicos de transición, frecuentes en algunos tipos de estrellas, en colaboración con Meggers, Shenstone y B. Edlen (de la Universidad de Lund). Y aún transcurrirían siete años tras su muerte para que se publicase su último artículo, en colaboración con William Meggers y Olga García-Riquelme (87). Otros seis años después, en 1970,

³⁰ El único ejemplar que he localizado se encuentra en la biblioteca de la Sociedad Española de Física y Química (Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Complutense, Madrid).



Catalán en los años 50

José Manuel Sánchez Ron

la Unión Astronómica Internacional dio el nombre de «Miguel A. Catalán» a uno de los cráteres de la cara oculta de la Luna, el situado en 46° S y 87° W, en reconocimiento a la importancia del descubrimiento de los multipletes para el desarrollo de la astrofísica. Un honor apropiado para la vida de un espléndido y laborioso científico.

BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE MIGUEL A. CATALÁN

(ASEFQ = *Anales de la Sociedad Española de Física y Química*,
RACEFN = *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*)

1. «Contribución al estudio del espectro del magnesio. Nuevas líneas halladas en el mismo», *ASEFQ* 14, 584-596 (1916).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 29, 15 págs. + 2 láminas (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Instituto Nacional de Ciencias Físico-Naturales, Madrid 1916).
2. «Nuevos dobletes adicionales a las series espectrales de la plata. Comprobación de la existencia de la serie principal. Nuevas líneas», *ASEFQ* 15, 222-230 (1917).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 35 (1917), 13 págs. + 1 lámina.
3. *Espectroquímica del magnesio. Nuevas líneas en su espectro y en el de la plata*, tesis doctoral (Artes Gráficas, G. Casañal, Zaragoza 1917), 55 págs.
4. «Algunas regularidades en los espectros del cobre y del boro», *ASEFQ* 15, 432-434 (1917).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 38 (1917), 12 págs. + 1 lámina.
5. «Nuevas líneas en el espectro de arco de la plata entre 4500 y 2300 U.A.», *ASEFQ* 15, 483-486 (1917).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 38 (1917), 12 págs. + 1 lámina.

6. «Investigaciones sobre las rayas últimas en los espectros de arco de los elementos», *ASEFQ* 15, 487-498 (1917).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 39 (1917), 16 págs.
7. «Investigaciones sobre las rayas últimas en los espectros de arco de los elementos», *ASEFQ* 16, 513-519 (1918).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 46, págs. 151-157 (1918).
8. *Ejercicios prácticos de Química* (Tipografía de G. Casal, Zaragoza 1919), 223 págs.
9. «La tabla de interpolación de Rydberg y el cálculo de las series espectrales», *ASEFQ* 18, 118-128 (1920).
(En colaboración con A. del Campo).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 5 (1920), 13 págs.
10. «Series and other regularities in the spectrum of manganese», *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A* 223, 127-173 (1922).
11. «Estudios sobre series espectrales. I», *RACEFN* 20, 257-321 (1922).
12. «Estructura del espectro del escandio», *ASEFQ* 20, 606-621 (1922).
13. «Estructura del espectro del átomo neutro del cromo», *ASEFQ* 21, 84-125 (1923).
14. «Sur la structure des spectres d'arc des éléments des colonnes VI et VII de la Table périodique». *Comptes Rendus Académie des Sciences* 176, 84-85 (1923).
15. «Sur la structure des spectres d'arc de molybdène, du sélénium et de chrome». *Comptes Rendus Académie des Sciences* 176, 247-248 (1923).
16. «Séries spectrales et potentiels d'ionisation et de résonance du chrome et du molybdène», *Comptes Rendus Académie des Sciences* 176, 1063-1065 (1923).
17. «La órbita fundamental de los átomos», *ASEFQ* 21, 162-165 (1923).
18. «Estructura del espectro del átomo neutro del molibdeno», *ASEFQ* 21, 213-235 (1923).
19. «Los espectros y la clasificación periódica», *ASEFQ* 21, 321-329 (1923).

20. «El sistema de cuartetos del escandio neutro y la clasificación periódica», *ASEFQ* 21, 464-480 (1923).
21. «Efecto Zeeman de los multipletes del molibdeno», *ASEFQ* 21, 527-532 (1923).
22. «Estudios sobre series espectrales, II», *RACEFN* 21, 342-420 (1923).
23. «Método para hallar los valores relativos de los términos de un espectro y su aplicación al del vanadio neutro», *ASEFQ* 22, 72-83 (1924).
24. «La estructura del espectro del hierro», *ASEFQ* 22, 398-408 (1924).
25. «Sobre la estructura del espectro del escandio, II», *ASEFQ* 22, 497-504 (1924).
26. «Relation between pressure shift, temperature class, and spectral terms of the iron lines», *Nature* 113, 889-891 (1924).
27. «Relation between pressure shift, temperature class, and spectral terms», *Nature* 114, 192-193 (1924).
28. «Über spektrale Gesetzmässigkeiten bei den Atomen der Eienreihe», *Bayerische Akademie der Wissenschaften*, febrero (1925).
29. «La estructura del espectro del cobalto neutro», *ASEFQ* 23, 304-342 (1925).
(En colaboración con K. Bechert).
30. «La estructura de los espectros de los elementos de la serie del hierro en el sistema periódico», *ASEFQ* 23, 395-408 (1925).
31. «La estructura del espectro del paladio», *ASEFQ* 23, 457-476 (1925).
(En colaboración con K. Bechert).
32. «Die struktur des Kobaltspektrums», *Zeitschrift für Physik* 32, 336-369 (1925).
(En colaboración con K. Bechert).
33. «Über das Bogenspektrum des Palladiums», *Zeitschrift für Physik* 35, 449-463 (1926).
(En colaboración de K. Bechert).
34. «Sobre algunas relaciones en los espectros ópticos», *ASEFQ* 24, 222-233 (1926).
(En colaboración con K. Bechert).
35. «Über einige allgemeinere Regelmäßigkeiten der optischen Spektren», *Zeitschrift für Physik* 37, 658-666 (1926).
(En colaboración con K. Bechert).

36. «Estructura del espectro del cobalto I (2.^a parte)», *ASEFQ* 25, 518-548 (1927).
37. «Die Struktur des Kobaltspektrums II», *Zeitschrift für Physik* 47, 89-113 (1928).
38. «Notas sobre la estructura del espectro del manganeso», *ASEFQ* 26, 67-74 (1929).
39. «Estructura del espectro del cobalto (3.^a parte)», *ASEFQ* 27, 832-845 (1929).
40. «Defectos cuánticos y líneas últimas en los elementos del período del hierro», *ASEFQ* 28, 83-100 (1930).
41. «Análisis parcial del espectro del Cr II», *ASEFQ* 28, 611-631 (1930).
42. «Estudios sobre series espectrales III-Cobalto», *RACEFN* 25, 299-330 (1930).
Publicado también en *Trabajos del Laboratorio de Investigaciones Físicas*, nº 80 (1930), 32 págs. + 3 láminas plegables.
43. «Estructura del espectro del hierro», *ASEFQ* 28, 1239-1385 (1930).
44. *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y Química (primer curso)* (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Instituto-Escuela, Madrid 1931), 142 págs.
(En colaboración con Andrés León).
45. «Estructura del espectro del cromo I», *ASEFQ* 29, 327-366 (1931).
(En colaboración con Pilar Martínez Sancho).
46. «Análisis estructural del espectro I del molibdeno (2.^a parte)», *ASEFQ* 31, 707-734 (1933).
(En colaboración con Pilar de Madariaga).
47. «Estudios sobre series espectrales IV - Molibdeno I», *RACEFN* 30, 621-659 (1933).
(En colaboración con Pilar de Madariaga).
48. *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y Química (segundo curso)* (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Instituto-Escuela, Madrid 1934), 139 págs.
(En colaboración con A. León).
49. «Efecto Zeeman del espectro del wolframio», *ASEFQ* 32, 255-270 (1934).
(En colaboración con F. Poggio).
50. *Exposición de la enseñanza cíclica de la Física y Química (tercer*

curso) (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Instituto-Escuela 1935), 242 págs.

(En colaboración con A. León).

51. «Determination of the g-values of the terms of a spectrum». *Zeeman, Verhandelingen*, págs. 387-392 (Martinus Nijhoff, La Haya 1935).

(En colaboración con F. Poggio).

52. «Líneas extrañas al Co I, en el espectro de arco del cobalto», *ASEFQ* 33, 391-432 (1935).

(En colaboración con M. T. Antunes).

53. «Beziehungen zwischen den tiefen Termen der Elemente der Eisenreihe», *Zeitschrift für Physik* 102, 432-460 (1936).

(En colaboración con M. T. Antunes).

54. «El espectro Raman del ácido sulfúrico», *ASEFQ* 34, 26-47 (1936).

(En colaboración con L. Yzu).

55. «Estructura del espectro del cobalto neutro», *ASEFQ* 34, 103-145, 207-297 (1936).

(En colaboración con M. T. Antunes).

56. «Medición de las líneas el espectro de chispa del molibdeno entre 2195 Å y 2000 Å», *ASEFQ* 34, 146-164 (1936).

(En colaboración con José M.^a Román).

57. «Relaciones entre los términos espectrales profundos de los elementos del período del hierro», *Boletín de la Academia de Ciencias de Madrid*, año II, nº 6 (1936). En castellano y alemán. Separata de 4 págs.

(En colaboración con M. T. Antunes).

58. «Estructura del espectro del molibdeno ionizado». *XV Congreso Asociación Española para el Progreso de las Ciencias. Santander 1938*. Separata de 2 págs.

(En colaboración con J. M.^a Román).

Firmado desde el Instituto Nacional de 2.^a Enseñanza, Segovia, julio 1938.

59. *Física y Química* (Librería E. Prieto, Madrid 1939), 280 págs.

60. «Cuatro multiplicidades en el espectro del hierro». *Las Ciencias* 4, nº 2, 323-325 (1939).

61. «Relaciones entre los términos profundos de los elementos del período del hierro», *Las Ciencias* 5, nº 1, 47-48 (1940). Está

firmado en el «Instituto Nacional de Segunda Enseñanza», Segovia, julio 1938. (En colaboración con M. T. Antunes).

62. «La existencia de sustancias inhibidoras de la reacción de Carr y Price en algunos productos vitamínicos», *Revista Clínica Española* 7, 321-324 (1942).
(En colaboración con Francisco Grande Covián).
63. «La aplicación de la ley de Beer al desarrollo de color en la reacción de Carr y Price de la vitamina A». *Revista Clínica Española* 7, 340-341 (1942).
(En colaboración con Francisco Grande Covián).
64. *Física y Química (séptimo curso)* (Madrid 1943), 136 págs.
(En colaboración con A. León).
65. «Método simplificado para la determinación del recambio respiratorio con el interferómetro de laboratorio de Zeiss», *Revista Clínica Española* 13, 217-225 (1944).
(En colaboración con F. Grande Covián).
66. *Física y Química (cuarto curso)*, 224 págs. (3.ª edición).
(En colaboración con A. León) (1947).
67. «Química: Los nombres de los elementos químicos», *Ínsula*, nº 17, 15 de Mayo de 1947, 1 p.
68. «Unequal g-values for the different magnetic levels of an atomic energy level», *Proceedings of the Physical Society* A63, 917-919 (1950).
(En colaboración con R. Velasco).
69. «Asymmetries of Zeeman patterns and g-values for neutral manganese», *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 47, 502-524 (1951).
70. «Variaciones del factor g en el efecto Paschen-Back parcial», *ASEFQ* 47A, 7-14 (1951).
(En colaboración con R. Velasco).
71. «Medidas de efecto Zeeman en el espectro del Mn I», *ASEFQ* 47A, 173-180 (1951).
(En colaboración con Olga García-Riquelme).
72. «Series y potenciales de ionización en los espectros I, II y III de los elementos del grupo del hierro», *ASEFQ* 48, 247-266 (1952).
(En colaboración con R. Velasco).

73. «Series y potenciales de ionización en los espectros I y II de los elementos del grupo del paladio», *ASEFQ* 48A, 328-338 (1952).
(En colaboración con F. R. Rico).
74. «Las configuraciones electrónicas $3d^{n-2} 4s^2$ y $3d^{n-2} 4s 5s$ en los elementos del primer grupo de transición», *ASEFQ* 49A, 67-76 (1953).
75. «Relations between the low atomic configurations in the long periods», *Proceedings of the Royal Society of London A* 221, 421-437 (1954).
(En colaboración con F. Rohrlieh y A. G. Shenstone).
76. «Relaciones generales entre las configuraciones atómicas profundas 1^m , $1^m s$ y $1^m s^2$ », *ASEFQ* 51A, 5-18 (1955).
(En colaboración con M. T. Antunes).
77. «Efectos de las explosiones atómico-nucleares con fines de guerra», en *La guerra moderna I*, pp. 57-87 (Universidad de Zaragoza 1955).
78. «Nuestro mundo en la edad atómica», *Revista del Colegio de Ingenieros de Venezuela* nº 241 (abril de 1956), p. 3 (editorial).
79. «Term analysis of the first spectrum of Rhenium (Re I)», *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 59, 319-348 (1957).
(En colaboración con P. F. A. Klinkenberg, W. F. Meggers y R. Velasco).
80. «Series y potenciales de ionización en los espectros III de los elementos del grupo del paladio», *ASEFQ* 53A, 85-94 (1957).
(En colaboración con Fernando R. Rico).
81. «El espectro ultravioleta extremo del Mn III», *ASEFQ* 53A, 179-184 (1957).
82. «Term analysis of the second spectrum of Rhenium (Re II)», *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 61, 441-461 (1958).
(En colaboración con William F. Meggers y Manuel Sales).
83. «Estructura de los espectros B I a Na I, C II a Mg II y N III a Al III», *ASEFQ* 54A, 5-16 (1958).
(En colaboración con F. R. Rico).
84. «Potenciales de ionización de las partículas Al a K, Si^+ a Ca^+ y P^{++} a Sc^{++} », *ASEFQ* 54A, 289-300 (1958).
(En colaboración con F. R. Rico).

José Manuel Sánchez Ron

85. «Las series $4p^{m-1}n_s$ en los espectros Ga I a Rb I y Ge II a Sr II», *ASEFQ* 54, 301-308 (1958).
(En colaboración con F. R. Rico).
86. *Lecciones de Física nuclear* (Fundación Eugenio Mendoza y Universidad Nacional de Zulia, Caracas 1959), 329 pp.
87. «The first spectrum of Manganese, Mn I», *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 68A, 9-59 (1964).
(En colaboración con William F. Meggers y Olga García-Riquelme).

REFERENCIAS

- ABELLÁN, José Luis (1989), *Historia crítica del pensamiento español. 5/1 La crisis contemporánea (1875-1936)* (Espasa-Calpe, Madrid).
- ANTUNES, M. T. (1958), «Professor D. Miguel A. Catalán», *Gazeta de Física* 3 (fasc. 6), 3 pp.
- ASÍN PALACIOS, Miguel (1940), «Por qué lucharon a nuestro lado los musulmanes marroquíes», *Revista de la Universidad de Madrid* 1, 143-167 (1940).
- BABCOCK, Horace W. (1986 a), «Diffraction gratings at the Mount Wilson Observatory», *Physics Today* (julio), pp. 34-42.
- (1986 b), «Diffraction gratings at the Mount Wilson Observatory», *Vistas in Astronomy* 29, 153-174.
- BERNIS, Elisa (1972), «Miguel Catalán», *Revista de Occidente*, nº 115 (octubre), pp. 91-102.
- BERROJO JARJO, Raúl (1980), *Enrique Moles y su obra*, tesis doctoral, Facultad de Farmacia, Universidad de Barcelona, 3 vols.
- BOHR, Niels (1913), «On the constitution of atoms and molecules», *Philosophical Magazine* 26, 1-25.
- (1963), «Reminiscences of the founder of nuclear science and of some developments based on his work», en *Rutherford at Manchester*, J. B. Birks, ed. (Benjamin, Nueva York), pp. 114-167.
- BOHR, Niels y COSTER, Dirk (1923), «Röntgenspektren und periodisches System der Elemente», *Zeitschrift für Physik* 12, 342-374.
- BONILLA y SAN MARTÍN, Adolfo (1914), *La vida corporativa de los estudiantes españoles en sus relaciones con la historia de las Universidades* (Madrid).

- BRAÑA, Javier, BUESA, MIKEL y MOLERO, José (1984), *El Estado y el cambio tecnológico en la industrialización tardía* (Fondo de Cultura Económica, México/Madrid).
- BRU, Luis (1972), 'Recuerdo de M. A. Catalán', Conferencia en la III Reunión Nacional de Espectroscopia, Zaragoza, 24/29 de septiembre. Manuscrito.
- CABRERA, Blas (1924), «Paramagnetismo de los elementos de las tierras raras y el magnetón de Weiss», *Revista de la Academia de Ciencias* 22, 289-322.
- (1925), «Le magnétisme et la structure de l'atome et de la molécule», *Journal de Physique et le Radium* 6, 241-258, 273-286.
- (1927), «Discurso de contestación» (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid).
- CABRERA, Juan (1920), *Velocidad de los iones gaseosos*. Tesis doctoral (leída el 20 de octubre de 1919), 48 pp. (Imprenta Clásica Española, Madrid).
- CACHO VIU, Vicente (1988), «La Junta para Ampliación de Estudios, entre la Institución Libre de Enseñanza y la generación de 1914», en Sánchez Ron, coord. (1988 a), vol. II, pp. 3-26.
- CAHAN, David (1989), *An Institute for an Empire. The Physikalisch-Technische Reichsanstalt, 1871-1918* (Cambridge University Press, Cambridge).
- CASARES GIL, José (1895), «El espectroscopio y sus principales aplicaciones», *Memorias de la Real Academia de Ciencias de Barcelona*, 3.^a época II.
- (1909), «Consideraciones acerca de algunos métodos empleados en el análisis de aguas minerales», *ASEFQ* 7, 466-464.
- CASARES RODRIGO, Antonio (1865), *Análisis químico de las aguas minerales y potables* (Editor Calleja, Madrid).
- (1866), «Descubrimiento de los dos nuevos metales rubidio y cesio en varias aguas minerales de Galicia», *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 16.
- CASSIDY, David C. (1979), «Heisenberg's first core model of the atom: the formation of a professional style», *Historical Studies in the Physical Sciences* 10, 187-224.
- CASTILLEJO, José (1976), *Guerra de ideas en España* (Revista de Occidente, Madrid).

Referencias

- CASTRO, Américo (1918), «El movimiento científico en la España actual». Reproducido en Castro (1972, pp. 93-122).
- (1972), *De la España que aún no conocía* (Finisterre, México 1972).
- CATALÁN, Diego (1987), «Miguel Catalán», *Boletín Informativo Fundación March*, n.º 172, pp. 3-18.
- CATALÁN, Miguel A. Ver «Bibliografía de M. A. Catalán».
- CLAREMONT DE CASTILLEJO, Irene (1967), *I married a stranger. Life with one of Spain's enigmatic men* (manuscrito no publicado).
- COCHRANE, Rexmond C. (1966), *Measures for Progress. A History of the National Bureau of Standards* (National Bureau of Standards, U.S. Department of Commerce, Washington).
- CONDON, E. U. y SHORTLEY, G. H. (1967), *The Theory of Atomic Spectra* (Cambridge University Press, Cambridge).
- DE ENTRAMBASAGUAS, Joaquín (1938), *Pérdida de la Universidad Española* (Delegación Nacional de Prensa, Propaganda de FET, de las JONS, Bilbao).
- DEL CAMPO, Ángel (1907), *Observaciones acerca de los espectros de absorción que presentan varias reacciones coloreadas de algunas exosas*, tesis doctoral (Imprenta de los Hijos de M. G. Fernández, Madrid).
- (1909 a), «Una reacción coloreada de las sales de cinc (nota preliminar)», *ASEFQ* 7, 63-69.
- (1909 b), «Análisis de dos muestras de manganina», *ASEFQ* 7, 111-116.
- (1909 c), «De re estereoquímica», *ASEFQ* 7, 155-165.
- (1922), «Los grupos de líneas no seriadas en el espectro del calcio», *Revista de la Real Academia de Ciencias* 20, 217-235.
- (1923), «El momento actual de la enseñanza química en España», *Actas Noveno Congreso Asociación Española para el Progreso de las Ciencias* (Jiménez y Molino, Impresores, Madrid), pp. 89-107.
- (1927), *La evolución del sistema periódico de los elementos*, discurso de entrada en la Real Academia de Ciencias (Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Madrid).
- DEL CAMPO y FRANCÉS, Angel (1993), «Recordando al Profesor Miguel A. Catalán» *Boletín del Ilustre Colegio Oficial de Doctores y Licen-*

- ciados en Filosofía y Letras y en Ciencias*, n.º 50 (diciembre), pp. 38-39.
- DEVORKIN, David y KENAT, Ralph (1983 a), «Quantum physics and the stars (I): The establishment of a stellar temperature scale», *Journal for the History of Astronomy* 14, 102-132.
- (1983 b), «Quantum physics and the stars (II): Henry Norris Russell and the abundances of the elements in the atmospheres of the Sun and stars», *Journal for the History of Astronomy* 14, 180-222.
- DINGLE, Herbert (1951), *A Hundred Years of Spectroscopy* (Blackwell, Oxford).
- DUMAS (1861), «Sobre los descubrimientos de MM. Bunsen y Kirchhoff», *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 11, 481-485.
- ECKERT, M., PRICHA, W., SCHUBERT, H. y TORKAR, G. (1984), *Geheimrat Sommerfeld, Theoretischer Physiker* (Deutsches Museum, Munich).
- FORMAN, Paul (1968), «The doublet riddle and atomic physics circa 1924», *Isis* 59, 156-174.
- (1970), «Alfred Landé and the anomalous Zeeman effect, 1919-1921», *Historical Studies in the Physical Sciences* 2, 153-261.
- FOSDICK, Raymond B. (1957), *La Fundación Rockefeller* (Grijalbo, México).
- FOWLER, Alfred (1922), *Report on Series in Line Spectra* (Fleetway Press, Londres).
- (1926), «The analysis of line spectra», en *Report of the ninety-fourth meetings of the British Association for the Advancement of Science* (Office of the British Association, Londres), pp. 16-45.
- (1928 a), «Memories of Sir Norman Lockyer», capítulo XXXIX de T. Mary Lockyer y Winifred L. Lockyer, *Life and Work of Sir Norman Lockyer* (MacMillan, Londres), pp. 453-462.
- (1928 b), «Spectra and atoms», *Journal of the Chemical Society*, pp. 764-780.
- GAMERO MERINO, Carmela (1988), *Un modelo europeo de renovación pedagógica: José Castillejo* (CSIC/Instituto de Estudios Manchegos, Madrid).

Referencias

- GIESELER, Hilde (1922), «Serienzusammenhänge im Bogenspektrum des Chroms», *Annalen der Physik* 69, 147-160.
- GIL DE ZÁRATE, A. (1855), «*De la instrucción pública en España*», 3 vols. (Madrid).
- GLICK, Thomas F. (1988), «La Fundación Rockefeller en España: Augustus Trowbridge y las negociaciones para el Instituto Nacional de Física y Química, 1923-1927», en Sánchez Ron, coord. (1988 a), vol. II, pp. 281-300.
- GOMIS, Alberto, pres. (1988), *Ignacio Bolívar y las Ciencias Naturales en España* (CSIC, Madrid).
- GONZÁLEZ EGIDO, Luciano (1986), *Agonizar en Salamanca. Unamuno* (Alianza Editorial, Madrid).
- GONZÁLEZ MARTÍ, Ignacio (1917), «Estado de la enseñanza de la Física en las Universidades de España», en *Actas IV Congreso Asociación Española para el Progreso de las Ciencias*, Tomo I, pp. 35-57 (Madrid).
- GONZÁLEZ RODRÍGUEZ, Encarnación (1988), *Sociedad y educación en la España de Alfonso XIII* (Fundación Universitaria Española, Madrid).
- GOUDSMIT, Samuel (1925), «Über die Komplexstruktur der Spektren», *Zeitschrift für Physik* 32, 794-798.
- HALL, A. Rupert (1982), *Science for Industry. A Short History of the Imperial College of Science and Technology* (Imperial College, Londres).
- HEARNshaw, J. B. (1986), *The Analysis of Starlight. One Hundred and Fifty Years of Astronomical Spectroscopy* (Cambridge University Press, Cambridge).
- (1987), «The analysis of starlight: some comments on the development of stellar spectroscopy, 1815-1965», *Vistas in Astronomy* 30, 319-375.
- HEILBRON, John y KUHN, Thomas S. (1969), «The genesis of the Bohr atom», *Historical Studies in the Physical Sciences* 1, 211-290.
- HEINRICH, Rudolf y BECHMANN, Hans-Reinhard (1989), *Walther Gerlach. Physiker-Lehrer-Organisator* (Deutsches Museum, Munich).
- HEISENBERG, Werner (1925), «Zur Quantentheorie der Multiplettstruktur und der anomalen Zeemaneffekte», *Zeitschrift für Physik* 32, 841-860.

- HENTSCHEL, Klaus (1993), «The discovery of the redshift of solar Fraunhofer lines by Rowland and Jewell in Baltimore around 1890», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 23, 219-277.
- HICKS, William M. (1910-1919), «A critical study of the spectral lines», *Philosophical Transactions of the Royal Society* 210A, 57-111 (1910); 212A, 33-73 (1912); 213A, 323-420 (1914); 217A, 361-410 (1917); 220A, 335-468 (1919).
- HIROSE, Tetu y Nisio, S. (1964), «Formation of Bohr's theory of atomic constitution», *Japanese Studies in Historical Sciences* N.º 3, 6-28.
- HOYER, Ulrich, «Introduction», en *Niels Bohr Collected Works*, vol. 2 («Work on atomic physics (1912-1917)»), U. Hoyer, ed. (Noth-Holland, Amsterdam), pp. 103-134.
- HUGGINS, William (1891), «President address», en *Report of the sixty-first meeting of the British Association for the Advancement of Science (Cardiff)* (John Murray, Londres), pp. 3-37.
- HUND, Friedrich (1925 a), «Zur Deutung verwickelter Spektren, insbesondere der Elemente Scandium bis Nickel», *Zeitschrift für Physik* 33, 345-371.
- (1925 b), «Zur Deutung verwickelter Spektren. II», *Zeitschrift für Physik* 34, 296-308.
- (1974), *The History of Quantum Theory* (Harrap, Londres).
- ÍÑIGUEZ y ALMECH, José María (1934), «Contestación al discurso de entrada en la Academia de Ciencias de Zaragoza de Juan Cabrera y Felipe», *Revista de la Academia de Ciencias Exactas, Físico-Químicas y Naturales de Zaragoza* 17, 134-140.
- IZQUIERDO GÓMEZ, Juan Antonio (1917), «De la enseñanza de la Física en la Facultad de Ciencias Químicas», *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza* 41, 325-330, 363-367.
- JAMES, Frank A. J. L. (1983), «The establishment of spectro-chemical analysis as a practical method of qualitative analysis», *Ambix* 30, 30-53.
- JAMMER, Max (1989), *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*, 2.ª edición (American Institute of Physics, Nueva York).
- JEANS, James (1914), *Report on Radiation and the Quantum-theory* (The Physical Society of London, Londres).

Referencias

- KANGRO, Hans (1976), *Early History of Planck's Radiation Law* (Taylor and Francis, Londres).
- KARGON, Robert H. (1977), «Temple to science: Cooperative research and the birth of the California Institute of Technology», *Historical Studies in the Physical Sciences* 8, 3-31.
- KAYSER, Heinrich (1900), *Handbuch der Spektroskopie*, vol. I (Hizel Verlag, Leipzig).
- (1910), *Handbuch der Spektroskopie*, vol. V (Hizel Verlag, Leipzig).
- (1912), *Handbuch der Spektroskopie*, vol. VI (Hizel Verlag, Leipzig).
- KAYSER, H. y RUNGE, Carl (1888-1893), «Über die Spectra der Elemente», *Berlin Akademie Abh.* (1888), 93 pp.; (1889), 45 pp.; (1890), 66 pp.; (1891), 72 pp.; (1892), 39 pp.; (1893), 20 pp.
- KENAT, Ralph y DeVORKIN, David H. (1990), «Quantum physics and the stars (III): Henry Norris Russell and the search for a rational theory of stellar spectra», *Journal for the History of Astronomy* 21, 157-186.
- KOHLER, Robert E. (1978), «A policy for the advancement of science: the Rockefeller Foundation, 1924-29», *Minerva* 16, 480-515.
- (1991), *Partners in Science. Foundations and Natural Scientists, 1900-1945* (The University of Chicago Press, Chicago).
- KOHLRAUSCH, Karl W. F. (1931), *Der Smekal-Raman Effekt* (Julius Springer Verlag, Berlín).
- KIRCHHOFF, Gustav R. y BUNSEN, Robert (1860), «Chemische Analyze durch Spectralbeobachtungen», *Annalen der Poggendorf* 110, 161-189.
- (1862), «Análisis química fundada en las observaciones del espectro», *Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales* 12, pp. 205-219, 281-291, 329-332 (carta de Kirchhoff a Erdmann), 333-343, 389-413, 460-467.
- KOPPERL, Sheldon J. (1974), «Urbain, Georges», *Dictionary of Scientific Biography*, Charles Coulston Gillispie, ed., vol. 13, pp. 546-547 (Charles Scribner's Sons, Nueva York).
- KUHN, Thomas S., HEILBRON, John L., FORMAN, Paul L. y ALLEN, Lini (1967), *Sources for History of Quantum Physics. An Inventory and Report* (The American Philosophical Society, Filadelfia).

José Manuel Sánchez Ron

- LANDÉ, Alfred (1921), «Über den anomalen Zeemaneffekt (Teil I)», *Zeitschrift für Physik* 5, 231-241.
- (1923), «Termstruktur und Zeemaneffekt der Multipletts», *Zeitschrift für Physik* 15, 189-205.
- LANDSBERG, G. y MANDEL'SHTAM, S. (1928), «Eine neue Erscheinung bei der Lichtzerstreuung in Krystallen», *Naturwissenschaften* 16, 557-558.
- LAPORTA, Francisco, RUIZ MIGUEL, Alfonso, ZAPATERO, Virgilio y SOLANA, Javier (1980), «La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas», 5 vols., 1.970 pp., manuscrito no publicado (Fundación Juan March, Madrid).
- LAPORTA, Francisco, RUIZ MIGUEL, Alfonso, ZAPATERO, Virgilio y SOLANA, Javier (1987), «Los orígenes culturales de la Junta para Ampliación de Estudios», *Arbor*, n.º 493 (enero), 17-87 y n.º 499-500 (julio/agosto), 9-137.
- LOCKYER, T. Mary y LOCKYER, Winifred L. (1928), *Life and Work of Sir Norman Lockyer* (MacMillan, Londres).
- LOCKYER, Norman, *Studies in Spectrum Analysis* (Kegan Paul, Trench, Trübner & Co., Londres).
- LÓPEZ ARROYO, Manuel (1972), «La espectroscopia en el Observatorio Astronómico de Madrid», *Boletín Astronómico del Observatorio de Madrid* 8, n.º 2, 15 pp.
- LÓPEZ DE AZCONA, Juan Manuel (1969), *Bibliografía espectroquímica española* (Adam Hilger, Londres/ Ibérica, Madrid).
- (1988), «El análisis espectroquímico durante la Junta para Ampliación de Estudios (1907-1936)», en Sánchez Ron, coord. (1988 a), vol. II, pp. 301-312.
- LÓPEZ GARCÍA, Santiago (1994), *El saber tecnológico en la política industrial del primer franquismo*, tesis doctoral (Universidad Complutense, Madrid).
- MADARIAGA, Benito (1984), *La Universidad Internacional de Verano de Santander* (Ministerio de Universidades e Investigación, Madrid).
- MAIER, Clifford L. (1981), *The Role of Spectroscopy in the Acceptance of the Internally Structured Atom, 1860-1920* (Arno Press, Nueva York).
- MARTÍNEZ, Graciano (1915), «Las prodigalidades del Ministerio de Ins-

- trucción Pública y la Institución Libre de Enseñanza», *España y América*.
- MARTÍNEZ-RISCO, Manuel (1911), «La asimetría de los tripleres de Zeeman», *Revista de la Academia de Ciencias de Madrid*, 10, 456. Reproducida en Martínez-Risco (1976), pp. 9-53.
- (1924), «Analyse spectrale de la météorite du 19 juin 1924», *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 179, 771. Reproducido también en Martínez-Risco (1976), pp. 97-98. Una versión más extensa, en castellano, apareció en el *Anuario del Observatorio de Madrid* (1925), reproducido en Martínez-Risco (1976), pp. 81-95.
- (1976), *Oeuvres Scientifiques* (Presses Universitaires de France, París).
- MAUNDER, E. W. (s. f.), *Sir William Huggins and Spectroscopic Astronomy* (T. C. & E. C. Jack, Londres).
- MEGGERS, William F. (1937), «Arc and spark spectra of lutecium», *Journal of the National Bureau of Standards* 19, 31-39.
- (1958), «Miguel A. Catalán», *Physicalia*, n.º 28 (enero-febrero), pp. 11-12.
- MEGGERS, W. F. y RUSSELL, H. N. (1936), «Term analysis of the first spectrum of vanadium», *Journal of Research of the National Bureau of Standards* 17, 125-192.
- MEGGERS, W. F. y SCRIBNER, Bourdon F. (1936), *Index to the Literature of Spectrochemical Analysis, 1920-37* (American Society for Testing Materials, Filadelfia).
- MEHRA, Jagdish y RECHENBERG, Helmut (1982), *The Historical Development of Quantum Theory*, vol. I, parte 2 («The quantum theory of Planck, Einstein, Bohr and Sommerfeld: Its foundation and the rise of its difficulties, 1900-1925») (Springer-Verlag, Nueva York/Heidelberg/Berlín).
- MEMORIA (1916), *Memoria correspondiente a los años 1914 y 1915* (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid).
- (1918), *Memoria correspondiente a los años 1916 y 1917* (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid).
- (1925), *Memoria correspondiente a los años 1922-3 y 1923-4* (Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas, Madrid).

José Manuel Sánchez Ron

- MEMORIA CSIC (1945), *Memoria de la Secretaría General, año 1944* (CSIC, Madrid).
- (1948), *Memoria 1946-47* (CSIC, Madrid).
- (1950), *Memoria 1948* (CSIC, Madrid).
- (1951), *Memoria 1950* (CSIC, Madrid).
- MOLES, Enrique (1911), «Un curso teórico y práctico de Química-Física», *Anales de la Junta para Ampliación de Estudios*, 4, 70-87.
- (1934), *Del momento científico español 1785-1825* (Real Academia de Ciencias, Madrid)
- MOORE, Charlotte E. (1933), *A Multiplet Table of Astrophysical Interest* (Princeton Observatory, Princeton).
- (1945), *A Multiplet Table of Astrophysical Interest*, edición revisada, parte I («Table of multiplets»), *Contributions from the Princeton University Observatory*, N.º 20 (Princeton Observatory, Princeton 1945).
- (1952), *Atomic Energy Levels*, vol. II, Circular of the National Bureau of Standards, (U.S. Government Printing Office, Washington).
- MORENO CARACCILO, Manuel (1920), «El Laboratorio de Investigaciones Físicas», *El Sol*, 20 de septiembre, p. 8.
- MORENO GONZÁLEZ, Antonio (1988 a), «De la física como medio a la física como fin. Un episodio entre la Ilustración y la crisis del 98», en Sánchez Ron, ed. (1988 d), pp. 27-70.
- (1988 b), *Una ciencia en cuarentena. La física académica en España (1750-1900)* (Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid).
- NIELSEN, J. Rud, ed. (1977), *Niels Bohr Collected Works*, vol. 4 («The periodic system (1920-1923)») (North-Holland, Amsterdam).
- ORDÓÑEZ, Javier y SÁNCHEZ RON, José M. (1994-5), «Nuclear energy in Spain. From Hiroshima to the sixties», en *National Military Establishments and the Advancement of Science and Technology*, P. Forman y J. M. Sánchez Ron, eds. (Reidel, Dordrecht).
- OTERO NAVASCUÉS, José M.^a (1950), «Teoría y representación del color», en *Memoria 1948* (CSIC, Madrid), pp. 13-36.
- PAIS, Abraham (1991), *Niels Bohr's Times* (Clarendon Press, Oxford).

- PALACIOS BAÑUELOS, Luis (1979), *José Castillejo: Última etapa de la Institución Libre de Enseñanza* (Narcea, Madrid).
- (1988), *Instituto-Escuela. Historia de una renovación pedagógica* (Ministerio de Educación y Ciencia, Madrid).
- PASCHEN, Friedrich y GÖTZE, R. (1922), *Seriengesetze der Linienspektren* (Julius Springer, Berlín).
- PAULI, Wolfgang (1925), «Über den Zusammenhang des Abschlusses der Elektronengruppen im Atom mit der Komplexstruktur der Spektren», *Zeitschrift für Physik* 31, 765-783.
- PÉREZ GARCÍA, M.^a Concepción y MUÑOZ BOX, Fernando (1988), «La Revista de los Progresos de las Ciencias Exactas, Físicas y Naturales», en *Estudios sobre historia de la ciencia y de la técnica*, Mariano Esteban Piñero et al., coords. (Junta de Castilla y León, Valladolid), pp. 543-552.
- PÉREZ-VITORIA, Augusto (1985), *El fin de una gran esperanza. 1936: El último curso en la Universidad Internacional de Verano de Santander* (Aula de Cultura Científica, Santander).
- PUIG I REIXACH, Miquel, ed. (1977), *Els Congressos Universitaris Catalans. Catalànització i autonomia de la Universitat* (Undarius, Barcelona).
- QUÉBEC, Pierre (1988), «Weiss's magneton: The sin of pride or a venial mistake?», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences* 18 (2), 349-375.
- RAMAN, Chandrasekhara Venkata (1928), «A new radiation», *Indian Journal of Physics* 2, 387-398.
- RAMAN, C. V. y KRISHNAN, K. S. (1928), «A new type of secondary radiation», *Nature* 121, 501.
- RAMAN, Varadaraja V. (s. f.), «Catalán, Miguel Antonio», en *Dictionary of Scientific Biography*, Charles C. Gillespie, ed., vol. 3 (Charles Scribner's Sons, Nueva York), pp. 124-125.
- REAL ORDEN (1847), «Real orden por la cual se manifiesta al señor director general de instrucción pública que S. M. ha visto con agrado el buen éxito de la comisión que llevo al extranjero para adquirir máquinas y útiles necesarios en las universidades» *Boletín oficial de Instrucción Pública* IX, año VIII, nº 5.
- RESEÑA (1913), *Reseña de los principales establecimientos científicos y laboratorios de investigación de Madrid* (Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Madrid).

- RICO RODRÍGUEZ, Fernando R. (1983), *Miguel A. Catalán*, Aula de Cultura Científica, n.º 16 (Amigos de la Cultura Científica, Santander).
- ROCA ROSELL, Antoni y SÁNCHEZ RON, José Manuel (1990), *Esteban Terradas. Ciencia y técnica en la España contemporánea* (INTA/Serbal, Barcelona).
- RODRÍGUEZ CARRACIDO, José (1917), *Estudios histórico-críticos de la ciencia española*, 2.ª edición (Imprenta de «Alrededor del Mundo, Madrid). Existe una reimpresión facsímil (con presentación de A. Moreno y J. Josa) publicada en 1988 por Alta Fulla/Mundo Científico (Barcelona).
- RODRÍGUEZ MOURELO, José (1931), «Ignacio González Martí», *Anales Sociedad Española de Física y Química* 29 (Segunda parte: «Actas, revistas e índices»), 88-91.
- RUSSELL, Henry R. y SAUNDERS Frederick A. (1925), «New regularities in the spectra of the alkaline earths», *Astrophysical Journal* 61, 38-69.
- RUSSELL, Henry N., MOORE, Charlotte E. y WEEKS, Dorothy W., «The arc spectrum of iron», *Transactions of the American Philosophical Society* 34, 111.
- RUTHERFORD, Ernest (1911), «The scattering of alpha and beta particles by matter and the structure of the atom», *Philosophical Magazine* 21, 669-688.
- SAHA, M. N. (1920 a), «Ionisation in the solar chromosphere», *Philosophical Magazine* 40, 472-488.
- (1920 b), «Elements in the Sun», *Philosophical Magazine* 40, 809-824.
- SÁNCHEZ RON, José M. (1983), «Documentos para una historia de la física moderna en España: Arnold Sommerfeld, Miguel A. Catalán, Ángel del Campo y Blas Cabrera», *Llull* 5, 97-109.
- , coord. (1988 a), 1907-1987. *La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas* (CSIC, Madrid).
- (1988 b), «La Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas ochenta años después», en Sánchez Ron, coord. (1988 a), vol. I, pp. 1-61.
- (1988 c), «La Edad de Plata de la Física española: La física en la Junta», en Sánchez Ron, coord. (1988 a), vol. II, pp. 259-280.

Referencias

- , ed. (1988 d), *Ciencia y sociedad en España* (El Arquero/CSIC, Madrid).
- (1990), «Julio Rey Pastor y la Junta para Ampliación de Estudios», en *Estudios sobre Julio Rey Pastor (1888-1962)*, Luis Español González, ed. (Instituto de Estudios Riojanos, Logroño), pp. 9-41.
- (1991), «Los orígenes de la física española contemporánea: Blas Cabrera y Felipe», *Revista Española de Física* 5, n.º 2, pp. 64-69.
- (1992 a), «Investigación científica, desarrollo tecnológico y educación en España (1900-1950)» *Arbor* n.º 553 (enero), pp. 33-74.
- (1992 b), «Política científica e ideología: Albareda y los primeros años del Consejo Superior de Investigaciones Científicas», *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, n.º 14 (agosto), pp. 53-74.
- (1992 c), *El poder de la ciencia* (Alianza, Madrid).
- (1993), «El mundo de Blas Cabrera», *Boletín de la Institución Libre de Enseñanza*, n.º 18 (diciembre), pp. 27-48.
- (en preparación), *El mundo de Blas Cabrera*.
- SÁNCHEZ RON, José M. y ROCA ROSELL, Antoni (1993), «Spain's first school of physics: Blas Cabrera's Laboratorio de Investigaciones Físicas», *Osiris* 8, 127-155.
- SCHOTT, George A. (1912), *Electromagnetic Radiation* (Cambridge University Press, Cambridge).
- SERVOS, John W. (1990), *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling* (Princeton University Press, Princeton).
- SHENSTONE, A. G. (1954), «The third spectrum of nickel (Ni III)», *Journal Optical Society of America* 44, 749-759.
- (1958?), «Multiplettes». Conferencia mecanografiada, pronunciada posiblemente durante los actos celebrados aquel año en Madrid para honrar la memoria de Catalán.
- SMEKAL, Adolf (1923), «Zur Quantentheorie der Dispersion», *Naturwissenschaften* 11, 873-875.
- SOMMERFELD, Arnold (1920), «Allgemeine spektroskopische Gesetze, insbesondere ein magnetooptischer Zerlegungssatz», *Annalen der Physik* 63, 221-263.
- (1923), «Über die Deutung verwickelter Spektren (Mangan, Chrom, usw.) nach der Methode der inneren Quantenzahlen», *Annalen der Physik* 70, 32-62.

José Manuel Sánchez Ron

- (1926), *Three Lectures on Atomic Physics* (Methuen, Londres).
- SUBIRÁ, José (1924), «Una gran obra de cultura patria. La Junta para Ampliación de Estudios», *Nuestro Tiempo*, enero, abril y mayo (impreso también como un folleto de 71 pp.).
- SUÑER, Enrique (1937), *Los intelectuales y la tragedia española* (Editorial Española, Burgos).
- THOMSON, William (1867), «On vortex atoms», *Proceedings of the Edinburgh Royal Society* 6, 94-105.
- TINOCO, J. (1951), *Apuntes para la historia del Observatorio de Madrid* (Instituto Geográfico y Catastral, Madrid).
- TOMEIO LACRUÉ, Mariano (1962), *Biografía científica de la Universidad de Zaragoza* (Imp. Tipo-Línea, Zaragoza).
- TOUSEY, Richard (1986), «Solar spectroscopy from Rowland to Sot», *Vistas in Astronomy* 29, 175-199.
- URBAIN, G., DEL CAMPO, A. y Scal, C. (1909), «Estudios espectrográficos de las blendas. Investigación acerca de las blendas de los Picos de Europa. Presencia del germanio en la misma», *ASEFQ* 7, 432-442.
- VALERA, Manuel (1983), «La Física en España durante el primer tercio del siglo XX», *Llull* 5, 149-173.
- VELASCO, Rafael (1958), «Multipletes en los espectros atómicos», *Physica*, n.º 28 (enero-febrero), pp. 7-10.
- (1977), *El mundo atómico de Miguel Catalán* (Comité Español de Espectroscopia e Instituto de Óptica, CSIC, Madrid).
- VENKATARAN, G. (1988), *Journey into Light. Life and Science of C. V. Raman* (Indian Academy of Sciences, Bangalore).
- VICUÑA, Gumersindo (1875), *El cultivo actual de las ciencias físico-matemáticas en España*, discurso leído en la Universidad Central en el acto de apertura del curso académico de 1875 a 1876 (Imprenta de José M. Ducazcal, Madrid).
- WRIGHT, Helen, WARNO, Joan N. y WEINER, Charles, eds. (1972), *The Legacy of George Ellery Hale* (The MIT Press, Cambridge, Mass.).
- ZEEMAN, P. (1929), «Los progresos recientes de nuestros conocimientos sobre la radiación de los átomos en un campo magnético», *Anales de la Sociedad Española de Física y Química* 27, 769-777.

ANEXO 1

Tesis doctoral de Catalán

MIGUEL CATALÁN SAÑUDO



ESPECTROQUÍMICA DEL MAGNESIO

NUEVAS LÍNEAS EN SU ESPECTRO
Y EN EL DE LA PLATA

TESIS DOCTORAL

1917

ZARAGOZA

ARTES GRÁFICAS, G. CASAÑAL, COSO, 98

TESIS DOCTORAL



Espectroquímica del Magnesio



NUEVAS LÍNEAS EN SU ESPECTRO
Y EN EL DE LA PLATA

POR

Miguel Catalán Sañudo



ZARAGOZA

Tipografía de G. Casañal, Coso, 98

1917

INTRODUCCIÓN

Los estudios de espectrografía que se han hecho en una infinidad de cuerpos y en las más diversas formas de excitación, han suministrado un caudal enorme de conocimientos interesantísimos para caracterizar los cuerpos y relacionar unos con otros, sobre todo bajo el punto de vista, tan interesante, de la constitución atómica.

La bibliografía que a cada elemento corresponde, es verdaderamente abrumadora; trabajos de todas clases hechos por los autores más eminentes, se suceden en unos y otros cuerpos. Pero la tarea investigadora ha sido grandemente facilitada por la obra de H. Kaiser, Profesor de la Universidad de Bonn (Alemania), titulada «Handbuch der Spectroscopie», en la cual se resumen concienzudamente todos los trabajos que a cada elemento se refieren; se hace una crítica de ellos y por último, se detallan en cuadros todas las medidas más importantes de las longitudes de onda de millares de millares de rayas. En la misma obra se tratan magistralmente todos los puntos teóricos y prácticos en el estado actual de esta ciencia y ella permite, rápidamente, hacerse cargo de la materia que se va a estudiar. Esta obra ha sido el eje de guía que me ha servido en mis investigaciones.

Como su bibliografía en la mayoría de los elementos llega hasta 1909, fácil ha sido el buscar la de estos últimos años, sobre todo teniendo en cuenta, que debido a las anormales circunstancias en que el mundo entero se

halla, el número de investigadores que trabajan, se ha reducido considerablemente.

A primera vista el hallazgo de esa copiosa literatura, abruma de tal modo, que parece imposible poder encontrar *algo nuevo* que estudiar, en caminos al parecer tan trillados; sin embargo, cuando ya se han leído muchos trabajos de diversos autores, sobre parecidos asuntos, y se ve la dificultad tan grande que hay para unir unos con otros, ya que la más pequeña variación en las condiciones de producción de los espectros trae consigo un gran número de variaciones en su aspecto, comienza a comprenderse que el camino que queda por recorrer es inmenso; que faltan muchos hombres que por un trabajo intenso llenen las grandes lagunas que quedan entre las numerosas memorias publicadas, para que así pueda leerse de un modo claro el libro abierto que nos presenta hoy la espectrografía, y que apenas si sabemos deletrearlo.

Cualquier estudio, por pequeño que sea, aunque a primera vista parezca de interés mediocre, creemos debe ser publicado para que otro investigador, de más inteligencia o de más suerte, venza las dificultades que al primero se le hayan presentado y una todos esos resultados dispersos en uno grande y verdaderamente transcendental.

Por eso yo que he laborado con gran constancia, durante algún tiempo, presento aquí el modesto fruto de mi trabajo, en la seguridad de que él, en sí, no significa nada, pero contribuye algo al conocimiento de nuevos problemas.



I

La primera parte de mi trabajo se refiere al espectro del magnesio, por lo cual voy a comenzar haciendo resumen histórico cronológico de los principales trabajos que una porción de investigadores han publicado y que los han llevado a cabo por muy diferentes métodos.

Miller ⁽¹⁾ ha sido el primer espectrocopista que operando con llama de alcohol y empleando cloruro magnésico, logró ver unas bandas verdes muy débiles que parecían caracterizar al magnesio. Kirchhoff ⁽²⁾ obtuvo una luz, cuyo espectro se componía de tres líneas verdes, haciendo saltar una chispa entre electrodos de metal y estudiando el espectro del sol encontró estas líneas y dos más que atribuía al magnesio. Miller ⁽³⁾ obtiene la primer fotografía ultravioleta de esas líneas de chispa. Mitscherlich ⁽⁴⁾ obtuvo por vez primera las bandas verdes del magnesio en las llamas oxidantes, empleando cloruro de magnesio y magnesio en cinta.

Lecoq de Boisbaudran ⁽⁵⁾ obtiene el espectro de chispa de una disolución de cloruro y publica dibujos de él. Lockyer ⁽⁶⁾ vaporiza substancias en la llama y luego hace saltar en ese vapor la chispa eléctrica; con cinta de magnesio y llama de hidrógeno obtiene una línea 5210 \AA que la une a las tan conocidas con la denominación de b_1 y b_2 y supone la existencia de un grupo b formado por esas tres líneas, error debido a no haber encontrado la línea b_3 . En chispa la línea $\lambda 5210$ desaparece mientras que aparece b_3 muy fuerte y Lockyer piensa que el primer triplete se ha transformado en el segundo por la temperatura. Liveing y Dewar ⁽⁷⁾, que han efectuado muchas investigaciones en este elemento, comienzan estudiando la inversión de las

líneas mediante los vapores metálicos, siguiendo a ello una buena determinación de la línea 5210; luego en la llama del magnesio aparecen el llamado grupo *b*, el 3.º de la 2.ª serie secundaria y el 4.º de la primera serie secundaria; además un triplete difuso, próximo al 373, acompañado de una serie de bandas; el arco les da un gran número de líneas en la región ultravioleta^(8 y 9); en la chispa encuentran las líneas nuevas 4481 y 5486. Como resumen de sus trabajos dan una comparación de los espectros de llama, chispa y arco y gráficas de los mismos.

Después⁽¹⁰⁾ dan cuenta de haber encontrado en el arco y mediante una larga exposición, el triplete difuso próximo a 3730. En memorias posteriores encuentran regularidades en el espectro del magnesio⁽¹¹⁾ constituidas por una serie de tripletes alternativamente difusos y netos y cuya anchura crece con la longitud de onda. H. Bequerel^(12 y 16), en dos memorias, ha dado a conocer sus medidas sobre la región infra-roja empleando placas fosforescentes.

Hartley y Adeney⁽¹⁴⁾, empleando disoluciones y la descarga en el vacío, obtienen tres líneas nuevas λ 3071, 3050 y 3045. Hartley⁽¹⁵⁾ solo da las siguientes líneas como obtenidas en disoluciones haciendo saltar una chispa. 4481, *IN*4, *IN*5, 2935, 2928, 2852, 2802, 2798, 2795, 2790, *IIN*6.

Los tripletes desaparecen al aumentar la disolución; las líneas 2935 y 2790 son todavía visibles a la concentración 1×10^{-4} .

Eder⁽¹⁷⁾ publica una fotografía de una banda verde en la llama.

Liveing y Dewar en dos trabajos^(13 y 18) dan a conocer los resultados obtenidos con gas oxhídrico y magnesio en polvo, encontrando el triplete tercero de la segunda serie secundaria y añaden que todas las líneas de la chispa se obtienen en el arco cuando se hace saltar entre dos electrodos de magnesio; descubren bandas en el ultravioleta y describen el triplete difuso 3730, 3724, 3720, que

está constituido por líneas sencillas, al cual denominan *tripleto de llama*.

Schumann⁽¹⁹⁾ encontró líneas de magnesio en la región próxima a 220 $\mu\mu$. Lockyer⁽²⁰⁾, después de sus trabajos y los de Liveing y Dewar sobre la presencia o ausencia de ciertas líneas, afirmó que la presencia y desvanecimiento de las bandas verdes, atribuidas al óxido, era debido a una disociación térmica, contra lo cual Liveing y Dewar protestaron.

Kaiser y Runge⁽²¹⁾ fotografiaron el espectro de arco y dieron a conocer la construcción regular de las dos series de tripletes intensos. Rowland^(22 y 29) midió algunas líneas como patrones y más tarde, en el espectro del sol, las volvió a medir. Rydberg⁽²³⁾ encuentra, entre las series descritas por Kaiser y Runge, una nueva serie constituida por líneas sencillas. Hartley⁽²⁴⁾ encuentra 3852 y 2852 en llama a alta temperatura. Scheiner⁽²⁶⁾ aplicó la idea desarrollada por Lockyer⁽²⁰⁾ a la determinación de las temperaturas de emisión de los astros, para lo cual tenía en cuenta las líneas 4481 y 4352 y dijo que los astros de la clase I presentaban la línea 4481 muy intensa y ausente la 4352 y que en los de la clase III, sucedía todo lo contrario, llegando a la conclusión de que la temperatura en los astros del grupo I era de 15.000° y de 3.000° a 4.000°, en el grupo III.

Kheler⁽²⁵⁾ hace notar que en la constelación de Orión falta el grupo *b* y por tanto supone una temperatura de emisión todavía mayor. Lockyer⁽³¹⁾ retiró más tarde sus primeras suposiciones. Un argumento en contra dan Hartman y Ebenhard⁽⁴⁴⁾, puesto que encuentran que cuando el arco salta bajo agua la línea 4481 está presente y de igual intensidad que la 4352, y lo mismo ocurre cuando el arco se produce en una atmósfera de vapor de agua; es claro que aquí no puede haber un aumento de temperatura y por tanto todas las consecuencias sacadas de la presencia de esa línea no pueden servir.

Crew y Basquin⁽²⁷⁾ estudiaron el espectro del óxido-em-

pleando un arco rotativo y vieron la banda verde cuyo borde midieron.

Demarçay ⁽²⁸⁾ hizo trabajos en el ultravioleta operando en chispa y vió la intensidad dominante del triplete λ 3838.

Thalen ⁽³⁰⁾ publica una memoria sobre la determinación de las longitudes de onda. Lehmann ⁽³²⁾ mide fotográficamente una porción de líneas en la región infra-roja.

Lockyer ⁽³¹⁾ estudia diferencias en los espectros.

Crew ⁽³³⁾ en arco rotativo y también Basquin ⁽³⁶⁾ por el mismo medio, operando en atmósfera de hidrógeno, encuentran que unas líneas aumentan en intensidad y otras disminuyen. Arous ⁽³⁴⁾, Porter ⁽³⁸⁾ y King ⁽⁴⁰⁾ investigan la influencia de la atmósfera que rodea al arco de magnesio. Porter encuentra algunas nuevas líneas que también son vistas por Fowler. Este mismo, en colaboración con Payn ⁽⁴²⁾, obtiene un arco que salta dentro de un globo en el que se ha hecho el vacío previamente y encuentra nuevas líneas.

Schenk ⁽³⁷⁾ dice que al aumentar la autoinducción disminuye la intensidad de casi todas las rayas, pero especialmente la de la línea 4481 y por el contrario, muy poco, la del triplete 3838. Hartley y Ramage ⁽³⁹⁾ obtienen el grupo *b*, 4571 y luego un fondo continuo en el espectro de llama. Exner y Harchek ^(39 bis) publican unas tablas con todas sus medidas en los espectros de chispa.

Crew ^(40 bis) en el arco rotativo observa que la línea 4481 es la más fuerte. Fowler ⁽⁴¹⁾ da a conocer nuevas series de líneas en el espectro del magnesio. King ⁽⁴³⁾ observa que las series de Rydberg a presión reducida aparecen muy intensas y lo mismo 4481. Eginitis ⁽⁴⁶⁾ estudia las variaciones debidas al enfriamiento de los polos en los espectros de chispa.

Los esposos Huggins ⁽⁴⁷⁾ publicaron una fotografía en la cual la línea 4481 es variable en intensidad y grado de difusión con las variaciones de la chispa e hicieron notar que era mas afectada su intensidad por el aumento en la

rapidez de descarga que por el de la cantidad y tensión de la corriente. Crew⁽⁴⁶⁾ opina de igual modo y dice que la rápida variación de la f. e. m. condiciona la presencia de las líneas de la chispa en el arco.

Hemsalech⁽⁴⁹⁾ investigó el efecto de la autoinducción y señala como resultados que la línea 4481 a la cual da la intensidad ordinaria 100, se debilita rápidamente con la autoinducción y solo queda como dos puntos luminosos en los polos. La 4352 varía muy poco, de 5 a 4 y la primera del triplete 3838, desde 100 hasta 50.

Bolton idea un nuevo método de obtención de espectros consistente en hacer saltar una fuerte chispa a través de un electrolito y analizando la luz emitida por el catodo. Morse⁽⁵⁰⁾, de modo semejante y empleando electrodos de Magnesio y ácido clorhídrico como electrolito y un interruptor Wehnelt, mide una porción de rayas nuevas y las bandas del óxido. King mezcla magnesio con carbonato, los somete al horno eléctrico y encuentra los tripletes 5183 y 3838 y además la línea de llama 4571 con una intensidad desproporcionada. Hägenbach y Könen presentan fotografías de arco y de chispa empleando autoinducción; Watleville, Crew y Spence estudian las variaciones debidas a la fase de la corriente. Humpheys y Mohler estudian el efecto de presión; Michelson, Reese, Preton, Runge y Paschen, Miller y Royds el efecto de Zeeman. Schuster y Hemsalech, fotografiaron el espectro del Magnesio en chispa mediante una película giratoria y sus resultados son muy interesantes; Schenk y Milner en estos últimos años han vuelto a hacer nuevos trabajos por ese procedimiento.

La acción de la autoinducción ha sido objeto de estudio por Hemsalech en varias memorias y últimamente por Egenitis; la estructura de las rayas del Magnesio la han observado Nutting y Janicki; la anormalidad de la dispersión en los gases Lunner y Pringsheim, Puccianti y Geisler.

Lewis hace introducir el vapor de magnesio en un tubo de rayos catódicos y ve la presencia del grupo *b*. Carlhein

y Gyllenskold observan la luminiscencia producida por los rayos catódicos y canales en las sales de magnesio y dicen que el cloruro da una luz verdosa azulada y presenta ligeramente el grupo *b*; el óxido produce efectos iguales.

Exner y Haschek⁽⁵¹⁾ miden los espectros de arco en un gran número de elementos. Barnes⁽⁵²⁾ investiga el efecto de la f. e. m. y de la presión en la atmósfera que rodea al arco. Las líneas de arco son muy poco afectadas, por el contrario la 4481 de chispa lo es mucho; para una presión de 760 mm. en el aire y corriente de 6 amperios es invisible; para 3,5 amp. su intensidad es, comparada con una de arco, como 1 es a 20; para un amp. 10 es a 20 y para 0,5 amp. 15 es a 20; si es en atmósfera de hidrógeno y 1/2 atmósfera de presión sus intensidades son 5 y 10 para 3,5 amp.; 1,5 y 15 para 0,5 amp.; las restantes líneas disminuyen en intensidad al aumentar la corriente si se hace en hidrógeno. La línea 4481 aparece primeramente en el cátodo.

Wilsing encuentra, que cuando se emplea chispa que salta bajo el agua, esa línea se transforma en una ancha banda; Lockyer, por el contrario, presenta una fotografía en la cual muestra que esa línea en las mismas condiciones ha desaparecido. Finger obtiene dicha línea en la chispa bajo el agua, fuertemente difusa y muy ancha y también al contrario. King⁽⁵³⁾ operó en un horno eléctrico y encontró la línea 4571 desproporcionada en intensidad. La serie de Rydberg no le apareció y los términos más altos de las series de Kaiser y Runge lo hicieron muy intensamente. Loving⁽⁵⁴⁾ obtiene un arco en un vacío muy grande y establece las diferencias entre las intensidades de arco y de chispa. Hagenbach y Könen⁽⁵⁵⁾ obtienen la banda verde de óxido y dicen que para longitudes de onda más alta existen otras bandas. Olmsted⁽⁵⁶⁾ junto con los trabajos de Liveing y Dewar, muestra que los grupos ultravioletas en el espectro del óxido son unos desvanecidos hacia el rojo y otros hacia el violeta; Brooks^(58 y 60) se ha ocupado del espectro del magnesio usando electrodos de ese metal;

en, diversas atmósferas y variadas presiones forma una especie de arco y sus resultados son: que en oxígeno el grupo verde es muy intenso y extenso, las bandas comienzan por el rojo próximamente en λ 6589; en la región del grupo b hay un grupo característico cuyas medidas concuerdan con las de Eder; sigue la línea más fuerte del grupo verde hacia 5007 y después un tercer grupo igualmente constituido que es visto por primera vez; sus bordes quedan entre 4826 y 4771, acaso sea 4730. Las bandas ultravioletas comienzan por 4100.

Saunders⁽⁵⁷⁾ encuentra algunas nuevas series en el espectro de arco. Hartmann⁽⁵⁹⁾ corrobora la variación de longitud de onda vista por Crew. Wood y Guthrie⁽⁶¹⁾ se ocupan de la absorción en el ultravioleta por vapores de magnesio, especialmente en la línea λ 2852. Hermann⁽⁶²⁾ por la fosforescencia y Paschen⁽⁶³⁾ bolométricamente, miden una porción de líneas en la región infra-roja y el último encuentra medio de hacer con algunas de ellas una serie principal. Handke⁽⁶⁴⁾ hace determinaciones con los rayos catódicos. Kayser⁽⁶⁵⁾ publica su obra «Handbuch der Spectroscopie», tomo V, en la cual trata ampliamente del magnesio.

Barnes⁽⁶⁶⁾ ha estudiado el espectro de arco del magnesio a presión reducida y dice que las líneas 2790,9, 2798,1, 2928,9, 2936,8 y 3107,1 le aparecen muy intensas; las cuatro primeras se conocían ya en la chispa como muy intensas. Los dos pares 4433,6-4428,2 y 4390-4385 llamados por Brooks F y P aparecen también muy fuertes y las bandas atribuidas al óxido y al hidruro aparecen cuando el arco salta en el aire a presión de algunos milímetros. En otra memoria posterior, el mismo Barnes⁽⁷⁰⁾, estudia el espectro del vapor del magnesio en un horno eléctrico, encontrando que la línea 4481 aparece muy débil y a veces no se encuentra y las líneas más fuertes son 2852 y 4510, siendo muy notable la intensidad de 4571; y que las cabezas de bandas 5622, 5211 y 4845 aparecen en las placas con gran facilidad.

Lehman⁽⁶⁷⁾ ha medido de nuevo la región infra-roja desde 6324 hasta 15201. Ellen O'Connoir⁽⁶⁸⁾ estudia el espectro de alta frecuencia del magnesio, encontrando que las rayas de las series se estrechan y aumentan en intensidad y que por el contrario la 4481 y el grupo *b* quedan invariables, opinando él que la causa principal de ello es la densidad de corriente. Lymann⁽⁶⁹⁾ ha estudiado la región Schumann desde 1200 a 1900, en el vacío, y ha encontrado cinco líneas nuevas, dos de las cuales parecen ser líneas de diferencia constante en el número de vibraciones (o sean pares) análogos a los otros tres pares conocidos. King⁽⁷⁰⁾ emplea un «arc tub» para estudiar la relación entre los espectros de arco y chispa, entre 4640 y 3830, y desdobra la línea 4481 en dos de diferente intensidad.

Fowler y Reynolds⁽⁷¹⁾ han hallado en el arco *en el vacío* algunos nuevos tripletes que añadir a las dos series secundarias y han rehecho el cálculo de las constantes de las fórmulas de estas series con sus nuevas líneas, empleando la fórmula de Hicks.

Fowler⁽⁷²⁾ encuentra nuevas líneas y series en el espectro de chispa.

Nüksen⁽⁷³⁾ ha vuelto a medir gran parte del espectro de arco empleando polvo de magnesio y electrodos de carbón y el espectro de chispa empleando barras de metal. En la mayor parte de las líneas da la tercera cifra decimal en las longitudes de onda medidas en unidades Angström.

Wali-Nohommod⁽⁷⁴⁾ ha dedicado un trabajo al estudio de la estructura de algunas líneas, encontrando que unas eran simples y otras compuestas. Saunders^(75 y 77) ha hecho preliminares investigaciones en la región de Schumann en el vacío y en el aire sin dar los resultados y más tarde, en en otra memoria⁽⁷⁹⁾, da a conocer la línea 2026,46 que corresponde a una serie de tipo igual a la principal, cuya otra línea es 2852 y la tercera es la 1828,06 que Lymann mide 1828,1.

Arthur King⁽⁷⁸⁾ estudia en el horno eléctrico las bandas del hidruro de magnesio, cuyas cabezas son 4844,9 5211,1

en que los valores de las constantes son:

$$\left. \begin{aligned} A &= 20466,7 & P_1 &= -0,113815 \pi_1 \\ N &= 109675,0 & P_2 &= -0,114395 \pi_2 \\ & & P_3 &= -0,114669 \pi_3 \end{aligned} \right\} = -4,94804 \times 10^{-6}$$

siendo N una constante universal, A el límite de la serie y V la frecuencia al vacío de la línea, y obtiene los siguientes valores:

		$P_1\pi_1$	$P_2\pi_2$	$P_3\pi_3$
$m = 2$	calculada	5688,48	5677,65	5672,56
	observada	5183,84	5172,87	5167,55
	Obs.—Cal.	= 504,64	— 504,78	— 505,01
$m = 3$	calc.	15024,3	15037,7	15043,8
	obs.	(15024,3)	(15032,7)	
		15028,3		
$m = 4$	calc.	7651,6	7652,9	7653,5
	obs.		7655,3	7657,9
$m = 5$	calc.	6315,6	6316,0	6316,2
	obs.		6315,6	
$m = 6$	calc.	5784,0	5784,3	5784,4
	obs.		5783,4	

Rydberg (*) había encontrado una serie S cuya fórmula era:

$$10^8 \lambda^{-1} = a - b(m + \mu)^{-2} - c(m + \mu)^{-4}$$

Paschen propone la

$$v = A(m, x), \text{ siendo } (m, x) = \frac{109675,0}{\left[m + X + \frac{x}{m}\right]^2}$$

y los valores de las constantes son:

$$A = 26612,7, \quad x = -0,65967; \quad x = 0,736052$$

obteniendo valores muy concordantes.

(*) J. Rydberg.—Wied Ann. 50, pág. 626 (1893)

Kaiser y Runge encuentran además tres pares con una diferencia $2v_1$ y otros dos con una diferencia v_1 . Estos pares son:

λ	INTENSIDAD	$\frac{I}{\lambda}$	Δv_1
{ 2936,61	4	34052,87	91,51
{ 2928,74	4	34144,38	
{ 2802,80	9 r	35678,61	91,50
{ 2795,63	9 r	35770,11	
{ 2798,07	4	35738,92	92,07
{ 2790,88	4	35830,99	
{ 2783,08	8 r	35931,41	40,58
{ 2779,94	9 r	35971,99	
{ 2768,57	4 u R	36119,71	40,51
{ 2765,47	4 u R	36160,22	

A estos pares hay que añadir los siguientes:

{ 1753,6	3	57025	88
{ 1750,9	2	57113	
{ 1744,1	5	57336	89
{ 1741,4	5	57425	
{ 1737,8	2	57544	93
{ 1735,0	2	57637	

El segundo par ha sido encontrado por mí.

Además de todas esas regularidades se conocen otras que son series de líneas sencillas. Fowler (*) observó que las líneas 4511,4, 4551,0, 4106,8 y 4018,3 pueden colocarse en una serie S , análoga a la de Rydberg que antes hemos descrito y con límite común a ambas series.

Ambas pueden expresarse por la fórmula

$$M = n_{\infty} - \frac{C}{(m + \mu)^2 - m_0}$$

(*) Fowler.—Proc. Roy. Soc. 71, pág. 419 (1903).

Fowler calculó las longitudes de onda de dos líneas de esta serie que son 5065 y 6674,5. La primera es evidentemente la 5067, pero la segunda no ha sido observada.

Este mismo autor ha vuelto a encontrar dos nuevas series de líneas en la chispa en el vacío, constituidas cada una por cuatro líneas sencillas y que aparentemente convergen en igual sitio: las denominó E_1 y E_2 . También ha encontrado una serie E constituida por las líneas 5711,56, 4730,42, 4354,53.

Por último, Saunders(*) ha encontrado en el espectro de chispa una serie formada por tres líneas 2852, 2026,48 y 1828,06, la última de las cuales solo aparece en el vacío.

El dibujo adjunto da una idea de todas las regularidades que se conocen en el magnesio siendo H la serie principal, IN y IIN la primera secundaria y la segunda secundaria respectivamente; S la serie de Rydberg; S' la de Fowler E , E_1 y E_2 representan la serie principal, la primera serie secundaria y la segunda serie secundaria de Fowler, respectivamente. E_3 representa la serie de Saunders. En la línea siguiente del dibujo figuran los pares y por último las rayas cuya regularidad hasta hoy es desconocida.

(*) Saunders.—Astr. Phy J. 43, pág. 236 (1916).

II

Al emprender un trabajo con otros fines, encontré una porción de rayas nuevas y esto me llevó a estudiar con detalle la bibliografía que ha quedado descrita y de otra parte a estudiar esas rayas en particular.

Para esto empleé los materiales que a continuación siguen.

Como medio productor de la radiación objeto de estudio, empleé siempre el *arco eléctrico* saltando *en el aire* y a la *presión ordinaria*; solo rara vez lo hice en atmósfera de *anhidrido carbónico*.

La electricidad usada fué la industrial a 120 voltios; mediante una resistencia, enviaba una corriente de voltaje y amperaje conocidos. El soporte que sostenía los electrodos era de brazos horizontales móviles, independientemente uno de otro o ambos a la vez, mediante tres cremalleras; así conseguía colocarlos a una distancia fija y luego ponerlos a la altura deseada. Los electrodos han sido cilíndricos, de carbón, cobre o plata y los estudiaré más adelante.

He empleado un espectrómetro y un espectrógrafo, ambos de la casa Hilger, de Londres. El espectrómetro es muy conocido (*), por lo cual no doy su descripción; solamente advertiré que el tambor graduado en longitudes de onda era enormemente erróneo, a veces hasta de doce unidades Ångström; para poderlo emplear hubimos de corregirlo del modo siguiente: obtenía el espectro visible de una substancia conocida, y medía con el tambor todas las mejores líneas; comparadas esas longitudes de onda

(*) B. Baly.—«Espectroscopy», página 122-191.

con las de las tablas, obtenía una serie de errores que llevaba en ordenadas en una escala exagerada, mientras en abscisas llevaba los valores correspondientes de las longitudes de onda; repetido esto para una serie de espectros de diversas sustancias obtuve una curva con muchos máximos y mínimos. A este aparato podía suprimirle el antejo de observación y colocar en su lugar una cámara fotográfica.

El uso del espectrógrafo ya no es tan corriente y por ello me detendré algo más en su descripción. Para la mejor comprensión acompaño el esquema.

Esencialmente puede dividirse en las siguientes partes:

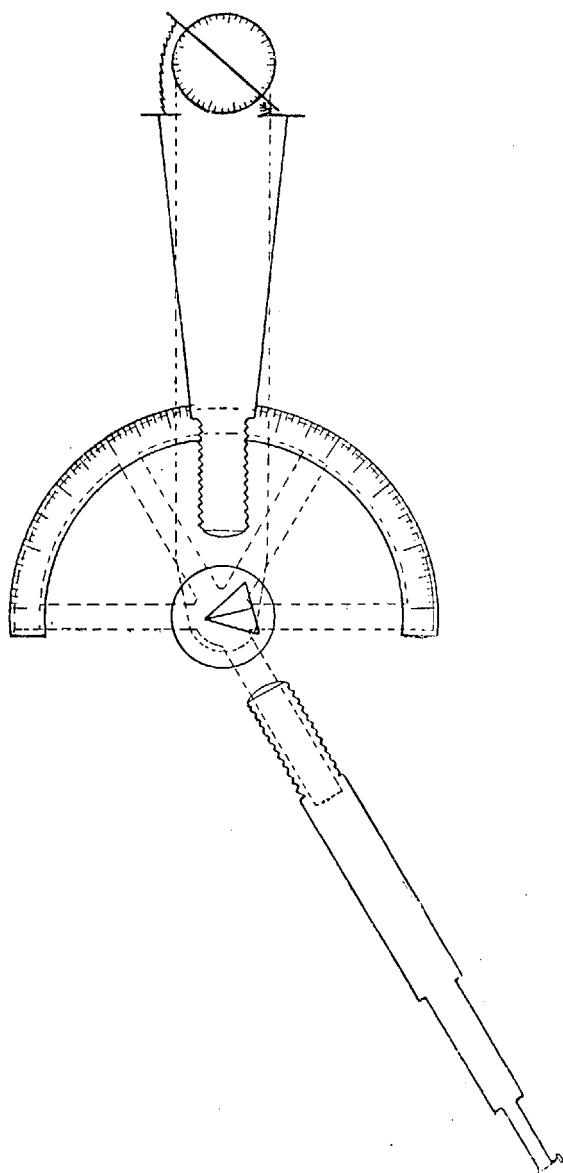
1.^a Lente exterior; 2.^a Colimador con la rendija; 3.^a Soporte del prisma; 4.^a Cámara fotográfica y 5.^a Sistema óptico.

La lente exterior es cilíndrica, de cuarzo y sirve para dar una imagen real del foco luminoso sobre la rendija.

El colimador, en un extremo, lleva un tubo enchufado que es el portador de la rendija y en el otro extremo lleva un fuelle terminado en una lente de cuarzo móvil.

La rendija se gradúa mediante un tornillo micrométrico que permite apreciar 0,01 milímetro en su tambor. El paralelismo de ambas láminas de la rendija se logra con otro tornillo muy sensible y por observación a simple vista. Delante de la rendija se pueden colocar chapas de diversas formas que permiten cerrar todo el largo de la rendija y dejar solamente libre una pequeña porción y así en sucesivas fotografías superponer espectros.

La plataforma del prisma se compone de dos partes: una, que forma parte del soporte del aparato, puede girar 360 grados y sobre ella va colocada la otra que está fija sobre tornillos de nivel. Con el objeto de emplear dos prismas y obtener una mayor dispersión, hube de emplear un soporte accesorio, que también podía colocarse sobre la primera plataforma, pero que se componía de dos círculos que giran independientemente uno de otro y pro-



vistos ambos de graduación; cada uno de ellos está destinado a sostener un prisma.

La cámara fotográfica lleva objetivo de cuarzo.

El fuelle posterior, muy ancho, lleva un soporte destinado a recibir el *chasis*. Ese soporte gira alrededor de su centro como eje vertical y una parte de ese soporte del *chasis*, también se desplaza de arriba-abajo y está provisto de escala graduada en milímetros. El conjunto de la cámara fotográfica gira sobre un enorme círculo graduado con objeto de buscar con la cámara la región que nos convenga.

El sistema óptico del espectrógrafo está constituido por las dos lentes del colimador y del objetivo y el prisma o prismas. Las lentes son idénticas, hechas de cuarzo, tallado perpendicularmente al eje óptico, plano-convexas y de 47 milímetros de diámetro; la parte convexa mira hacia dentro y para compensar la polarización, una es levogira y la otra dextrógira. El sistema dispersor está formado por dos prismas yuxtapuestos de 30 grados tallados, el uno, en un bloque de cuarzo levogiro y el otro, en un bloque de cuarzo dextrógira, de modo que en cada uno, una de las caras del ángulo diedro refringente sea perpendicular al eje óptico. Es de la forma ideada por Cornú, y así, en la posición de mínima desviación, los rayos atraviesan simétricamente el prisma según el eje óptico y se suprime la doble refracción y la polarización rotatoria. Cada uno de los dos prismas que hemos empleado tiene la estructura que hemos descrito.

Este modelo de espectrógrafo lo llama «arc spectrograph» la casa constructora.

El enfoque del aparato es algo complicado por el número de graduaciones que hay que hacer y por tratarse de la región ultravioleta que solo fotográficamente se hace posible observarla.

Las lentes no están corregidas de aberración cromática y por ello el espectro se forma siguiendo la diacústica que es muy curvada por la región visible y casi una recta por la región ultravioleta.

Para enfocar conviene usar el espectro del hierro porque como tiene numerosas rayas, permite saber muy bien qué región está íntegramente enfocada.

Yo he usado la técnica de Neculcea (*) que Campo (**) ha descrito ya alguna vez, para el enfoque de este aparato.

Para obtener la totalidad del espectro ultravioleta enfocado, se precisan en nuestro espectrógrafo tres posiciones de la cámara, correspondientes a tantas placas.

Al prisma conviene colocarle papel de estaño en sus caras, de modo que sólo deje libre una banda de un centímetro de ancho, para la entrada de los rayos, e igual para la salida, pues la práctica enseña que salen espectros mucho más enfocados.

Para el estudio de un espectrógrama he empleado diversos métodos, según el objeto a que estaba destinado. Cuando trataba simplemente de identificar las líneas de un espectrógrama, me bastaba obtener las longitudes de onda con errores, en más o en menos, de dos décimas de unidad Angström, que generalmente es lo bastante para identificar.

A este fin, el método empleado era el siguiente: el cliché o espectrógrama se proyecta, mediante un sencillo aparato de proyección, sobre un fondo blanco, en el cual se pinta claramente una imagen cuatro o cinco veces agrandada del original. Tenemos construídas unas escalas que colocamos sobre esa imagen y de modo que coincidan, rayas del hierro patrón, con sus correspondientes longitudes de onda en la graduación de la escala; así, el resto de las líneas del espectrógrama, cayendo sobre diversas partes de la escala, nos permite, rápidamente, la lectura de su longitud de onda, sólo con la precaución de colocar la ampliadora siempre a la misma distancia del fondo blanco.

Cuando lo que se trataba era de hacer la medida de la longitud de onda con la mayor exactitud posible, empleaba

(*) E. Neculcea.—Thèse, pág. 137, París, 1900.

(**) A. Campo.—Ann. S. E. de F. y Q.

un *comparador*. Este, que ha sido construído en el Instituto del material científico, es un comparador corriente, pero es además inscriptor. Dicho aparato permite la apreciación de fracción de $\frac{1}{1.000}$ de milímetro.

Descritos ya los aparatos empleados, se habrá podido ver que la técnica empleada ha sido siempre la llamada de *arco a la presión ordinaria*. Esta técnica (*) está hoy muy en boga, porque es muy cómoda, permite el empleo de la substancia problema bajo una forma sólida cualquiera y por tanto evita las manipulaciones tan pesadas que el empleo de la chispa trae consigo.

Primeramente empleamos la técnica corriente que es poco más o menos la siguiente: Los dos electrodos son carbones cilíndricos macizos de seis milímetros de diámetro, colocados en el soporte, que ya hemos descrito, y verticalmente uno sobre otro. El inferior, que hará de polo positivo, está provisto de una pequeña cavidad de cuatro milímetros de profundidad por otros tantos de diámetro que está destinada a recibir la substancia objeto de estudio.

Las líneas nuevas, que hoy presento, las encontré empleando cloruro magnésico cristalizado, como substancia problema, arco eléctrico de electrodos de carbón, como agente excitador, exposición de 30 a 40 segundos y corriente de 6 a 8 amperios de intensidad.

Estas líneas se presentaban como unas rayas difusas, agrupadas en tripletes análogos a aquellos otros que el magnesio tiene en esa región y que continuaban las series espectrales conocidas. Primeramente estudié las condiciones necesarias para obtener las rayas nuevas lo más intensamente posible, averiguar su origen y además para determinar sus longitudes de onda lo más exactamente que pudiera.

Los factores que podían variar eran los siguientes:

(*) A. del Campo.—Ann. d. Soc. E. de F. Q., Noviembre, 1909; Id. 13, página 98 (1916).

Duración de la exposición; intensidad de la corriente; diferencia de potencial en los electrodos; naturaleza de la sustancia empleada; naturaleza de los electrodos; atmósfera que rodea al arco.

Todos estos factores han sido estudiados de un modo sistemático que voy a detallar.

Sobre una misma placa hice sucesivas exposiciones del espectro de magnesio, variando, desde un segundo de duración, hasta dos minutos. La exposición que pareció más conveniente para una corriente de seis a diez amperios, era de 30 a 60 segundos.

Elegida la exposición de 45 segundos, hice variar la intensidad de corriente y dió por resultado lo siguiente: Al aumentar la intensidad desde 0,5 amperios hasta 15 amperios, las rayas nuevas, que al principio no aparecen, lo hacen desde tres a cuatro amperios y al aumentar la intensidad de corriente las líneas se van haciendo más intensas y mucho más difusas, de modo que de cada triplete, sale un ancho halo que llega a dificultar el ver claramente las líneas. De ahí que la intensidad de ocho a diez amperios parezca la mejor, pues da lo suficientemente intensas las rayas nuevas y todavía no muy difusas, como ocurre a 12 amperios.

La diferencia de potencial ha sido estudiada y parece que su influencia no afecta apenas a la intensidad de dichas rayas. Para variar el potencial, monté la resistencia del arco eléctrico de modo que los dos extremos de ella estaban unidos a los polos del enchufe y luego tomé la corriente de un extremo y del cursor.

El estudio de la influencia de la naturaleza de la sustancia y del material de que están constituidos los electrodos se ha hecho, por exigirlo así la técnica, de una sola vez.

Los electrodos que hemos usado, han sido los siguientes:

1.º, electrodos cilíndricos de *carbón*, de seis milímetros de diámetro; uno de ellos provisto de una cavidad de

cuatro milímetros de diámetro por otros tantos de profundidad; 2.º, electrodos cilíndricos de *cobre*, de nueve milímetros de diámetro y provistos de cavidad de seis milímetros de anchura por seis de profundidad, y por último, electrodos formados por dos gruesas barras de plata, de diez milímetros de diámetro, y provistos de cavidad de seis milímetros de anchura por otros tantos de profundidad. Estos electrodos de plata fueron hechos de gran diámetro para evitar que sufran una fusión, especialmente el electrodo superior; sin embargo advertiremos, que cuando la intensidad de corriente llegaba a 15 amperios y se sostenía así durante un minuto, era frecuente ver que el electrodo negativo, o sea el superior, dejaba caer una gota de plata fundida.

Los electrodos de *carbón* y de *cobre*, han sido usados repetidas veces en este Laboratorio y ya eran por mí conocidos. Era la primera vez que se usaban los de *plata*, y por eso determiné hacer su estudio con más cuidado. Hice una serie de fotografías en diversas condiciones y por proyección comencé a medir e identificar todas las rayas allí presentes.

Pero así como quedé sorprendido por la aparición de nuevos términos, en las series del magnesio, aquí, en las series constituidas por pares, en que la diferencia de frecuencias entre las dos líneas de un par es constante, también ví algunos nuevos términos que no aparecían en las tablas. Por ello, después de revisar toda la bibliografía que hasta el día se ha publicado sobre el espectro de la plata medí las rayas con la exactitud posible. De estos resultados daré cuenta, con la debida extensión, más adelante.

Voy ahora a tratar de las sustancias empleadas; éstas, han sido: Magnesio en cinta o en polvo del más puro que encontré, óxido magnésico anhidro, cloruro magnésico cristalizado, de varias procedencias, oxicloruro magnésico anhidro, sulfato magnésico cristalizado, carbonato magnésico y fosfato magnésico.

De cada una de estas sustancias obtuve espectrógra-

mas en cada clase de electrodos y variando las condiciones, es decir, variando la intensidad de corriente, la exposición, la diferencia de potencial en los electrodos, la separación de éstos, etc.

Observé que de todos los espectrógramas quien daba más intensidad en las líneas del problema era el magnesio puro, fuera sobre electrodos de carbón, cobre o plata. Pero su intensidad aumentaba todavía por el siguiente método operatorio. En el cráter del electrodo, fuera de la clase que fuere, colocaba magnesio pulverizado y acercaba lentamente un electrodo al otro (puesto el positivo, como siempre, en la parte inferior); al ponerse en contacto se producía una llamarada al arder el magnesio y en ese momento, *rápidamente*, separaba los electrodos, produciéndose entonces una luz verde intensa. Pronto se apagaba el arco por sí solo y si no lo hacía lo efectuábamos nosotros. Después de frío el carbón, con una varita de *madera* (con objeto de no introducir impurezas) separaba del cráter todo el óxido que se había formado y repetía la carga con magnesio puro. Hacía nueva exposición por la misma técnica y la repetía de cuatro a cinco veces, con lo cual resultaba una exposición total de 45 segundos aproximadamente. De este modo es como los nuevos tripletes en el espectro del arco en el aire, salen más intensos.

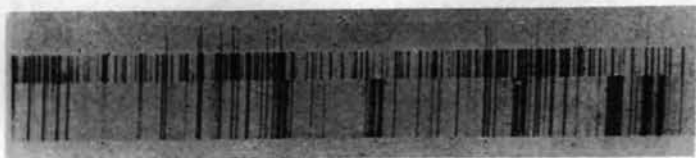
Si empleamos sales de magnesio, el resultado depende de los electrodos empleados. Si se ha obtenido el espectrógrama sobre *carbón*, resulta un espectro intenso, muy parecido al obtenido con magnesio metálico; por el contrario, si los electrodos que se emplean son de *cobre* o de *plata*, se obtienen las series espectrales mucho más débiles y los últimos términos desaparecen completamente, desaparición que se efectúa antes con plata que con cobre.

Los fenómenos más notables ocurren al emplear como substancia el óxido de magnesio. Si obtengo los espectros sobre electrodos de cobre, plata y carbón, las diferencias son enormes; si es en *carbón*, las series salen regularmen-

ESPECTROS DE ARCO ELÉCTRICO



Magnesio sobre carbón.



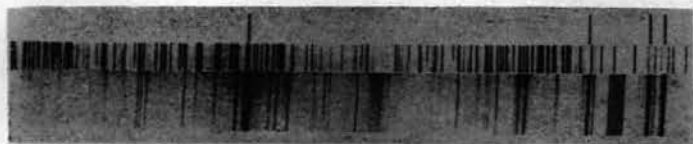
Óxido magnésico sobre carbón.



Magnesio sobre cobre.

(Clichés M. Catalán).

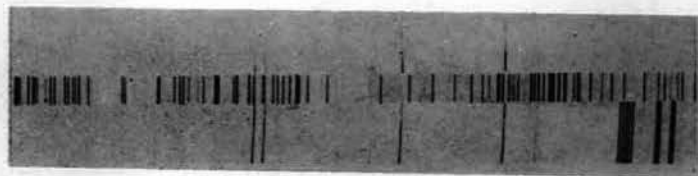
ESPECTROS DE ARCO ELÉCTRICO



Óxido magnésico sobre cobre.



Magnesio sobre plata.



Óxido magnésico sobre plata.

(Clichés M. Catalán).

te intensas y solamente desaparecen los últimos tripletes; si es en *cobre*, la desaparición se efectúa antes, pero si es en *plata*, a pesar de conservarse intensísimas las líneas constituyentes de los dobletes, la serie de tripletes disminuye de un modo tan notable en su intensidad, que se pierde por completo a partir del triplete quinto o sea λ 2736,84 — 2733,80 — 2732,35 en (*u. A.*) y debilitándose los anteriores de un modo considerable.

Elegidas ya las condiciones en que salen más intensas las líneas que trato de medir, hice unos espectrógramas dedicados a ese objeto, del siguiente modo: Fotografía del espectro del arco entre dos barras de hierro y por encima de él fotografía del espectro de los electrodos y por debajo fotografía del espectro de la substancia sobre esos mismos electrodos. Así las líneas del espectro de los electrodos no se tienen en cuenta en el de la substancia y el espectro del hierro sirve como escala para medir.

El método empleado para la medida de la longitud de onda ha sido el de interpolación simple y con el comparador que antes describí. Para ello enrasaba el retículo con el *centro* de una buena raya del hierro (a ser posible una línea *patrón*) y después, sucesivamente, con todas las líneas del problema, con las del hierro más aceptables para ser medidas, y por último, con una raya buena del hierro que no distara más de 20 unidades Angström de la primera enrasada.

La fórmula empleada fue

$$\frac{\lambda_1 - \lambda_x}{\lambda_1 - \lambda_n} = \frac{t_1 - t_x}{t_1 - t_n}$$

en que λ_1 y λ_n representan las longitudes de onda (*u. A.*) de las dos rayas extremas del hierro, y t_1 , t_n sus lecturas correspondientes de tornillo y t_x la que corresponde a la línea cuya λ_x se trata de calcular.

Las líneas intermedias del hierro, la media solamente con el objeto de saber los errores que se cometen; me resultaban diferencias de $\pm 0,01$ a $0,02$ en las buenas

líneas, comparados sus valores con los de Kaiser. Advierto que esa exactitud solo la obtuve después de repetidos ensayos.

He aquí la lista de las longitudes de onda de las líneas nuevas en unidades Angström. La segunda cifra decimal que va en algunas de las nuevas líneas, solo la pongo como media de valores obtenidos en las diferentes medidas y solo por seguir la costumbre de casi todos los autores.

LONGITUD DE ONDA	INTENSIDAD
2628,98	1 <i>Dr</i>
2617,61	2 <i>dr</i>
2614,77	1 <i>dr</i>
2606,81	3 <i>Dr</i>
2604,07	2 <i>Dr</i>
2602,66	1 <i>Dr</i>
2596,08	1 <i>d</i>
2593,32	1 <i>d</i>
2587,8	1 <i>D</i>
2585,2	1 <i>D</i>
2574	1 <i>D</i>
2571	1 <i>D</i>

Más arriba dejé anotado que estas rayas del espectro de arco del magnesio, parecían continuar las series subordinadas conocidas, y que, sobre todo, los términos de la serie 1.^a, por ser nebulosos, eran los que más se distinguían.

Con el objeto de comprobar esta suposición, decidí hacer el cálculo teórico de dichas rayas y confrontar los resultados con las medidas por mí efectuadas.

Para ello empleé las constantes que da Kaiser (*). Las fórmulas son:

1.^a serie subordinada o serie nebulosa.

$$10^8 \lambda^{-1} = 39796,10 - 130398n^{-2} - 1432090n^{-4}$$

$$v_1 = 40,69; \quad v_2 = 20,21.$$

(*) H. Kaiser.—Handbuch der Spectroscopie, tomo II, pág. 534.

2.ª serie subordinada o serie neta.

$$10^8 \lambda^{-1} = 39836,74 - 125471 n^{-2} - 518781 n^{-4}$$

$$v_1 = 41,21; \quad v_2 = 19,96.$$

Los resultados aparecen en el cuadro adjunto. En la primera columna figuran los valores por mí medidos; en la segunda, los calculados por el método explicado. Las columnas encabezadas por una n indican el valor que se le ha dado a esa letra en la fórmula al hacer el cálculo, y, por consiguiente, el número del término en la serie correspondiente.

Las diferencias que figuran están obtenidas entre calculada y observada, es decir, longitud de onda calculada menos longitud de onda observada.

Se ve claramente que estas diferencias van aumentando de arriba hacia abajo, lo cual no tiene nada de particular. En efecto, las fórmulas empleadas no son exactas, sino solamente aproximadas. Las constantes han sido calculadas con las longitudes de ondas de tres líneas, correspondientes a tres términos de las series respectivas, pero de longitudes de onda relativamente elevadas, y claro está que al alejarse del punto desde donde se calcularon las constantes, el error tiene que ser mayor, pero conservándose del mismo orden para las tres líneas de un mismo triplete. Esto último también se ve en el cuadro.

En él también figuran una rectificación de intensidades y longitudes de onda de otras líneas ya conocidas en el espectro de arco en el aire del magnesio y que pertenecen a las dos series subordinadas. Mi intención al medirlas ha sido el creer que como su intensidad será bastante mayor que la obtenida por los anteriores experimentadores, su longitud de onda puede resultar algo más exacta.

Las longitudes de onda figuran en la primera columna del cuadro encima de las rayas nuevas. Las calculadas en la segunda columna. Las obtenidas por Kaiser y Runge en

la tercera. Las diferencias entre calculadas y observadas por mí, van en una columna, y las diferencias entre calculadas y observadas por Kaiser y Runge, en la siguiente.

Comparando unas diferencias con otras, se ve claramente que el orden de magnitud, dentro de cada triplete, se conserva mejor en las medidas por mí efectuadas que en las de Kaiser, cosa que no es de extrañar, pues ya dije que aquí las líneas en cuestión tienen que ser bastante más intensas que en los espectrogramas de otros autores.

Por último, voy a hacer notar lo difícil que resulta el hacer una clasificación de la intensidad de las rayas, ya que hemos visto de qué manera tan notable varía ésta, según la substancia empleada y la naturaleza del electrodo. Pero es fácil ver que hay una discordancia bastante grande en los valores de las intensidades de ambas series con los resultados obtenidos en mis espectrogramas y en los de Kaiser (22). En efecto, cualquiera que sea la substancia empleada y la naturaleza del electrodo, la relación de intensidades de ambas series parece conservarse. Pues bien, Kaiser atribuye a los tripletes séptimos igual intensidad $2U$ y $2u$, aunque distinta difusión. Igual sucede con los tripletes octavos. Yo, tomando como tipo el espectro del magnesio sobre plata, ya que éste ha sido el más intenso, doy aproximadamente la intensidad en una columna del cuadro.

INTENSIDADES		Observadas	Calculadas	Observadas por Kaiser - Runge	DIFERENCIAS			
Catalán	Kaiser y Runge				Valor de n	1.ª serie subordinada	Valor de n	2.ª serie subordinada
6 dr	2 u	2698,33	2698,23	2698,34	7	»	7	+ 0,11
4 dr	2 u	2695,33	2695,23	2695,43	7	»	7	+ 0,10
2 dr	2 u	2693,89	2698,76	2693,86	7	»	7	+ 0,13
10 Dr	1 u	2672,70	2673,01	2672,79	8	- 0,31	»	»
8 Dr	1 U	2669,85	2670,15	2669,73	8	- 0,30	»	»
4 Dr	1 U	2668,40	2668,71	2668,15	8	- 0,31	»	»
3 dr	1 U	2649,23	2648,93	2649,30	8	»	8	+ 0,30
2 dr	1 U	2646,36	2646,04	2646,51	8	»	8	+ 0,32
1 dr	1 U	2644,95	2644,65	2645,12	8	»	8	+ 0,30
5 Dr	1 U	2633,17	2633,70	2633,03	9	- 0,53	»	»
4 Dr	1 U	2630,30	2630,23	2630,42	9	- 0,53	»	»
1 Dr	»	2628,98	2629,48	»	9	- 0,50	»	»
2 dr	»	2617,61	2617,10	»	9	»	9	+ 0,51
1 dr	»	2614,77	2614,28	»	9	»	9	+ 0,47
3 Dr	»	2606,81	2607,52	»	»	- 0,71	»	»
2 Dr	»	2604,07	2604,76	(2605,4)	10	- 0,69	»	»
1 Dr	»	2602,66	2603,39	»	10	- 0,73	»	»
1 dr	»	2596,08	2695,29	»	»	»	10	+ 0,79
1 dr	»	2593,32	2592,51	»	»	»	10	+ 0,81
1 D	»	2587,8	2589,18	»	11	- 1,38	»	»
1 D	»	2585,2	2586,46	»	11	- 1,26	»	»
1 D	»	2574	2575,8	»	12	- 2,00	»	»
1 D	»	2571	2573,1	»	12	- 2,00	»	»

dr significa ligeramente difusa hacia el rojo.

Dr fuertemente difusa hacia el rojo.

u difusa.

U fuertemente difusa.

Como nuevo argumento para atribuir esas líneas a las dos series secundarias, podemos también compararlas con las que Fowler y Reynolds (*) han obtenido, en el espectro de arco de vacío.

Aplicaron la fórmula de Hicks para el cálculo de la serie y compararon sus resultados con los obtenidos por Kaiser y Runge.

La fórmula de Hicks, es

$$n = n_{\infty} - \frac{109675}{\left[m + \mu + \frac{\alpha}{m} + \frac{\beta}{m^2} \right]^2}$$

Fowler, para el cálculo de las cuatro constantes empleó cuatro líneas señaladas en los cuadros con asteriscos y obtuvo los siguientes valores

1.ª serie secundaria

$$Dm = 39759,06 - \frac{109675}{\left[m + 0,825371 + \frac{0,023416}{m} - \frac{0,036786}{m^2} \right]^2}$$

2.ª serie secundaria

$$S_{(m)} = 39675,18 - \frac{109675}{\left[m + 1,375125 - \frac{0,058307}{m} - \frac{0,002355}{m^2} \right]^2}$$

Comparados con los por nosotros obtenidos, son los siguientes:

(*) Fowler y Reynolds, Proc., Roy. Soc. 89, pág. 137 (1913).

PRIMERA SERIE SECUNDARIA O SERIE DIFUSA

m	λ de K. R.	λ de Fowler R. (vacío)	λ de Catalán	Frecuencia (F. R.)	O - C
1	»	»	»	6798 — 6356	
2	3838,44	»	»	26044,4 (K. R.)	0,0*
	32,46	»	»	085,1	
	29,51	»	»	105,2	
3	3097,06	3097,03	»	32278,8 (K. R.)	0,0*
	93,14	93,09	»	319,7	
	91,18	91,19	»	340,2	
	»	2851,76	»	35056,0	— 1,1
4	2848,53	2848,54	»	095,0	
	46,91	46,88	»	114,9	
5	2736,84	2736,63	»	36530,7	— 1,5
	33,80	33,64	»	570,7	
	32,35	32,16	»	590,5	
6	2672,90	2672,53	2672,70	37406,8	— 1,2
	69,84	69,66	69,85	447,0	
	68,26	68,24	68,40	467,0	
7	2633,13	2632,98	2633,17	37968,8	— 1,3
	30,52	30,14	30,30	38009,8	
	»	28,73	28,98	030,1	
8	2605,4	2606,73	2606,81	38351,0	— 1,3
	»	03,98	04,87	391,5	
	»	02,59	02,66	412,1	
9	»	2588,37	2587,8	38623,0	— 0,0
	»	85,63	85,2	664,0	
	»	84,32	»	683,6	
10	»	2575,02	2574	38823,4	— 0,4
	»	72,03	2571	863,8	
	»	70,96		884,7	
11	»	2565,00		38974,9	— 0,3
	»	62,30		39016,0	
	»	60,96		036,5	
12	»	2557,29		39092,5	— 0,1
	»	54,70		132,6	
13	»	2551,22		39185,4	— 0,0*
	»	48,56		226,2	
m	λ Kaiser y Runge	λ en vacío Fowler y Reynolds	λ en aire Catalán	Frecuencia F. R.	O - C

O - C significa frecuencia observada menos frecuencia calculada.

SEGUNDA SERIE SECUNDARIA O SERIE NETA

m	λ K. R. arco en aire	λ Fow. R. arco en vacío	λ Catalán arco en aire	Frecuencia (F. R.)	0 - C
1	5183,84 72,87 67,55	» » »	» » »	19285,0 325,9 345,8	0,0*
2	3336,83 32,28 30,08	» » »	» » »	29959,4 30000,3 020,1	0,0*
3	2942,41 3867, 36,90	» » »	» » »	33977,3 34018,5 038,0	0,0
4	2781,53 78,36 76,80	[2781,43] [78,27] [70,27]	» » »	[35942,3] [983,2] [36084,3]	
5	2698,44 95,53 93,97	2698,23 95,28 93,85	2698,33 95,33 93,89	37050,5 091,1 110,8	— 0,15
6	2649,30 46,61 45,22	2649,12 46,27 44,88	2649,23 46,36 44,95	37737,4 778,0 797,9	— 0,1
7	» » »	2617,57 14,74 »	1617,61 14,77 »	38192,4 233,6 »	— 0,0
8	» » »	2596,01 93,28 »	2596,08 93,22 »	38509,4 550,0 »	0,0*

Todas esas observaciones que han quedado apuntadas, nos llevaron a la pretensión de explicarlas lo mejor posible y por ello a continuación voy a dar la argumentación.

Las series se pueden atribuir al espectro del elemento magnesio y por tanto si las sales o el óxido dan a veces ese espectro, es debido a una reducción que deja el elemento libre. En efecto, hemos visto que el magnesio *siempre*, sea cualquiera la naturaleza de los electrodos empleados, produce un espectro en el que las series secundarias aparecen intensamente marcadas; además, también hemos visto, que las sales, y especialmente el cloruro magnésico, tienen una relativa facilidad para dar espectro análogo al del metal, sobre todo en aquellos casos en que el electrodo reacciona, a esa alta temperatura, con la substancia y la

reduce, así ocurre con el carbón, algo con el cobre y muy poco con la plata; y por último, el óxido magnésico, presenta una gran dificultad a dar intensamente espectro de series en aquellos casos en que el electrodo no lo reduce, lo que está de acuerdo con la fotografía del espectro del óxido de magnesio sobre electrodos de plata.

Todos estos hechos, según mi modo de ver, concuerdan con los que se han observado en los espectros de difracción de rayos X en estos últimos años.

Parece resultar de esos trabajos (*) que los óxidos y las sales, en cuanto a la disposición del metal en la intimidad de la molécula, son completamente diferentes. En las sales cristalizadas se admite hoy la existencia de una ionización, es decir, que los átomos del metal ya se encuentran en forma de iones en el cristal y completamente separados de los restantes átomos que integran la molécula, y por el contrario, en los óxidos, el metal se halla ligado intimamente al oxígeno; la constitución del óxido es, pues, esencialmente distinta de la de la sal.

Las series subordinadas que, como sabemos, provienen de la vibración de cierta parte del átomo y que están relacionadas con una constante universal, parecen producidas por el metal que estando libre puede vibrar con facilidad. Por eso he logrado obtener esta vibración muy intensa, y nuevos tripletes han aparecido en el espectro de arco, saltando en el aire.

Las sales de magnesio podrán dar fácilmente el espectro del metal, puesto que éste se halla libre del resto de la molécula, y así en efecto sucede, pero menos intenso que el metal porque a alta temperatura se convierten en óxido muy pronto. Por el contrario el óxido, cuyo oxígeno está intimamente ligado al magnesio, no le deja vibrar libremente y, por tanto, producir la serie y solamente da ésta muy débil.

(*) Blas Cabrera.—Estado actual de la teoría de los rayos X y γ ; su aplicación al estudio de la estructura de la materia. Laboratorio de Investigaciones Físicas. Madrid 1915.

El espectro del óxido, según todos los autores citados, presenta una hermosa banda verde y que parece indudable pertenece a él.

Traté de investigar el efecto de los electrodos y de la substancia en la banda verde y para ello hice iguales experiencias a las anteriormente descritas.

Con objeto de obtener una dispersión suficiente con el espectrógrafo de cuarzo, lo monté con dos prismas y así en una placa ordinaria fotografiaba desde la región verde hasta la λ 3000 en el ultravioleta. De todas las experiencias practicadas resulta que la banda verde del óxido aparece más intensa que nunca cuando empleamos magnesio y que lo hace muy débilmente cuando se emplea óxido de magnesio. Esto me llamó mucho la atención, puesto que todos los que han estudiado dicha banda, concuerdan en atribuirla al óxido. Hice una fotografía de magnesio puro sobre electrodos de plata, empleando una rendija muy *larga* y separando mucho los polos del arco; en ella se ve claramente que la banda parte del polo positivo donde está el magnesio y se desvanece hasta la casi desaparición en el polo negativo.

La interpretación de estos resultados no es fácil, y por ello voy a dar una explicación sólo como una primera aproximación. Quién acaso produce la banda verde es el *vapor de óxido magnésico*, vapor que resulta fácilmente con la combustión del magnesio, pero muy difícilmente cuando empleamos óxido, por su poca volatilidad; y por ello en este caso el vapor de óxido se enfría desde el momento de producirse en el cráter positivo, asciende y al llegar al polo negativo ya no es vapor y por tanto no da el espectro de bandas.

Como consecuencia de todo lo que llevamos dicho se puede dar la siguiente explicación general:

Colocamos una substancia cualquiera en el cráter positivo y hacemos saltar el arco; entonces, cada partícula sólida, es reducida porque la alta temperatura lo favorece y por la mayor o menor influencia del material de que está formado el electrodo y de la atmósfera que rodea al

arco, y esa parte reducida es vapor metálico, que emite su radiación; si la substancia es ya metal cuando la colocamos en el cráter, el caso es bien sencillo, el espectro resultará lo más intenso; si la substancia es un compuesto, tanto más intenso saldrá el espectro del metal cuanto más fácilmente pueda emitir vapor metálico. Si debido a especiales condiciones no llega a reducirse, no dará espectro del metal o solamente aquellas líneas más intensas, porque siempre habrá, aunque sea una cantidad infinitamente pequeña, algo de substancia reducida. Si el compuesto llega a volatizarse sin descomponerse, un espectro de bandas aparecerá y lo mismo si el metal puesto en libertad lo es de un modo complejo, no al estado de átomos, sino de moléculas.

Con objeto de identificar todas las rayas conocidas en el espectro del magnesio, estudié detenidamente los espectrogramas que poseía.

Ya hace tiempo que se notó la presencia en los espectros de arco de multitud de líneas de la chispa, y en la historia de las investigaciones sobre el magnesio se han visto los variados trabajos que se han hecho y los referentes a la línea 4481.

De estos siempre ha resultado que solamente aparecería dicha línea, mediante el empleo de electrodos de magnesio metálico; pues bien, he podido apreciarla claramente como línea polar en todos mis espectrogramas, aunque con intensidad muy reducida. Igualmente, cierto número de líneas de la chispa están presentes en mis espectrogramas.

La región extrema ultravioleta, que ya es parcialmente absorbida por el aire y especialmente por la gelatina de las placas ordinarias, ha sido investigada mediante el empleo de placas *Schumann*, que tienen una capa de gelatina de un espesor muy reducido. La región investigada ha comprendido desde $\lambda 2100$ hasta el $\lambda 2500$, sin haber encontrado ninguna línea, pues las que aparecen es casi seguro que pertenecen al hierro que como impureza acompaña a los electrodos y que tiene líneas muy intensas en esa región.

LÍNEAS IDENTIFICADAS EN EL ESPECTRO DEL MAGNESIO

Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Conocida en			
IIN	I 3	5183,84	R y R	10 R	F	arco	chispa	
	II 3	72,87	»	10 R	F	arco	chispa	
	III 3	67,75	»	8 R	F	arco	chispa	
	E ₁	4730,42	»	1 u	R	a	»	
	S ₅	03,33	»	8 r	FF	a	ch	
	E ₁ 1	4571,33	»	4	F	a	ch	
	S ₆	4481,34	Ex. H.	50	D polar	a	ch	
	S ₇	4352,18	»	8 r	FF	a	ch	
	S ₈	4167,81	»	1 u	F	a	ch	
	S ₉	4058,45	»	2 U	R	a	»	
		3987,08	»	2 U	R	a	»	
		3898,20	Ed. V.	1 u	DD		ch	
		95,82	»	3 u	D	»	ch	
		93,34	»	1 u	DD	»	ch	
		92,11	»	2 u	confundidas	»	ch	
		90,33	»	1 u		DD	»	ch
		54,27	»	2 u		D	»	ch
		50,2	Ex. H.	1 u	D	»	ch	
		49,02	Ed. V.	1 u	DD	»	ch	
IN	I 4	3838,44	K. R.	10 R	F	a	ch	
	II 4	3832,46	»	10 R	F	a	ch	
	III 4	29,51	»	10 R	F	a	ch	
IIN		3765,3	Hart. y Ad.	»	DD	»	ch	
	I 4	3366,83	K. R.	10 R	F	a	ch	
	II 4	3332,28	»	8 u	F	a	ch	
	III 4	30,08	»	8 u	F	a	ch	
	I 5	3097,06	»	10 R	F	a	ch	
	II 5	3093,14	»	8 R	F	a	ch	
	III 5	91,18	»	8 R	F	a	ch	
		3074,20	Ex. H.	2	R	a	ch	
		3050,75	Ed. V.	1	D:	»	ch	
		46,80	»	1	DD	»	ch	
IIN		43,87	»	1	DD	»	ch	
	I 5	2942,21	K. R.	8 u	F - R	a	ch	
	II 5	38,67	»	6 u	F - R	a	ch	
	III 5	36,99	»	4 u	F - B	a	ch	
		36,61	»	4	R	a	ch	
		28,74	»	4	R	a	ch	
		15,57	»	4	F - R	a	ch	
	I 6	2852,22	»	10 R	FF invertida	a	ch	
	II 6	48,53	»	4 u		a	ch	
	III 6	46,91	»	4 u		F	a	ch
IN		17,2	Ex. H.	1	D	a	ch	
		15,8	»	1	D	a	ch	
		12,0	»	1	D	a	ch	
		2811,2	Ex. H.	1	D	a	ch	
		09,2	»	2	R - D	a	ch	
		02 80	K. R.	10 R	FF	a	ch	
		2798,07	»	4	R	a	ch	
		95,63	»	10 R	FF	a	ch	
		91,01	Ex. H	2 R	D	a	ch	

Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Conocida en	
IIN		K. R.	4	R	a	ch
		»	8 R	F	a	ch
	I 6	»	8 R	F	a	ch
		»	10 R	FF	a	ch
	II 6	»	8 R	F	a	ch
	III 6	»	8 R	F	a	ch
		»	4 r	F	a	ch
		»	4 r	R	a	»
	I 7	»	2 u	R	a	»
	II 7	»	2 U	F	a	»
IIN	III 7	»	2 U	F	a	»
	I 7	»	2 u	R - F	a	»
	II 7	»	2 u	R - F	a	»
	III 7	»	2 u	R	a	»
	I 8	»	1 u	F	a	»
	II 8	»	1 U	R	a	»
	III 8	»	1 U	R	a	»
	I 8	»	1 U	R	a	»
	II 8	»	1 U	R	a	»
	III 8	»	1 U	D	a	»
IIN	I 9	K. R.	1 U	F	a	»
	II 9	»	1 U	R	a	»
	III 9	»	»	D	a	»
	I 9	Catalán	»	D	a	»
	II 9	Catalán	»	DD	a	»
	III 9	Catalán	»	R	a	»
	I 10	Catalán	»	D	a	»
	II 10	Catalán	»	DD	a	»
	III 10	Catalán	»	DD	a	»
	I 10	Catalán	»	DD	a	»
IIN	II 10	Catalán	»	DD	a	»
	I 11	Catalán	»	DD	a	»
	II 11	Catalán	»	DD	a	»
	I 12	Catalán	»	DD	a	»
	II 12	Catalán	»	DD	a	»
Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Arco conocida en	Chispa

En la columna de *intensidades*:

U significa línea difusa hacia ambos lados. R » » » » » el rojo
u » » poco » » » » » r » » poco » » » » »

En la columna de *Aspectos*:

FF significa fortísima. R - D » entre regular y débil.
F » fuerte. D » débil.
R » regular. DD » debilísima.

En cuanto a las *abreviaturas de Autores*:

K. R. significa Kaiser y Runge. Ed. significa Eder.
Ex. H. » Exner y Haschek. F. R. » Fowler y Reynolds.
Hart. y Ad. » Hartley y Agency.

En la banda verde han podido ser identificadas hasta ocho líneas que son las siguientes:

5007,44	10	Eder	R.
4996,85	8	Eder	R.
86,23	6	Eder	D.
74,81	4	Eder	D.
62,45	3	Eder	DD.
49,30	2	Eder	DD.
35,01	1	Eder	DD.
23,65	1	Eder	DD.

Y de los grupos de Brooks se ha entrevisto el 4826 y 4820. El triplete 3824,74 — 3821,34 — 3820,65 que pertenece al espectro de bandas y cuya intensidad es 7 — 8 — 10 aparece como una débil sombra.

CC-0. No se permite su explotación económica ni su transformación en obras derivadas.

III

Al hablar de los electrodos empleados advertimos que parecíanos encontrarnos en presencia de algunas líneas nuevas en el espectro de arco de la plata y por ello emprendimos el trabajo de obtenerlas lo más intensamente posible, para poder efectuar fácilmente su medida.

Recordaremos que los electrodos están formados por dos barras cilíndricas de plata pura, de diez mm. de diámetro; el objeto de un grueso tan considerable es el evitar que cuando la intensidad de corriente sea grande, los electrodos lleguen a calentarse tanto que el electrodo superior funda. Aun con este grueso, si la corriente es de diez a doce amperios y se hacen exposiciones sucesivas de un minuto de duración el electrodo superior funde parcialmente, dejando caer una gota sobre el inferior.

Hemos investigado el espectro de la plata desde λ 5.200 hasta λ 2.300 con placas ordinarias y desde λ 2.300 hasta λ 2.000 con placas Schumann, ya que la sensibilidad de estas en esa última región, proporciona facilidad de encontrar nuevas líneas cuando las placas ordinarias ya no dan nada en nuestro aparato.

Se han hecho las fotografías con una intensidad de corriente de diez a doce amperios; la exposición, para las placas ordinarias, era aproximadamente de un minuto y para las placas Schumann próximamente igual o algo más.

La montura del espectrógrafo la hemos hecho con dos prismas para la región primera, es decir, desde λ 5.200 hasta λ 2.300 y con un solo prisma, por no permitir el aparato enfocararlo con dos, para la región λ 2.300 a λ 2.000.

En nuestros espectrogramas aparecen de un modo claro la totalidad de las líneas que componen el espectro de arco,

tal como hasta hoy es conocido, pero afectadas de una mayor intensidad. Además, la gran mayoría de las líneas del espectro de chispa aparecen de un modo claro y seguro; también las de algunas impurezas, correspondiendo a rayas intensísimas de otros cuerpos, y por último, un gran número de líneas que no ha sido posible atribuir las a ningún elemento.

De estas, hay unas cuantas, que por su aspecto y posición, parecían pertenecer a las series espectrales conocidas en la plata y por ello he hecho un estudio más detenido de ellas dejando las restantes líneas, que hoy no podemos atribuir con seguridad, para un ulterior trabajo.

Consultada la bibliografía (que al final del capítulo va colocada) en ninguno de los trabajos figuran las líneas encontradas por nosotros, y por ello, voy a dar sus longitudes de onda y frecuencia al vacío, así como su intensidad y aspecto.

FRECUENCIA AL VACÍO	LONG. DE ONDA	INTENSIDAD
27867,4	3587,40	3
28075,3	3568,46	2
28396,8	3520,5	5 u
28502,4	3507,5	4 u
28664,2	3487,68	1
28924,9	3456,4	3 u
29107,4	3436,01	1
29284,4	3413,8	1 u
29317,7	3409,9	4 u
29844,4	3349,8	2 u

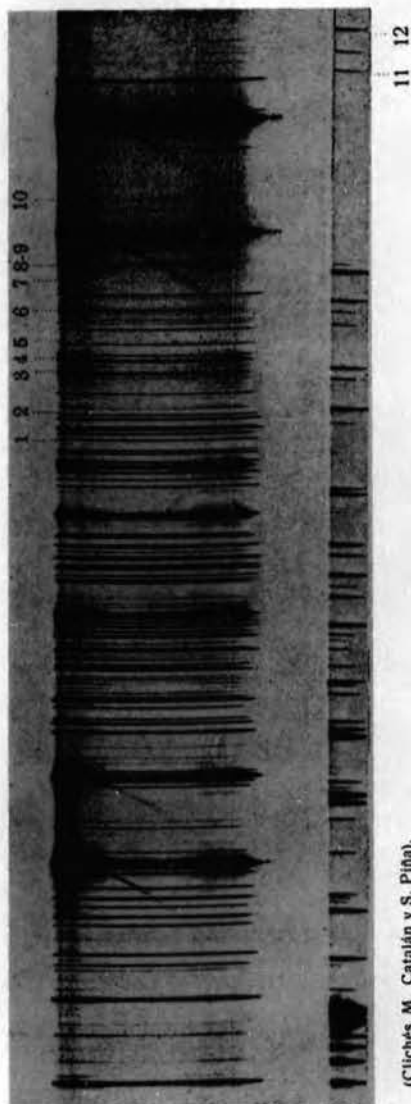
u significa difusa a ambos lados.

En la región de λ 2300 a λ 1950. Piña de Rubíes (*) ha encontrado en el arco una porción de líneas de chispa y además las de arco que siguen:

44039,5	2270,0	1
48285,1	2070,4	4
48486,6	2061,8	2

(*) Ann. d. Soc. E. de F. y Q. Abril, 1917.

ESPECTRO DE ARCO ELÉCTRICO DE LA PLATA



(Clichés M. Catalán y S. Piña).

- | | | |
|------------|------------|------------|
| 1.—3587,40 | 5.—3487,68 | 9.—3409,9 |
| 2.—3568,46 | 6.—3456,4 | 10.—3349,8 |
| 3.—3520,5 | 7.—3436,01 | 11.—2070,4 |
| 4.—3507,5 | 8.—3413,8 | 12.—2061,8 |

cuya placa nos ha cedido amablemente, con el objeto de que pudiéramos estudiarlas.

En una ampliación de un espectrograma, referente a una plata nativa, obtenida por el catedrático de esta Universidad D. Ignacio González Martí, con un espectrógrafo de tres prismas de *uvio*l y que ha puesto galantemente a nuestra disposición, aparecen, aunque muy débilmente, las líneas 3456 y 3507, y las 3568 y 3787, que son aún más fuertes, están enmascaradas por la banda Swan, que dan los electrodos de carbón por él empleados.

Todas esas líneas, excepto la 2270,0, las hemos colocado en las series ya conocidas en la plata.

Sabemos que para cualquier elemento, Ritz^(*) dió una fórmula que permite el cálculo de los diversos términos de una serie y que es

$$\nu = A - \frac{N}{[m + \alpha + \beta (A - \nu)]^2}$$

en la cual ν es la frecuencia referida al vacío, N una constante universal, m el número del término y A el límite de la serie; α y β son constantes que caracterizan la serie y que son idénticas para dos series de diferencias constantes.

Por abreviar se suele escribir

$$m\alpha\beta = \frac{N}{[m + \alpha + \beta (A - \nu)]^2}$$

Para las tres series de Rydberg corresponden las siguientes fórmulas abreviadas.

Serie principal.

$$\pm \nu = 1,5 s\delta - m p_i \pi_i; \quad i = 1, 2, 3, \dots; \quad m = 2, 3, 4, \dots; \quad p_1 > p_2$$

2.ª serie secundaria.

$$\pm \nu = 2 p_i \pi_i - m s \sigma; \quad i = 1, 2, \dots; \quad m = 1, 5, 2, 5, \dots;$$

$$\pm \nu = \begin{cases} 2 p_1 \pi_1 - m a \delta; & m = 3, 4, 5, \dots \quad [1.ª \text{ línea principal y satélite}] \\ 2 p_2 \pi_2 - m a \delta'; & m = 3, 4, 5, \dots \quad [2.ª \text{ línea principal y satélite}] \end{cases}$$

(*) W. Ritz.—Ann. d. Phys. 12 pág. 361 (1903).

y la separación constante de los dobletes

$$\nu_1 = 2p_1 \pi_1 - 2p_2 \pi_2.$$

Randall (*) dice, que la serie principal está en el ultra-violeta, y calcula el término $m=3$ del siguiente modo:

Viendo las fórmulas de la serie principal y la segunda serie secundaria, se ve la posibilidad de obtener de ésta aquélla. En la segunda serie obtiene los siguientes valores:

m	1,5	3,5	3,5	
λ	3280,80	8274,1	4668,70	
ν	30471,7	12082,6	21413,3	
ms	61092,4	18538,1	9207,3	$2p_1 = 30620,7$
λ	3383,00	7688,2	4476,29	
ν	29551,00	13003,4	22333,8	$2p_2 = 31541,7$
ms	61092,4	18537,7	9207,3	

De ésta calcula la principal que es

$$\pm \nu = 1,5 s - mp_1 \quad \pm \nu = 1,5 s - mp_2$$

y obtiene

m	2		3
λ	3280,8	Observado	2061,3 Calculado
ν	3047,7		48498,3
mp_1	30620,7		12594,1
λ	3383,0		2070,0
ν	29551,3		48295,4
mp_2	31541,1		12797,0

Es decir que Randall prevé la existencia del par $\left. \begin{matrix} 2070,0 \\ 2061,3 \end{matrix} \right\}$ como segundo término de la serie principal y cuyo primer término sería el par tan conocido $\left. \begin{matrix} 3200,8 \\ 3383,0 \end{matrix} \right\}$ que es el más intenso en el espectro de la plata.

Se ve que con un error que se comete en el cálculo y

(*) H. M. Randall.—Ann. d. Physik (4) 33 pág. 739 (1910).

en la medida de las líneas, la concordancia entre el par calculado por Randall y el obtenido por nosotros

Calculado	2061,3	2070,0
Observado	2061,8	2070,4
$\Delta =$	— 0,5	— 0,4

es más que suficiente para dejar sentado de un modo firme la atribución de dicho par a la serie principal y por tanto afirmar *experimentalmente* la *existencia de la serie principal en el espectro de la plata*.

Los restantes pares los hemos comparado con los calculados por las fórmulas de Kaiser y Runge (*). Estos dicen que en el espectro de la plata se han encontrado dos series de pares, una de las cuales es la primera serie secundaria o serie difusa y la otra la segunda serie secundaria o serie neta. En la primera han sido observados los términos cuatro, cinco, seis y el siete incompleto; en la segunda serie han sido encontrados los términos cuatro, cinco y del sexto solamente una línea.

Pues bien, las líneas encontradas por nosotros, se agrupan a continuación de esos otros pares formando: una línea del siete, término ocho, término nueve y primera línea del término diez, para la primera serie, y para la segunda serie: segunda línea del incompletamente conocido, término seis, primera línea del siete, cuya segunda está enmascarada, primera línea del término ocho, cuya segunda también está enmascarada, y por último la línea primera del par número nueve.

La fórmula de Kaiser y Runge, es

$$10^8 \lambda^{-1} = A - Bn^{-2} - Cn^{-4}$$

en que λ es la longitud de onda, A , B y C son constantes y n el número del término en la serie. Con las líneas señaladas con un asterisco, en el cuadro que a continuación

(*) Kaiser.—Espectroscópica, tomo II, pág. 531 (1908).

sigue, han efectuado el cálculo de las constantes, habiendo hallado los valores.

$$10^8 \lambda^{-1} = 30712,1 - 130621 n^{-2} - 1093823 n^{-4}$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 31033,2 - 130621 n^{-2} - 1003823 n^{-4}$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 20690,2 - 123788 n^{-2} - 294202 n^{-4}$$

$$10^8 \lambda^{-1} = 21633,2 - 123788 n^{-2} - 394303 n^{-4}$$

Nosotros hemos calculado los términos que siguen y el resultado es:

Autor	λ	Intensi- dad	$\frac{I}{\lambda}$ en el vacío	PRIMERA SERIE			SEGUNDA SERIE		
				u	Δv	O - C en λ	u	Δv	O - C en λ
K. R.	5471,72	5	18275,8	4	920,8	0,00			
»	65,66	8 r	18296,0	4					
»	5209,25	8 r	19196,6			0,00*			
»	4668,70	6 uR	21419,6				4	920,7	0,00*
»	4576,29	5 uR	22339,9				4		0,00
»	4212,1	6 ur	23741,1	5	917,1	- 0,6			
»	4055,44	5 ur	24658,2	5		0,00*			
»	3981,87	5 uR	25113,8				5	919,1	0,00*
»	3841,3	5 uR	26032,9				5		0,00
»	10,6	3 u	26242,6	6		- 0,3			
»	3710,11	2 u	26953,3		918,0		6		00,0*
»	3681,77	3 u	27160,6	6		0,00*			
»	24,00	1 u	593,8	7		- 0,37		922,0	
Catalán	3587,40	3	875,3				6		- 0,24
»	68,46	2	28023,3		916,7		7		
»	20,5	5 uR	404,8	8		+ 0,17			
»	07,5	4 uR	510,5	7		+ 0,17			
»	3487,68	1 u	672,3		921,2		8		+ 0,69
»	56,4	3 uR	933,1	9		+ 0,20			
»	36,01	1 u	29115,6				9		+ 1,43
»	13,8	1 uR	292,7	10	919,8	+ 0,48			
»	09,9	4 uR	326,0	8		+ 0,11			
»	3349,8	2 uR	852,9	9		+ 0,11			

u R. significa muy difusa hacia el rojo y regularmente difusa hacia el violeta.

u. » difusa hacia ambos lados.

r. » » el rojo.

O - O » diferencia observada. Calculada en longitudes de onda.

Como se ve, la concordancia es lo suficiente para hacer la atribución de esas líneas a las series secundarias.

A continuación sigue un cuadro de todas las líneas identificadas y en el que se ve claramente que existen una porción de líneas que apesar de pertenecer al espectro de chispa, salen en el espectro de arco.

Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Conocida en	
					Arco	Chispa
IN II 4	5209,25	K. R.	10 R	FF	a	ch
	5123,85	»	1 U	DD	a	»
	4874,36	»	4 r	R	a	ch
	48,33	»	4 U	D	a	»
	4797,0	»	2 U	D	a	»
IIN I 4	4678,04	»	4 U	R - D	a	ch
	68,70	»	8 r	FF	a	ch
	16,03	»	4 u	R,	a	ch
IIN II 4	4556,13	»	4 U	R	a	ch
	4476,29	»	6 r	FF	a	ch
	4396,49	»	2 u	R - D	a	ch
IN	94,11	Ed. y V.	2	D	»	ch
	85,16	»	4	D	»	ch
	79,45	K. R.	4 u	D	a	»
	11,28	»	4 r	F	a	ch
	4226,55	Ed. V.	4	R	»	ch
	13,2	Ex. H.	1 u	R	a	ch
	11,0	»	10		a	ch
	4096,70	»	2	DD	»	ch
	85,92	Ed. V.	2	DD	»	ch
	55,41	K. R.	6 R	F - R	a	ch
	04,9	Ex. H.	1 u	R	»	ch
	3994,96	Ed. V.	1	D	»	ch
	3991,9	K. R.	1 u	D	a	»
	81,87	»	6 r	F	a	»
	68,34	Ed. V.	5	F	»	ch
	61,27	»	2	D	»	ch
	51,3	Ex. H.	1			
	49,60	»	2	D	»	ch
	43,1	K. R.	1 u	D	a	ch
	40,3	»	1 u	D	a	»
IIN II 5	37,2	Ex. H.	1 u	DD	»	ch
	33,60	E. V.	5	F	»	ch
	14,47	K. R.	2 u	R	a	ch
IIN II 5	07,73	»	2 u	R	a	ch
	3841,3	»	2 r	F - R	a	ch
IN I 6	10,6	»	2 u	R	a	ch
	3766,50	Ex. H.	1 u	D	a	ch
IIN I 6	10,1	K. R.	1 u	R	a	»
IIN II 6	3681,8	»	2 u	F	a	ch
IN I 7	74,28	Ed. V.	2	DD	»	ch
	24,0	K. R.	1 U	R	a	»
	16,20	Ed. V.	1 u	D	»	ch
IIN II 6	12,73	Ex. H.	1	DD	»	ch
	3587,40	Catalán		R	a	»
	80,77	Ed. V.	1 u	D	»	ch
IIN I 7	68,46	Catalán		D	»	»
	57,3	K. R.	1 u	R	a	»
	47,3	»	1 u	R - D	a	ch
IN I 8	42,67	»	4 u	F	a	ch
	3520,53	Catalán		D	a	»

Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Conocida en	
					Arco	Chispa
IN II 7	15,6	K. R.	1	DD	»	ch
	13,44	E. H.	1 u	D	»	ch
	3507,48	Catalán		R - D	a	»
	05,43	K. R.	1 u	DD	a	ch
	01,90	»	4 u	F	a	ch
IIN I 8	3499,65	»	1 u	DD	a	ch
	95,57	Ed. V.	1	DD	»	ch
	3487,68	Catalán		DD	a	»
	75,89	E. V.	3	DD	»	ch
	69,30	Ex. H.	1	R	»	ch
IN I 9	3456,45	Catalán		R - D	a	»
IN I 10	3413,82	Catalán		DD	a	»
IN II 8	3409,84	Catalán		DD	a	»
H	3383,00	K. R.	10 R	FF invertida	a	ch
IN II 9	52,16	Ed. V.	4	DD	»	eh
	3349,76	Catalán		DD	a	»
	39,30	E. V.	2	D	»	ch
	31,91	»	3	DD	»	ch
	27,82	K. R.	1 u	D	a	»
H	07,77	»	2 u	R	a	ch
	3280,80	»	10 R	FF invertida	a	ch
	64,20	E. V.	2	D	»	ch
	49,14	»	2	DD	»	ch
	37,52	»	1	DD	»	ch
	3232,94	K. R.	4 u	D	a	ch
	23,37	Ed. V.	3	DD	»	ch
	3187,75	»	2	DD	»	ch
	86,1	Ex. H.	1	DD	»	ch
	80,69	Ed. V.	2	DD	»	ch
	77,8	E. H.	1	DD	»	ch
	73,22	E. V.	2 u	DD	»	ch
	70,66	K. R.	4 u	R - D	a	»
	30,09	»	6 u	F	a	ch
	17,82	Ed. V.	1	DD	»	ch
	02,64	»	1	D	»	ch
	3099,19	K. R.	2	F - R	a	»
	38,42	»	6 u	F	a	ch
Regularidad	λ	Autor	Intensidad	Aspecto	Arco	Chispa
					conocida en	

IV

Para terminar, voy a resumir rápidamente los resultados de mis investigaciones.

En la parte referente al Magnesio, han sido de dos clases: unas puramente químicas y otras físicas. En cuanto a las primeras, he pretendido hacer un ensayo de espectroquímica, es decir, estudiar las modalidades de un espectro producido por diversos compuestos de un mismo elemento y en presencia de electrodos de naturaleza variable.

El resultado ha sido ver de un modo claro que:

1.º El espectro del *metal* (magnesio), es el más completo, cualquiera que sea la naturaleza de los electrodos que se empleen. El espectro de las sales es menos completo, porque se obtiene con menor intensidad, y por tanto las líneas más débiles se pierden. El óxido es quien da un espectro más incompleto por igual razón.

2.º Que la influencia de la naturaleza de los electrodos resulta muy manifiesta por acción *reductora* en el caso del *carbón*, poco en el de *cobre* y apenas nada en el de *plata*.

Queda también anotado que la forma parecida en que dan el espectro el metal y las sales cristalizadas, puede estar de acuerdo con la ionización intermolecular que hoy se admite para esas sales. Doy una explicación de la pertenencia de la banda verde al *vapor de óxido magnésico*.

En cuanto a la parte física del espectro del magnesio doy las longitudes de onda de *doce* líneas nuevas, que he fotografiado y que han sido obtenidas por el método del arco en el aire y las he colocado en las series espectrales, ya conocidas, como tripletes adicionales por resultar

concordantes sus longitudes de onda con las obtenidas por el cálculo.

Además se han encontrado en el arco *once* líneas que solamente habían sido vistas en el espectro de chispa.

En el espectro de arco en el aire de la plata, he encontrado *diez* líneas nuevas, bastante intensas algunas de ellas, y cuyas longitudes de onda, por mis medidas, concuerdan con las calculadas para términos adicionales a las series de pares. Además, he apuntado *treinta y cuatro* líneas de chispa presentes en el espectro de arco.

Por último, he visto el completo acuerdo que hay entre el cálculo y la experiencia para la longitud de onda del doblete situado en la región extrema ultravioleta, quedando demostrada *experimentalmente* la existencia de la *serie principal* en el espectro de la plata.

* * *

Solo me resta expresar mi gratitud al Dr. D. Angel del Campo, Catedrático de la Universidad Central y Profesor de la Sección Espectrográfica de este Centro.

Laboratorio de Investigaciones Físicas.

Madrid, Junio de 1917.

BIBLIOGRAFÍA

1. W. A. Miller.—*Experiments and observations*.... «Phil. Mag.» (3), 27, páginas 81 a 91 (1845).
2. G. Kirchhoff.—*Untersuchungen über das Sonnen-spectrum und die Spectra der chemischen Elemente*.
3. W. A. Miller.—*On the photographie... of the electric spark*. «Phil. Trans.», 1251, páginas 861 a 867 (1862).
4. A. Mitscherlich.—*Über die Spectra der Verbindungen un der einfachen Körper*. «Pogg. Ann.», 121, páginas 459 a 488 (1864).
5. Lecoq de Boisbaudran.—*Spectres lumineux*. Paris (1874).
6. J. N. Lockyer.—*Note on the spectrum of hydrogen*. «Proc. Roy. Soc.», 30, páginas 22 a 31 (1879).
7. Liveing and Dewar.—*On the spectrum of magnesium and lithium*. «Proc. Roy Soc.», 30, páginas 93 a 99 (1880).
8. Liveing and Dewar.—*Investigations on the spectrum of magnesium*. «Proc. Roy Soc.», 32, páginas 185 a 203 (1881).
9. Liveing and Dewar.—*On the disappearance of some spectral lines and the variations of metallic spectre due to mixed vapours*. «Proc. Roy Soc.», 33, páginas 428 a 434 (1888).
10. Liveing and Dewar.—*On an arrangement of the electric arc for the study of the radiations of vapours, together with preliminary results*. «Proc. Roy Soc.», 34, páginas 119-122 (1882).
11. Liveing and Dewar.—*On the ultraviolet-spectra of the elements*. «Phil. Trans.», 174-I, páginas 187 a 222 (1883).
12. H. Becquerel.—*Spectres d'emission infrarouges au moyen des phénomènes de phosphorescence*. «C. R.», 96, páginas 1215 a 1218 (1883).
13. Liveing and Dewar.—*Spectroscopie studies on gaseous explosions*. «Proc. Roy. Soc.», 36, páginas 471 a 478 (1884).
14. W. N. Hartley and W. E. Adeney.—*Measurements of the wave-lengths of lines of high refrangibility in the spectra of elementary substances*. «Phil. Trans.», 175-I, páginas 63 a 137 (1884).
15. W. N. Hartley.—*Researches on spectrum photography in relation to new method of cuantitative chemical analysis*. «Phil. Trans.», 165-II, páginas 325 a 342 (1884).

16. H. Bequerel.—*Spectres d'émission infrarouges au moyen des phénomènes de phosphorescence*, «C. R.», 99, páginas 374 a 376 (1884).
17. J. M. Eder.—*Über einige gelignete practische...* «Wien. Ber. Ber.», 94, II, página 378 (1886).
18. Living and Dewar.—*Investigations on the spectrum of magnesium*. «Proc. Roy. Soc.», 44, páginas 241 a 252 (1888).
- 18 bis. J. N. Lockyer.—*Researches on the spectra of meteorites*. «Proc. Roy. Soc.», 43, páginas 77 a 156 (1887).
19. V. Schumann.—*Zur Photographie der brachbarsten Strahlen*. «Photog. Rundsch», 41, páginas 71 a 80 (1890).
20. J. N. Lockyer.—*On the chief line in the spectrum of the nebulae*. «Proc. Roy. Soc.», 48, páginas 167 a 198 (1890).
21. H. Kaiser y C. Runge.—*Beiträge zur Kenntniss der Linienspectra*. «Wiedem Ann.», 50, páginas 625 a 638 (1893).
22. R. A. Rowland.—*A new table of standard wavelengths*. «Astron. and Astrophys.», 12, páginas 321 a 346 (1893).
23. J. R. Rydberg.—*Beiträge zur Kenntniss der Linienspectra*. «Wiedem. Ann.», 50, páginas 625 a 638 (1893).
24. W. N. Hartley.—*Flamme spectra at high temperatures. I. Oxy-hydrogen blow-pipe spectra*. «Proc. Roy. Soc.», 54, páginas 5 a 7 (1893).
25. J. Kheler.—*The magnesium as a index to the temperature of the stars*. «Astron. and Astroph.», 13, páginas 660 a 662 (1894).
26. J. Scheiner.—*Die Temperatur an der oberfläche der Fix sterne, und der Sonne, verglichen mit derjenigen erdisscher Warmequellen*. Berlín Ber. 1, páginas 257 a 258, (1894).
27. H. Crew y O. H. Basquin.—*Note on the magnesium band at 5007*. «Astroph. J.», 2, página 100 (1895).
28. E. Demarcay.—*Spectres électriques*. París, (1895).
29. H. A. Rowland.—*Preliminary table of solar spectrum wavelengths*. Chicago, (1896-1898).
30. R. Thalen.—*Memorie sur la détermination des longueurs d'onde des raies métalliques*. «Nova Acta Reg. Soc. Upsal» (3), 6 (1898).
31. J. N. Lockyer.—*The present stand point in spectrum analyses*. «Nat.», 59, páginas 585 a 588 (1899).
32. H. Lermann.—*Die ultrarothern Spectren der Alkalien*. «Freiburg Br. lei Lehmann's Nachf», 1900.
33. H. Crew.—*On the arc-spectra of some metals as influenced by an atmosphere of hydrogen*. «Astroph. J.», 12, páginas 167-175 (1900).
34. L. Arons.—*Über den electrischen Licht bogen zwischen*

Metallelectrodes in Stickstoff un Wasserstoff. «Ann. d. Phys.» (4) 1, páginas 700 a 718 (1900).

35. H. Crew.—*On the arc-spectra of some metals as influenced by an atmosphere of hydrogen.* «Astroph. J.», 12, páginas 167 a 175 (1900).

36. O. H. Basquin.—*The spectrum of hidrogen given by the metallic arc of tin, copper, etc.* «Astroph. J.», 13, páginas 1-16 (1901).

36. G. A. Hemsalech.—*Sur l'influence de selfinduction sur les spectres d'étincelles.* «C. R.», 132, páginas 959 a 962 (1901).

37. C. C. Schenk.—*Some properties of the electric spark and its spectrum.* «Astroph J.», 14, páginas 116 a 135 (1901).

38. A. Porter.—*The influence of atmosphere of nitrogen and hydrogen on the arc spectra...* «Astrophys J.», 15, páginas 274 a 281 (1902).

39. W. N. Hartley y H. Ramage.—*Banded flame spectra of metals.* «Trans. Roy. Dublin Soc.» (2), 7, páginas 339 a 352 (1901).

39 bis. F. Exner und B. Harchek.—*Tabelle der Funken-spectra.* Wien., (1902).

40. A. S. King.—*Some effects of change of atmosphere on arc spectra with reference to series relations.* «Astrophys J.», 16, páginas 122 a 150 (1903).

40 bis. H. Crew.—*Note on the wave-length of the magnesium line at 4481.* «Astroph. J.», 16, páginas 246 a 248 (1902).

41. A. Fowler.—*On a new series of lines in the spectrum of magnesium.* «Proc. Roy. Soc.», 71, páginas 419 a 420 (1903).

42. A. Fowler and H. Payn.—*The spectra of metallic arc in an exhausted globe.* «Proc. Roy. Soc.», 72, páginas 253 a 257 (1903).

43. A. S. King.—*Some effect of change of atmosphere on arc spectra with reference to series relation.* «Astroph. J.», 16, páginas 129 a 150 (1903).

44. J. Hartmann y G. Eberhard.—*Über das Auftreten von Funkenlinien in Bogenspectrum.* «Astroph J.», 17, páginas 270 a 280 (1903).

45. J. M. Eder.—*Das Flammen-und Funkenspectrum des magnesiums.* «Dekschr. Wienn. Akad.», 74, páginas 45 a 54 (1903).

46. B. Eginites.—*Sur l'échauffement des poles et les spectres des étincelles.* «Bull. Astrons.», 21, páginas 27 a 92 (1904).

47. Sir W. Huggins and Lady Huggins.—*Preliminary note on some modifications of the magnesium lines in arc spectra at*

4481 *under different laboratory conditions of the spark discharge.* «Astroph. J.», páginas 145 a 146 (1904).

48. H. Crew.—*On the conditions which govern the appearance of spark lines in arc spectra.* «Astroph. J.», 20, páginas 274 a 284 (1904).

49. G. A. Hemsalech.—*Recherches experimentales sur les spectres d'étincelles.* «Bull. Astrons.», 21, páginas 27 a 92 (1904).

50. H. W. Morse.—*Spectra from the Wehnelt interrupter.* «Astroph. J.», 11, páginas 162 a 186 (1904).

51. F. Exner und Hacheck.—*Tabellen der Bogen-spectra.* Wien. (1904).

52. J. Barnes.—*On the spectrum of magnesium.* «Astroph. J.», 21, páginas 74 a 80 (1905).

53. A. S. King.—*Über Emissions spectra von Metallen in electrischen ofen.* «Astroph. J.», 21, páginas 236-257 (1905).

54. R. E. Loving.—*The arc in high vacua.* «Astroph. J.», 22, páginas 285-304 (1905).

55. A. Hagenbach and H. Könen.—*Atlas der Emissions spectre.* Jena (1905).

56. Ch. M. Olmsted.—*Die Bandenspectra nahe verwandter Verbindungen.* Dissert. Bonn., (1906).

57. F. A. Saunders.—*New series in the arc spectra of magnesium, zinc and cadmium.* «Physic. Rev.», 20, páginas 116 a 118 (1905).

58. E. E. Brooks. — *The spectrum of magnesium and of so-called magnesium hydride, as obtained by spark discharger under reduced pressure.* «Proc. Roy. Soc. A.», 80, páginas 218 a 228 (1908). *A probable new fluting son the spectrum of magnesium oxide.* «Nat.», 78, página 198 (1908).

59. J. Haremann.—*Die Wellenlänge der Magnesium linie 4481.* «Physik. Zs.», 4, páginas 427 a 429 (1909).

60. E. E. Brooks.—*The magnesium spectrum under reduced pressure.* «Astroph. J.», 29, páginas 177 a 189 (1909).

61. R. W. Wood and D. V. Guthrie.—*The ultraviolet absorption spectra of certain metallic vapours and their mixtures.* «Astroph. J.», 28, páginas 211 a 223 (1909).

62. H. Hermann.—*Messung der Wellenlangen rote Linien in einigen Bogenspectren.* «Dissert Tubingen», 1904; «Ann. d. Phys.», 16, páginas 625 a 663 (1909).

63. F. Paschen.—*Zur Kenntniss ultraroter Linien-spectra.* II. «Ann. d. Phys.» (4), 29, páginas 625 a 663 (1909).

64. Fr. Handke.—*Untersuchungen im Gebiete der Schumann-Strahlen.* «Dissert.». Berlin, (1909).

65. H. Kayser.—*Spectroscopie*. Tomo 5, páginas 719 (1910).
66. J. Barnes.—*The spectra of Al, Cu, and Mg in the arc under reduced pressure*. «Astroph. J.», 34, páginas 159-164 (1911).
67. H. Lehmann.—*Ultrarot Emissions spectra*. «Ann. d. Phy.», 39, página 53 (1912).
68. Elien O'Connoir.—*Sur le spectre de l'arc a haute fréquence du Magnesium*. «Philosop. Mag.», 23, página 94 (1912).
69. Theodore Lymann.—*Spark spectra of the and alkali earths in the schumann region*. «Astroph. J.», 35, página 341 (1912).
70. A. S. King.—*A Study of the relation of arc and spark lines by means of the tube-arc*. «Astroph. J.», 38, página 315 (1913).
71. Fowler y Reynolds.—*Additional triplets and other serie lines in the spectrum of magnesium*. «Roy. Soc. London», 89, página 137 (1913).
72. A. Fowler.—*New series of lines in the spark spectrum of magnesium*. «Roy. Soc. London», 89, página 133 (1913).
73. Andreas Nücken.—*Über Messungen in Magnesium spektrum nach internacionales Normalen*. «Zeitsch. Photog.», 12, página 54 (1913).
74. Ch. Wali-Mohammad.—*The complex structure of spectrum lines*. «Astroph. J.», 39, páginas 185 (1914).
75. F. Saunders.—*New «vapor lamp» and some preliminary observations of their spectre in the Schumann region*. «Astroph. J.», 40, página 367 (1914).
76. J. Barnes.—*The spectre of Mg, Ca, and Na vapours*. «Astroph. J.», 39, página 370 (1914).
77. F. A. Saunders.—*Notes on certain ultraviolet spectra*. «Astroph. J.», 43, páginas 234 (1916).
78. Arthur King.—*The produccion in the electric furnace of the banded spectra ascribed to titanium oxide, magnesium hydride, and calcium hydride*. «Astroph. J.», 43, página 341 (1916).
79. J. M. Eder y E. Valenta.—*Wellenlängenmessungen im sichtbaren. Bezirk der Funkenspectra*. «Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien.», 118, páginas 1077-1100 (1909).
80. J. M. Eder y E. Valenta.—*Messungen im ultravioletten Funkenspectra von Metallen nach dem internationalem System*. «Zte. Photog. B.», páginas 20 a 40 (1913).
81. J. M. Eder.—*Messungen im ultravioletten Funkenspectrum von Ag... bis λ 1850 nach dem internationalem System*. «Vgl. Sitzungsber. K. Akad. Wiss. Wien.», 122, II^a, C. (1913).
82. J. M. Eder.—*The ultraviolet spark spectra of silver... to λ 1850 in the international System*. «Phot.», 14, página 137 (1914).

Measurements of the wave lengths on the international System in the red and infra-red arc spectra of the elements. «Sitzb. Akad. Wiss. Wienn.», Abt. II a 124, 101 (1915).

83. L. Janicki.—*Die Beschaffenheit der Spektrallinie der Elementen.* «Ann. der Physk.» (4), 29, página 833 (1909).

84. H. M. Randall.—*Zur Kenntnis ultrarother Linienspektren.* «Ann. d. Physik» (4), 33, página 739 (1910). *Some infra-red spectra.* «Astr. Phys.», 34, página 1 (1911).

85. A. de Gramont.—*Sobre la colocación de las líneas últimas en las series espectrales.* «C. R.», 151, página 308 (1910).

86. L. R. Ingersoll — *Dispersion of metals in infra-red.* «Astr. Phys. J.», 32, página 265 (1910).

87. W. G. Duffield.—*Die Wirkung des Druckes auf Bogen spectra, Silber....* «Proc. Roy. Soc. A.», 81, página 378 (1910).

88. H. Könemann.—*Die Verteilung der Emission in der Bogen Zwischen metallstaben für Wellenlangen unterhalb $\lambda = 40000$.* «Ztschs. Photg.», 12, páginas 65 a 76 y 123-43. Mayo (1913).

89. B. Reismann.—*Die Unterschiede der Polspektren verschiedener Elemente im Geislerrohr.* «Ztsch. Photog.», 13, páginas 269-300 y 301-12 (1913).

90. H. Huppers.—*Neue Messungen der Bogenspectra einigen Metalle innerhalb $\lambda = 3200$.* «Ztsch. Photog.», 13, páginas 44-88 (1913).

91. Joseph Frings.—*The arc and spark spectrum of silver referred to international normals.* «Ztsch. Photog.», 15, páginas 165 a 182 (1915).



Esta memoria fué calificada de Sobresaliente por el tribunal siguiente:

Excmo. Sr. D. José Muñoz del Castillo,

Dr. D. Eugenio Piñerua Alvarez,

» » Felipe Lavilla Llorens,

» » Ignacio González Martí,

» » Angel del Campo y Cerdán,

en el día de la fecha.

Madrid 22 de Junio de 1917.

ANEXO 2

Carta de M. A. Catalán a A. del Campo,
9 de marzo de 1921

1/ 91 Guilford Street

London (W.C.1)

9 Mayo 1921

S. D. Angel del Campo.

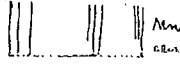
Mi querido profesor y amigo. Cuando recibo
U. esta de regreso que se anuncia de que señales de ida, tie-
ne razón ya es hora de que escriba, pero es que dependo de
un otro para otro he llegado a cumplir con los dos
meses desde que salí de ahí.

Tantas cosas que me contaste que no se por donde empezar.
Nuevos empujones por lo visto. Cuando voy en reguero con el
Una a vuelta, hace una porción de foto en todos los aparatos y
seguí haciendo minimios y mas minimios. Hubo día que me
dormí las 11 de la noche en ello. Pero fue fructífera la labor.

Quedo un esquema completo de las cuatro series P.S. & J.
perfectamente determinado, unas cuantas líneas de combinación
y la novedad de los satélites que le expliqué a U. Desgrana-
mente la serie f está en el infrarrojo y lo mismo que
sucede con el Mg (reparen las constantes de los fórmulas nuevas a las
del Mo) solo a fuer de encontrar dos términos pero que me embor-
no cabe duda que coinciden con exactamente a la fórmula de
Rydberg como las nuevas a todas las series f. Pero me quedaba todo
aquél enorme párrafo de combinaciones que no era posible ordenar,
y entre ellos estaban los grupos mas importantes del átomo. Deix
luego había una idea fundamental y es que eran dos series:
distintas una en las repeticiones 44.1 y 35.8 y otra en 14.8 y 5.7
que estaban repartidas ninguna por una distancia asombrosa!

² Debe haber una o tripleta y otras mas alla. Estas o entre si tienen muchas relaciones y tambien con las series ordinas 1, p. d y f.

Atacando el problema en forma de doblete no ha sido muy fructifera mi labor segunamente, habia de proseguirle pero por largo opiste un grupo || || de lineas, entonces pues que llamo extraordinariamente atencion. Ya sabe U. que

la forma de las triplets D es esa

 , en la mi suposición, ilicitamente en forma de porque los grupos de combinación se presentan análogamente y de tal modo que esta es la forma en los triplets 4.35. o 14.8. Pero bien se ve que sigue una ~~característica~~ difusa que

con analogia con la primera. No he conseguido avanzar mas por ahí. Pero es el aspecto de clorina del cual he hecho una gráfica de foto (y por consecuencia aprendida la técnica) en la que un triplete difuso me mayor que los tres de la misma constitución || || || y un S. los examinaré en 263.6 y 176.9 para ellos; y luego una gráfica de triplets 114.3, 73.9 que deben pertenecer a las combinaciones 2p_{1,2,3}.

y luego algunas líneas de combinación. Pero al presente no he conseguido hallar series completas. Este es el estado actual del trabajo. Bueno la interpretación es la siguiente. Los 1^{os} triplets que siguen los leyes ordinarias en cuanto a la constante N deben ser espectros del átomo neutro. Los pares que están presentes en esos por "enhanced" en clorina deben pertenecer al 1^{er} grado de ionización del átomo es decir a Mn⁺ (análogo a Mg⁺, Ca⁺ etc en los espectros de clorina) y los 3^{os} triplets que se distinguen a el

segundo grado de ionización Mn^{++} claro que en paralelo a esto
 que a largos encuentros que la ley de la serie es 9N. Todos estos
 valores me parecen muy buenos por la altura de un magnifico trabajo
 que se a publicado. Todos vienen de dos series en el C y en el Si.
 Resulta que el flogoro de Si es todo en demandas diferentes de Si^{++}
 diferentes aunque algo irregulares. Es decir que en demandas pequeñas
 da un espectro de triplets (no ha conseguido observarlos en Si) que es un
 doblemente de uno y luego aparecen al intensificarse la demanda otros
 pares que los comprendidos en el Si y en el C ordenados con 4N los mas
 de acuerdo que pertenecen a Si^{++} y C^{++} . Algunos aparecen triplets
^{mayor en el Si} una vez que Si y en C pero no los comprendidos hallas la formula que
 parece que N tiene que ser mayor flogoramente que 4N, es decir que
 la probabilidad de que sea 9N. Luego y por consecuencia a Si^{++} y C^{++}
 y por ultimo aparecen doblets mas sencillos que se pone Si^{+++} , C^{+++}
 Esto significa V. que grupo tan enorme puesto al tema de Sommer
 que el aspecto de un elemento debe parecerse al de alguno de la
 columna vecina. Pero volviendo al Mn si contemplas V. la
 tabla vera ^{veo} la correspondencia triplets. La Sommerfeld advierte
 que el Mn si a confusian los series D y S que Karpis y R. indican
 no cas bien.

	I K L	II M N	III O P	IV Q R	V S	VI T U	VII V W
1s	D	D	T	T	T	T	T
2s	D	D	T	T	T	T	T
3s	D	D	T	T	T	T	T
4s	D	D	T	T	T	T	T
5s	D	D	T	T	T	T	T
6s	D	D	T	T	T	T	T
7s	D	D	T	T	T	T	T

D doublets
 T triplets

al Mn le correspondia
 $\begin{matrix} D \\ T \\ D \\ T \end{matrix}$
 y sin embargo parece
 imposible que empiece por T
 (puesto que repanda a la formula N) y
 luego es posible D y luego T. Esto
 por un lado aprobe la tesis de

3/ Sommerfeld y por el otro la repelle. Pues bien la solución es
expulsar al Nbr de las columnas, ya que por cierto no
tiene, hasta hoy, comparsas algunos. Dónde llevados? Al
Grupo VIII? Probablemente y para ello habrá que investigar
si el F, Cl, Br, I, Te y T están formados por tripletes en t como
juntos que si en el Cl. Ahí hice punto hace algunos días y
empiezo a trabajar con el ensaño. William Crookes hizo ensaños
a Fowler de Hg y de óxido de ensaño que el principio a costa de gases,
expresos y me ha encargado a mi de hacer la revisión del espectro
que Fowler en ano y Crookes en química estudiaron incompletamente.
Ya he conseguido algunas buenas fotos de óxido de ensaño en química
pero tengo que hacer más. También he hecho alguna de ano pero
estoy esperando a ver si consigo hacerlo dentro de un globo de vidrio
porque si se volatiliza figúrese U. que punto me quedará con
el y precisamente está ~~estando~~ dispuesto Fowler a que haga
una foto en infrarrojo y rojo (en diccionario) y tendrá que hacer
los, expresados. Ya he trabajado numéricamente algo en el es-
pectro del Sr y desde luego entre las líneas "enhanced" he encontrado
ya tripletes y combinaciones así que por ello ya hay buenas probabi-
lidades de que la hipótesis de Sommerfeld vaya siendo comprobada.
Como ve U. he trabajado intensamente. Entre a las 10 de la mañana
y apuesto un rato me dedico a comer y otro al te estoy hasta las
10 de la noche! He aprendido a manejarme con los espectros de química
bastante bien y hasta con los tabls. Por el correo de mañana recibirá
U. la copia de lo relativo al Ca (pues lo he conseguido, aunque
no me hace falta advertirle que por estar un publicado es completa-
mente prohibido). Fotografías de él aun no he tenido ocasión de

hacidas pero se las han reproducido cuando se han reunido en el
Jc. En breve verán U. En tabla de corrección de rascos para este
año en Madrid, pero me la están copiando en un cuaderno.

Por el mismo como si me fuera a escribir V. tres cuadernos de papel de man. como aquel que es guiso. Uno es para D. Blas, otro para V. y otro para Isaquim que me lo encargó. Aceptados como recuerdo de un estante aquí. Tal vez que por aquí haya congreso es siguientes: uno a uno a muchos en España en la región Lyman, otro midiendo los átomos, otro alcalinos en vacío, otro indistinto obtener el espectro del carbono, otro ^{esta} ~~venen~~ del espectro del azufre, otro que parece que lo del Hg no son líneas y triplets sino Cuadruplets y no recuerdo otros.

Ho u riterá V. proeminencia para esse esta carta
tem deslida chada. — — —

(Acaba de entrar Fowler con el profesor Russell (americano)
el de la terraza al lado y les he estado enseñando algunas fotos de S.)
- pero a falta de un rato de conversación he querido que
este mismo de ello.

Si uno es molesto a agradeciendo me enviare algunos ejemplares de mi trabajo pues es mucha costumbre aqui el interanuncio. Le confiamos que la tabla tiene cada vez mas éxito.

Comuniqué a D. Blas mis impresiones y a todos los de la casa, dije a Estrella que entró en turno y recala un abayo de su buen amigo y discípulo.

Miguel A. Catalán

ANEXO 3

“Series and other regularities in the spectrum of
manganese”, con anotaciones de Catalán

PHILOSOPHICAL TRANSACTIONS
OF THE
ROYAL SOCIETY OF LONDON.

SERIES A, VOL. 223. Pp. 127-173.

[PLATES 1 AND 2.]

SERIES AND OTHER REGULARITIES IN THE SPECTRUM
OF MANGANESE.

BY

MIGUEL A. CATALÁN, D.Sc. (MADRID);
RESEARCH STUDENT, IMPERIAL COLLEGE, SOUTH KENSINGTON.

A 608.

20.7.22

IV. *Series and Other Regularities in the Spectrum of Manganese.*

By MIGUEL A. CATALÁN, D.Sc. (Madrid); Research Student, Imperial College,
South Kensington.

Communicated by PROF. A. FOWLER, F.R.S.

Received February 22,—Read March 23, 1922.

[PLATES 1 AND 2.]

Section	Page
1.—Introductory	127
2.—Bibliography	128
3.—Experimental procedure	128
4.—The spectrum of the neutral atom of manganese	130
a.—The ordinary triplet system and combination lines	131
b.—The intercombination lines $18-1p_2$ and $18-1p_3$	137
c.—The two parallel systems of narrow triplet series and their analogies with the singlet systems of series in the alkaline-earths	139
d.—The resonance and ionisation potentials of manganese	145
e.—“Multiplets”	146
5.—The spectrum of the ionised atom of manganese	159
6.—The occurrence of “multiplets” in other spectra	163
7.—The spectrum of manganese and the periodic table	165
8.—Summary	168

TABLES.

I.—The ordinary triplet series of manganese	132
II.—Wave-lengths of components of first diffuse triplet	133
III.—The two parallel systems of narrow triplet series	144
IV.—Multiplets of the neutral atom of manganese	159
V.—Multiplets of the neutral atom of chromium	163
VI.—Classified lines in the spectrum of the neutral atom of manganese	169
VII.—Classified lines in the spectrum of the ionised atom of manganese	173

I.—INTRODUCTORY.

THE discovery of the laws which govern the distribution of lines in spectra is of great importance in relation to the problem of the structure of the atom. Up to the present time nearly all the work on the regularity in the arrangement of spectral lines has dealt with spectra which have a relatively small number of lines. Important laws have

been found which include most of the lines in these spectra, but in nearly all cases there remain some prominent lines whose relation to the regular series is not yet clear. It seemed possible that the careful study of a spectrum rich in lines would lead to the discovery of new or more general laws than those which have been found for elements comparatively poor in lines, and so enable us to classify many other spectra, and at the same time to interpret the lines which at present remain unclassified in those spectra with fewer lines. It was with this object that the present work was undertaken.

The spectrum of manganese was chosen, because there were already some indications of series in this spectrum, analogous to those found in other elements, and it would naturally seem to make a good starting point.

The results obtained have exceeded expectations. The study of the manganese spectrum has not only led to an interpretation of this spectrum itself, but has also indicated new view-points that will probably aid in the analysis of other spectra containing many lines, as well as of the unclassified lines in spectra for which the series are best known. The detailed evidence is set forth in the pages which follow.

2.—BIBLIOGRAPHY.

The spectrum of manganese has been much studied. KAYSER* has summarised the work published previous to 1910. FUCHS† has remeasured the arc spectrum, from $\lambda 2289$ to $\lambda 7070$, giving wave-lengths in Å. to the third decimal place and has summarised the work during the period 1910 to 1915. TAKAMINE and NITTA‡ have measured the spark spectrum, from $\lambda 1842$ to $\lambda 2000$. RANDALL and BARKER§ have published infra-red measures of the arc spectrum, from $\lambda 8672$ to $\lambda 17609$, on the Rowland scale. MEGGERS and KIESS¶ have given wave-lengths in Å., to the second decimal place, from $\lambda 5500$ to $\lambda 9600$. HEMSALECH¶¶ has studied the character of the light-radiations emitted by the vapour of manganese under selective actions of thermo-chemical and thermo-electrical excitations. Lately, while this investigation was in progress, the work of KING** on the variation with temperature of the electric furnace spectrum of manganese came to hand.

3.—EXPERIMENTAL PROCEDURE.

The following instruments have been used in the present work: (1) A spectrograph of the "Littrow" form having a glass prism, giving a linear dispersion of 16Å. per mm. at $\lambda 6300$ and 5.5Å. per mm. at $\lambda 4700$.

* 'Handbuch der Spectroscopic,' vol. 5, p. 726 (1910).

† 'Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 14, pp. 239-248 and 263-280 (1915).

‡ 'Mem. College of Science,' Kyoto University, vol. 2, p. 131 (1917).

§ 'Astroph. Journ.,' vol. 49, p. 59 (1919).

¶ 'Sc. Papers, Bureau of Standards,' No. 372 (1920).

¶¶ 'Phil. Mag.,' vol. 40, p. 296 (1920).

** 'Astroph. Journ.,' vol. 53, p. 133 (March, 1921).

(2) A "Littrow" spectrograph with quartz prisms. The linear dispersion is 12 Å. per mm. at 24000, 4.5 Å. per mm. at 23000 and 2 Å. per mm. at 22300.

(3) A concave grating of 10 feet radius having 14,438 lines per inch. The length of the ruled surface is 3.5 inches. This grating is arranged with the Abney mounting, giving a normal dispersion of 5.5 Å. per mm. in the first order. Photographs have been made in the first, second, and third orders.

The flame-arc, arc, and spark have been used as sources. For the arc, two electrodes of metallic manganese were found to be unsatisfactory because strong enhanced lines appeared mixed with the arc lines; also because the arc is very unsteady, the metal scattering in the air in small burning pieces. Better results were obtained by introducing a lump of manganese chloride (previously melted and desiccated) between carbon poles, the current being obtained from the 110-volt lighting circuit. The arc thus obtained consists of two regions; the inner part is blue-grey and very bright, while the surrounding outer part is green and not so bright. By mixing manganese chloride with sodium chloride and introducing a quantity of this into the carbon arc a very long arc-flame was obtained which was found to be very satisfactory for the detection of flame lines. For the spark spectrum electrodes of metallic manganese about 1 mm. apart were quite satisfactory. The plates used were "Imperial ordinary" for 22400 to 24500. In the green part of the spectrum Marion's "Iso-record" were found to be very sensitive, and for red, Wratten and Wainwright's "panchromatic" were used.

In general FUCHS's measures have been adopted because they were found to be sufficiently accurate. In some cases, however, the measures of KILBY,* or of EXNER and HASCHKE† have been employed. Some new lines have been measured and some existing measures have been amended. For these purposes the spectrum of the iron arc was photographed as a comparison, the wave-lengths being taken from BURNS.‡

The wave-lengths of the manganese lines were corrected to vacuum by the data given by MEGGERS,§ and from these the wave-numbers were calculated by taking reciprocals.

Impurities.—During the present work several lines were found in the tables which seem to be due to impurities, and it may be useful to give a list of them.||

* 'Astroph. Journ.,' vol. 30, p. 243 (1909).

† 'Tabelle der Bogenspectra,' Wien, 1904, and 'Tabelle der Funkenspectra,' Wien, 1902.

‡ 'Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 12, p. 219 (1913), and 'Lick Obs. Bull.,' vol. 8, No. 247 (1913).

§ 'Bureau of Standards, Washington,' No. 327 (1918).

|| In BURNS's tables of the iron spectrum there are also some lines which seem to be due to impurities, namely:—

λ (BURNS).	Int.	Probable Element.	λ (I.A.)	Int.	Remarks.
3395.382	(1)	Co	3395.377	(8)	Wave-lengths by HAMM, measured in the nickel spectrum as impurity lines. ['Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 13, p. 130 (1913).]
3433.049	(2b)	Co	3433.044	(10)	
3443.646	(1)	Co	3443.650	(10)	
3449.447	(1)	Co	3449.446	(10)	Wave-lengths by FUHRMANN. ['Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 17, p. 97 (1917).]
3798.259	(1)	Mo	3798.259	(101)	
3804.110	(1)	Mo	3804.115	(101)	Wave-length by GUNTER. ['Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 13, p. 1 (1913).]
3901.534	(1)	Al	3901.538	(10)	

λ (FUCHS).	Int.	Probable Element.	λ (I.A.).	Int.	λ (FUCHS).	Int.	Probable Element.	λ (I.A.).	Int.
2795.525	(2)	Mg	2795.53	(10)	3961.534	(1)	Al	3961.538	(10R)
2833.056	(1u)	Pb	2833.066	(10R)	3968.471	(1)	Ca	3968.479	(10R)
2839.999	(1)	Sn	2839.985	(10R)	4226.728	(3)	Ca	4226.730	(10R)
3247.545	(2)	Cu	3247.552	(10R)	4302.527	(2)	Ca	4302.528	(10R)
3349.406	(1)	Ti	3349.409	(10R)	5183.625	(1)	Mg	5183.60	(10R)
3361.215	(1)	Ti	3361.219	(10R)	5889.929	(1)	Na	5889.965	(10R)
3371.458	(1)	Ir	3371.460	(8)	5895.924	(1)	Na	5895.932	(10R)
3502.289	(1)	Co	3502.285	(10R)	6122.248	(2)	Ca?, Co?	6122.24	(10)
3683.473	(1)	Pb	3683.474	(6R)	6162.199	(1)	Ca?, Co?	6162.18	(9)
3798.262*	(1)	Mo	3798.259	(10R)	6384.687	(3)	Ni	6384.690	(5u)
3864.107*	(3)	Mo	3864.115	(10R)	6707.836	(4)	Li	6707.82	(10R)
3933.663	(1)	Ca	3933.674	(10R)					

4.—THE SPECTRUM OF THE NEUTRAL ATOM OF MANGANESE.

According to BOHR's theory, all series lines which follow a formula of the type

$$\nu = A - N/[f(m)]^2,$$

in which N has nearly the same value as that deduced from the hydrogen series, namely

$$N = \frac{2\pi^2 e^2 m}{ch^3} e^2,$$

are produced under a comparatively low stimulus by the quantum changes of orbit of the outermost electron, the nucleus and the remaining electrons behaving as a simple positive charge. These lines include the flame lines and the majority of the lines which occur in the arc. This spectrum will be regarded as the spectrum of the *neutral atom*.

There is another spectrum constituted of lines which are only developed, or are developed with maximum intensity, when more violent methods of excitation are used. This spectrum consists of the enhanced lines, which relatively increase in strength in passing from the arc to the spark. FOWLER† has shown that these lines form series of Rydberg type, but in the formula the constant " N " must be changed to " $4N$." According to BOHR's theory this spectrum is emitted by the quantum changes of orbit of the now outermost electron of an atom which has lost an electron, the nucleus and the remaining electrons then behaving as a double positive charge, so that the constant becomes

$$\frac{2\pi^2 e^2 m}{ch^3} (2e)^2 = 4N.$$

This spectrum will be regarded as originating in the *ionised atom*.

* These lines are not found in FUCHS's tables, but are given by KITBY.

† 'Phil. Trans.,' A, vol. 214, p. 225 (1914).

(a)—The Ordinary Triplet System and Combination Lines.

In the arc spectrum of manganese KAYSER and RUNGE* found five triplets with separations about 173 and 129, and arranged them in two series, one sharp and one diffuse. The formulæ given by these observers were

$$\nu = 41223 \cdot 86 - 125229n^{-2} - 1377549n^{-4}; \text{ (Diffuse series)}$$

$$\Delta\nu_1 = 172 \cdot 07; \Delta\nu_2 = 129 \cdot 14;$$

$$\nu = 41222 \cdot 15 - 119890n^{-2} - 580770n^{-4}; \text{ (Sharp series)}$$

$$\Delta\nu_1 = 173 \cdot 78; \Delta\nu_2 = 129 \cdot 14;$$

An attempt has been made to extend these series, but a considerable difficulty arose from the fact that the manganese spectrum is very rich in lines and that such expected triplets would probably be very faint. Additional triplets, however, have been recognised, as shown in Table I.

Sharp series, 1p-ms.—The first two triplets of this series were traced by KAYSER and RUNGE. The observations of JANICKI† on the structure of the manganese lines show the lines of the first triplet to be quite simple and sharp (see Plate 1, fig. 5). The lines are fairly strong at low temperatures and are present in many other spectra as impurity lines. The three lines were measured in the iron spectrum by KILBY‡ and the wave-lengths in the table have been quoted from his measurements. The wave-lengths for the second member of the sharp series (see Plate 1, fig. 4) entered in the table are quoted from FUCHS.

The first line of the third triplet is doubtful, because it is masked by another line very close to it; the other two lines as measured by FUCHS give the expected separation very accurately. The fourth triplet includes two lines observed by EXNER and HASCHKE and by FURTSCH§ which have now been remeasured; the third line is very faint and has not previously been recorded.

There are three other lines with separations very near to those of the triplet and at a position suitable for the fifth triplet of the sharp series, but the intensities are not in the usual order.

The following HICKS formula has been calculated from the first components of the first three triplets of the sharp series :

$$s(m) = 41217 \cdot 17 - \frac{109678 \cdot 3}{\left[m + 1 \cdot 427114 - \frac{0 \cdot 227155}{m + 1} \right]^2}$$

* 'Abh. Berl. Akad.' (1894).

† 'Ann. d. Physik,' vol. 29, p. 849 (1909).

‡ *Loc. cit.*

§ 'Ann. d. Physik,' vol. 16, p. 793 (1905).

TABLE I.—The Ordinary Triplet Series of Manganese.

PRINCIPAL.—1s—mp.						DIFFUSE.—1p—md.					
1s=20506.13.						1p ₁ =41232.09 1p ₂ =41405.80 1p ₃ =41534.98					
λ.	Int.*	ν.	Δν.	m.	mp _{1,2,3} .	λ.	Int.*	ν.	Δν.	m.	md _{1,2,3,4,5} .
—4823.522	(10R)	—20725.96	173.71	(1)	41232.09	3570.034	(7R)	28092.97	1.85		
—4780.432	(9R)	—20899.67	129.18		405.80	69.798	(9R)	004.82	2.31		
—4754.048	(9R)	—21028.85			534.98	69.499	(10R)	007.16			
15263.1	—	6559.0	—	(2)	13956.1	3548.180	(7.5R)	28176.44	1.24		md ¹ =13224.93
						48.024	(8R)	176.58	1.84	(2)	md ² =227.27
						47.792	(8.5R)	178.52	1.84		md ³ =229.12
7646.34	(3m)	13074.56	9.52		7431.57	3532.110	(8R)	28303.68	0.90		md ⁴ =230.38
51.91	(3m)	65.04	7.38	(3)	41.09	31.990	(7.8R)	364.58	1.27		md ⁵ =231.50
56.24	(2m)	57.66			48.47	31.833	(7.5R)	385.85			
6315.064	(2)	15830.78	—	(4)†	4675.35	2940.51	(7m)	33997.8	173.4	(3)	7234.7
						25.59	(6m)	34171.2	128.6		
						14.62	(6m)	34299.8			
SHARP.—1p—ms.						2726.15	(4m)	36670.9	173.1	(4)	4561.8
1p ₁ =41232.09	1p ₂ =41405.80	1p ₃ =41534.98				13.35	(3m)	844.0	128.6		
						03.98	(3m)	972.6			
λ.	Int.	ν.	Δν.	m.	ms.	2624.80	(2)	38086.7	174.1	(5)	3145.3
4823.522	(10R)	20725.96	173.71	(1)	20506.13	12.86	(2)	260.8	128.6		
4783.432	(9R)	20899.67	129.18			04.41§	(1)	389.4			
64.048	(9R)	21028.85				FUNDAMENTAL.—2d—mf.					
						2d ¹ =13224.93.					
3178.608	(6)	31452.24	173.63	(2)	9779.80	λ.	ν.	m.	mf.		
81.056	(5)	625.87	129.22			15964.9	6262.0	(3)	6962.9		
48.192	(4)	765.09				11377.0	8786.6	(4)	4438.3		
2818.09†	(3)	35474.8	173.5	(3)	6757.4	COMBINATION LINES.					
04.35	(2)	648.3	129.2			λ.	Int.	ν.	ν calc.		
2794.23	(2)	777.5				3664.624	(1)	27280.18	1p ₁ —2p=27276.0		
2670.22†	(2)	37439.0	173.8	(4)	3793.1	3642.662	(1)	27414.65	1p ₂ —2p=27449.7		
67.88†	(1)	612.8	129.0			7383.59	(1)	13539.82	1s—3f=13543.2		
48.79§	(1)	741.8									
2696.77	(4)	38512.7	173.7	(5)†	2741.4						
84.12	(3)	686.4	129.2								
76.61	(5)	815.6									

* In this column, R=reversed, n=nebulous.

† This line is masked by another line very close to it.

‡ Observed by EXNER and HASCHKE and by FRETSCH; now remeasured.

§ Observed by the Author.

|| Remeasured in third order spectrum by the Author.

The residuals given by this formula in ν observed $-\nu$ calculated are

$$\begin{array}{cccccc} m = & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 ? \\ \nu(O-C) = & +0.01 & 0.00 & +0.01 & +8.76 & +17.51 ? \end{array}$$

It is interesting to note that the members of this series are not far removed from the corresponding members of the sharp triplet series of magnesium, the terms being closely similar in the two series.

Diffuse series, 1p—md.—KAYSER and RUNGE traced the first three members of this series, as shown in Table I. The first in their list was composed of three lines, $\lambda\lambda 3569.95, 3548.16$ and 3531.95 (Rowland scale), and it was remarked that the triplet was possibly more complex. There are in fact six other lines close to these three which must certainly be considered to form part of the diffuse triplet. The wave-lengths given for these lines by different observers differ considerably, as will be seen from Table II. A difficulty is caused by the fact that the lines are grouped together in sets of three, and in each set the lines are very close together; also the lines are very diffuse and with a strong tendency to reversal, so that their resolution is difficult. In a further attempt to improve the measures the best results were obtained in the third order spectrum, using the arc between carbon poles with a small quantity of manganese salt in order to prevent the reversal of the lines by the vapour round the crater. The results are shown in Plate 1, fig. 2. The original photograph is here enlarged about 12 diameters, but as the distances between the three sets are relatively very large, the groups are not shown in their true positions in the Plate, but are placed at distances proportional to their real separations.

The wave-lengths of these lines have been measured, and the results are compared with the values given by other observers in Table II.

TABLE II.—Wave-lengths of Components of First Diffuse Triplet.

λ CATALÁN. Int.	λ KILBY. Int.	λ FUCHS. Int.	λ E. & H.* Int.	λ BURNS.†	λ HAMM.‡	λ ROWLAND (in sun).§
3570.034 (7R)	.061 (4)	.101 (4)	.02 (4)	.024	.020	.033 (4)
69.798 (9R)	.796 (8)	.799 (8R)	.80 (10R)	—	—	.808 (2)
69.499 (10R)	.485 (5)	.495 (6R)	.46 (15R)	—	—	.499 (4)
48.180 (7½)	.187 (4)	.186 (4R)	.18 (4R)	—	—	.182 (5)
48.024 (8)	.025 (4)	.022 (4R)	.03 (10R)	.024	.020	.025 (3)
47.792 (8½R)	.790 (5)	.792 (5R)	.76 (10R)	—	.793	.791 (5)
32.110 (8½)	.128 (5)	.109 (5½)	.20 (5½)	—	—	.112 (3)
32.990 (7½R)	3.002 (5)	2.999 (5½)	2.94 (3)	—	—	2.993 (4)
31.833 (7½)	.839 (5)	.838 (4½)	—	—	—	.832 (3)

* EXNER and HASCHKE, corrected from Rowland scale to I.A.

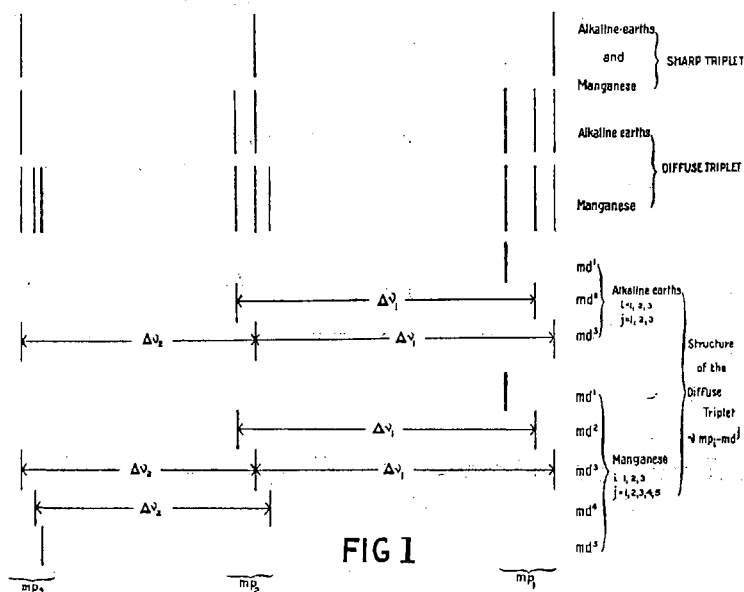
† BURNS's measures in the arc spectrum of iron, 'Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 12, p. 233 (1913).

‡ HAMM's measures in the arc spectrum of nickel, 'Zeit. f. Wiss. Phot.,' vol. 13, p. 130 (1914).

§ Measures of the corresponding Fraunhofer lines, corrected to I.A.

It will be noted that the new measures are in close accordance with those given by ROWLAND for the solar lines. The chief exception is the second line, differing by 0.010A., but the new measure agrees with the values given by KILBY and others. The lines $\lambda\lambda 3548.024$ and 3547.792 have nearly the same values in all the measures, but the remaining lines show considerable discordances.

The wave-numbers calculated from the new wave-lengths are stated in Table I. It will be seen that the separations of the first and fifth and of the fifth and ninth are practically identical with those of the first sharp triplet, $s(1)$, and that the same two intervals separate the second and sixth and the fourth and eighth lines. The diagram (fig. 1) illustrates these relations and shows also, for comparison, a diffuse triplet typical



of alkaline-earth spectra. For clearness, the distances between the satellites have been magnified in the diagram, but their proportionality has been retained. For the same reason the diffuse triplet representing the alkaline-earth spectra is not an actual triplet, but has been drawn with arbitrary separations in order to make clearer the relation with manganese. The thicknesses of the lines are approximately proportional to the relative intensities. The structures of the two types of diffuse triplet are further shown by the analysis in the lower part of the diagram. The symbols $\Delta\nu_1$ and $\Delta\nu_2$ here represent the larger and smaller separations of the sharp triplet. The terms shown

on the right of the diagram are those which originate the lines by combination with the terms indicated at the bottom. It is to be noted that in manganese the diffuse term has five values, as compared with three in the case of the more familiar triplets. All the possible combinations of the terms mp and md , however, do not occur as real lines. If for simplicity, j, i , denote the combination $mp, -md$, the lines which actually appear have the following values of j, i :—

<i>Alkaline-carths.</i>	<i>Manganese.</i>
3,1	3,1 4,1 5,1
2,2 3,2	2,2 3,2 4,2
1,3 2,3 3,3	1,3 2,3 3,3

Thus, using the actual values of the wave-numbers, the first diffuse triplet of manganese may be represented as follows :—

	(74R)		(81R)		(81L)
	28305·85	1·27	28304·58	0·90	28303·68
	129·17		129·14		
(841L)			(81L)		(741L)
28178·52	1·84	28176·68	1·24	28175·44	
173·70		173·71			
(101L)		(91L)		(7R)	
28007·16	2·34	28004·82	1·85	28002·97	

The numbers in brackets represent the relative intensities of the lines, and those in italics the differences between the wave-numbers.

It will be observed that the most intense line is the combination 1,3, the faintest line is 3,3, and also that 5,1 is more intense than 3,1.

The lines of the second and third triplets in the diffuse series are broad and probably complex, but they have not been resolved. The values in Table I. are quoted from FUCHS's measures. There are two other lines in the tables which give the separation $\Delta\nu$, and these with another faint line, now measured for the first time, constitute the fourth diffuse triplet.

The first lines of the first three members of the diffuse series give the following formula :—

$$\bar{\nu}^3(m) = 41247\cdot01 - \frac{109678\cdot3}{\left[m + 0\cdot913578 + \frac{0\cdot071699}{m}\right]^2}$$

The residuals are :—

$m =$	2	3	4	5
$\nu(O-C) =$	-0·01	0·00	0·00	+18·70

VOL. CCXXIII.—A.

U

In Table I., the adopted value of $1p_1$ is the mean of the limits deduced from the sharp and diffuse series; thus

$$\left. \begin{array}{l} \text{Calculated limit of diffuse series: } 41217.17 \\ \text{Calculated limit of sharp series: } 41247.01 \end{array} \right\} \text{mean value } 41232.09 = 1p_1,$$

and, taking $\Delta\nu_1 = 173.71 = 1p_2 - 1p_1$ and $\Delta\nu_2 = 129.18 = 1p_3 - 1p_2$, the values $1p_2 = 41405.80$ and $1p_3 = 41534.98$ are obtained. The values of the terms $2s, 3s, \dots$ and also $3d, 4d, \dots$, shown in Table I., are the respective differences between these limits and the wave-numbers of the observed lines. The value $m = 2$ has been assigned to the first observed diffuse members as indicated by the formula, and also from analogy with the diffuse series of magnesium, in which the limits and terms are very similar.

Principal series, $1s - mp$.—The first member of this series is, of course, the first member of the sharp series taken with negative sign. Since $1p$ is known, a rough value of the term $2p$ can be calculated from RYDBERG'S* tables, and as the limit $1s$ of this series is known, the value of $p(2)$ can be obtained approximately. As $1p_1 = 41232.09$, $2p_1$ from RYDBERG'S tables is about 14200 and $1s - 2p_1$ is about 16500. The second member of the principal series should be a triplet with smaller separations than $\Delta\nu_1$ and $\Delta\nu_2$. There are several lines in the infra-red but no triplet at all suitable to be $p(2)$. The strong line 15263.1 or 16550.0, however, has been adopted as the probably unresolved triplet in question. The third member of the principal series must be expected, from RYDBERG'S tables, to be near 17650. In MEGGERS and KIESS'S measures there are three lines of the same character forming a triplet with appropriate intensities and separations which has been adopted as $p(3)$. There is another line, 16315, which falls in series with the above and has been included as possibly representing the next member. There is, however, no strong evidence to support the arrangement of the principal series as here suggested. As in magnesium, it is not to be expected that the intensities in the principal series will be at all comparable with those in the principal series of the alkali elements.

Fundamental series, $2d - mf$.—The limit of this series is the variable part or "term" of the first member of the diffuse series. In the alkaline-earths the three elements calcium, strontium, and barium which possess the term $1d$ have very strong series, $1d - mf$, and also a weak parallel series, $2d - mf$. On the contrary, magnesium, which apparently has no term $1d$, has only a relatively weak series, $2d - mf$. By analogy, as the term $1d$ has not been found in manganese, only a series $2d - mf$ is to be expected. As a matter of fact in all spectra the terms $3f$ and $4f$ ($1f$ and $2f$ never appear) have values close to 6950 and 4420 respectively. In manganese it is therefore to be expected that the lines $2d - 3f$ and $2d - 4f$ will be not far from $2d - 6950 = 16279$ and $2d - 4420 = 18800$. In the infra-red the lines nearest to 16279 are 16550.0, 6262.0, and 5767.0, but neither

* 'Kgl. Svenska Vetensk. Akad. Handl.,' vol. 23, No. 11, and also A. DEL CAMPO and M. A. CATALÁN, 'Anales Soc. Esp. Fis. y Quim.,' vol. 18, p. 118 (1920).

6550 nor 6767 give a value of $3f$ near 6950. For this reason the very strong line 6262, i.e. 115964.9 (value of RANDALL and BARKER corrected to I.A.), has been selected for $f(3)$. Near 8807 there is only one line, relatively faint, at 111397.9 or 8786.6, and it is suitable for $f(4)$.

If it is supposed that 6262.0 and 8786.6 are two consecutive members of a series, the approximate limit of this series may be calculated from RYDBERG's tables, giving a value 13233. This is very close to the adopted value $1d = 13225$ and supports the earlier conclusions. An objection may be raised that the f series must be complex, because the diffuse term is quintuple. But this objection can hardly be maintained when it is considered that the components of the members of this series would be very close together, and very probably are unresolved in the infra-red observations.

Combination lines in the triplet system.—Following RTZ's principle, the terms of the main series can be combined in various ways, and other series of lines are then obtained which are called "combination series." In the present case only series with limits $1p$, $2p$, $2d$, and $1s$ are to be expected, because the other terms are too small to serve as limits of series in the observed region. In some spectra the combination series $1p - mp$ is fairly strong, but in the alkaline-earths it is very faint. In manganese two lines are found, given in Table I., which correspond approximately with the combinations $1p_1 - 2p$ and $1p_2 - 2p$. As the term $2p$ must be triple it must not be expected to give very concordant results. Another combination series, fairly strong in some spectra, is $1d - mp$, but as the term $1d$ has not been found in manganese this series is not likely to be present. The series $2d - mp$ is out of the range photographed; and $2d - 3p$ may be too faint for infra-red measures. Most of the remaining possible combinations are probably absent for similar reasons. The combination $1s - 3f$, however (see Table I.), may possibly be present. The agreement of the calculated and observed values of this line is fairly good, if it is remembered that the term $3f$ has been calculated from a line which is probably complex and unresolved. Further, in the spectrum of magnesium, in which the terms are very similar to those of manganese, the number of combination lines is also very small.

(b)—*The Intercombination Lines $1S - 1p_2$ and $1S - 1p_3$.*

In the arc spectra of the alkaline-earth elements, in addition to triplet series, there are series of singlets and also certain "intercombination" lines, which are formed by terms from the triplet series combined with terms from the singlet series. Special attention must be given to the intercombination lines $1S - 1p_2$ and $1S - 1p_3$. It is very important to note that the combination line $1S - 1p_1$ never appears and that the line $1S - 1p_2$ is always stronger than $1S - 1p_3$, and further that the line $1S - 1p_2$ often occurs alone. This line has important characteristics. In magnesium, the line (24571) has long been recognised as being especially characteristic of the flame, and KING* has

* 'Astroph. Journ.', vol. 48, p. 13 (1918).

lately shown that it is strongly developed in the electric furnace spectrum at the lowest temperature. It seems that this condition of low temperature is valid for the appearance of the line in other elements. This line $1S-1p_2$ is also the "resonance line" in magnesium,* calcium,† and other elements.

Considering the above data, if the lines $1S-1p_{2,3}$ are expected in the manganese spectrum, two lines, strong at low temperatures and with separation about $129\cdot17$, are to be looked for. The appropriate lines were first recognised in visual observations of the long flame of an arc in which a liberal supply of manganese chloride was maintained on carbon poles. In the visual part of the spectrum there were usually many lines which remained strong in the flame, but occasionally there were only two, namely :—

λ (Fuchs).	Int.	r .	Δr .
5394·677	(7)	18531·65	$129\cdot20$
5432·555	(5)	18402·45	

An attempt was made to photograph the spectrum when only these two lines were present, but the instability of the flame made it very difficult. However, by mixing the manganese chloride with sodium chloride, a method previously adopted by FOWLER‡ for obtaining arc-flame spectra; satisfactory photographs were obtained.

The results are shown in Plate 2, fig. 1, in which (a), (b), and (c) represent three successive stages of temperature. (a) is the ordinary arc spectrum, (b) is the spectrum of the middle part of the flame-arc, and (c) is the spectrum of one side of the flame-arc. The exposures, in the first order of the 10-ft. concave grating, were 1 minute, 8 minutes, and 20 minutes respectively. The three photographs were taken with Marion's "Iso-record" plates. In (c) it is evident that the only manganese lines present are $\lambda 5394\cdot7$ and $\lambda 5432\cdot6$, the line $\lambda 5341\cdot1$, which appears very strongly in (a) and in (b), having quite disappeared in (c). In (b) and (c) another strong line§ appears, but it is an impurity line due to barium, $\lambda 5535\cdot53$.

Confirmation of the above conclusions may be found in earlier observations. Thus LOCKYER|| observed the line $\lambda 5395$ in the Bunsen flame spectrum of manganese, and the lines $\lambda 5395$ and $\lambda 5433$ were both noted by HAGENBACH and KONEN.¶ The same two lines also appear in the flame spectrum of manganese in EDER and VALENTA's** atlas of spectra.

* MOHLER, FOOTE, and MEGGERS, 'Bur. of Standards,' vol. 15, p. 734 (1920).

† MOHLER, FOOTE, and SRIMESON, 'Phil. Mag.,' vol. 40, p. 73 (1920).

‡ 'Phil. Trans.,' A, vol. 209, p. 52 (1908).

§ This line represents in barium the first member of the principal series of singlets, $1s-1p$.

|| 'Roy. Soc. Proc.,' vol. 43, p. 117 (1887).

¶ 'Atlas der Emissions-Spektren,' Jena (1905).

** 'Atlas Typischer Spektren,' Tafel VIII-6, Wien (1911).

When these conclusions were arrived at, the publication of KING,* "On the Variation with Temperature of the Electric Furnace Spectrum of Manganese," came to hand. It will be interesting to quote the following remarks (p. 142): "25433 and 25395 are remarkable by their strength at low temperature. 25341 is stronger than either of these at high temperatures but falls off rapidly below 2000°. The temperature of the furnace, especially in the lower range, may be closely gauged by the relative intensity of 25341 as compared with 25395 and 25433." These results are in perfect agreement with those arrived at above.

From all these facts the conclusion may be drawn that the lines 25395 and 25433 represent in manganese the inter-combination lines $1S-1p_{2,3}$. As the values of $1p_2$ and $1p_3$ are known from the ordinary triplet series, $1S$ can be calculated. Thus,

$$\left. \begin{array}{l} 1S - 1p_2 = 18531 \cdot 65; \quad 1S = 18531 \cdot 65 + 41405 \cdot 80 = 59937 \cdot 45 \\ 1S - 1p_3 = 18402 \cdot 51; \quad 1S = 18402 \cdot 51 + 41534 \cdot 98 = 59937 \cdot 49 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{mean value} \\ 59937 \cdot 47 = 1S. \end{array}$$

The value of $1S$ thus determined forms the starting point for the investigation of the singlet system.

(c)—*The Two Parallel Systems of Narrow Triplet Series and their Analogies with the Singlet Systems of Series in the Alkaline-earths.*

Naturally the first line to be looked for in the singlet system of series must be the first member of the principal series, $1S-1P$. This line has characteristic properties, as known in other elements. It is extremely persistent at low temperatures; in the arc spectrum it is very easily and strongly reversed. If an element is present as an impurity in another, in very small quantity, the most likely line to appear is $1S-1P$. In many elements $1P$ has a value not far from 24000, and a rough value of $1P(1)$ may therefore be calculated as follows, using the approximate value for $1S$ of 60000 already mentioned:—

$$60000 - 24000 = 36000 \quad \text{or} \quad 22780.$$

There is no single line at all in this part of the spectrum with the properties above mentioned; but very close to 22780 there is a strong reversed triplet, namely:—

λ (Fuchs).	Int.	ν .	$\Delta\nu$.
2794·822	(10R)	35769·94	
			44·12
2798·273	(9R)	725·82	
			35·75
2801·076	(8R)	690·07	

In Plate 2, fig. 4, this triplet is shown, from a photograph in the second-order spectrum with a very narrow slit, as three strong reversed lines. The lines of this triplet are

* 'Astroph. Journ.,' vol. 53, p. 133 (March, 1921).

found as impurity lines in many other spectra, and it was felt, from the first, that they represented the member 1S-1P in the manganese spectrum. But here the term 1P is triple, whereas in alkaline-earth spectra it is single. The line 1S-1P is found in magnesium not very far from the position of the above triplet, at 22852. If considered as the first member of the S series the line has a negative wave-number. Thus in manganese, if this line is represented by a triplet it will probably also be negative; that is, the faintest line and the smaller separation will be on the red side, and actually the above triplet 22795, 2798, 2801 is negative. Regarding this triplet as the first member of a sharp series, additional triplets of the sharp series with separations 44.1 and 35.8 would be expected.

PAULSON,* in his work on constant differences, has drawn attention to the separation 35.8 as found twice in the manganese spectrum (once already used in the above triplet). MEGGERS and KIESS† have also found this separation twice in the extreme red.

The possible association of 44.1 with 35.8 was therefore tested, with the following results:—

λ (MKG. & K.)	Int.	ν .	$\Delta\nu$.
7326.55	(7)	13645.25	44.13
7302.92	(6)	689.38	35.95
7283.80	(6)	725.33	
λ (FUCHS).			
5457.468	(1)	18318.44	44.11
70.640	(8)	274.33	35.85
81.395	(6)	238.48	

The intensities of the lines of the second triplet are not in the usual order, but the separations are very satisfactory. It will be shown later that these three lines form part of a more complex group.

The remaining separation of 35.8 given by PAULSON for the lines 225517, 5506, is definitely not associated with a separation 44.1. It will be shown later that these lines form part of the same complex group as the preceding triplet.

Another triplet with separations 44.1 and 35.8 has also been found, namely:—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	$\Delta\nu$.
6605.546	(3)	15134.62	44.17
6586.357	(2)	178.79	35.80
6570.830	(2)	214.59	

* 'Astroph. Journ.', vol. 40, p. 300 (1914).

† 'Sc. Papers, Bureau of Standards,' No. 372 (1920).

The intensities and the separations are thus normal.

If it be supposed that the triplet $\lambda\lambda 2795, 2798, 2801$ is $1S-1P_{1,2,3}$, the calculated values of $1P_1$, $1P_2$, and $1P_3$ will be as follows :—

$$35769.94 = 1S - 1P_1; \quad 1P_1 = 24167.53$$

$$725.82 = 1S - 1P_2; \quad 1P_2 = 211.65$$

$$690.07 = 1S - 1P_3; \quad 1P_3 = 247.40$$

But all triplets with separations 44.1 and 35.8 must be combinations of terms $1P_1$, $1P_2$, and $1P_3$, with unknown terms x, y, z, \dots . Calculating these terms for the triplets mentioned above the results are :—

$$\left. \begin{array}{l} 15134.62 = 1P_1 - x; \quad x = 9032.91 \\ 178.79 = 1P_2 - x; \quad x = .86 \\ 214.59 = 1P_3 - x; \quad x = .81 \end{array} \right\} \text{mean value } x = 9032.86.$$

$$\left. \begin{array}{l} 13645.25 = 1P_1 - y; \quad y = 10522.28 \\ 689.38 = 1P_2 - y; \quad y = .27 \\ 725.33 = 1P_3 - y; \quad y = .07 \end{array} \right\} \text{mean value } y = 10522.21.$$

The terms $1S = 59937.47$ and $x = 9032.86$ may be, from RYDBERG's tables, two non-consecutive terms of the same series, having between them another term with approximate value 18500. The line corresponding to this term would be

$$24200 - 18500 = 5700 \quad \text{or} \quad \lambda 17540.$$

RANDALL and BARKER, in their measures of the infra-red spectrum of manganese, give a strong line (the longest wave-length given in their tables) at $\lambda 17607.5$ (corrected to I.A.) or $\lambda 5677.9$. This line is provisionally adopted as $S(2)$, and strong evidence supporting this assignment will be given later.

The term $y = 10522.21$ may be a diffuse term, probably $3D$.

These conclusions are summarised on the left in Table III.

There are two well-known narrow triplets of manganese which next call for consideration. Their wave-lengths and wave-numbers are :—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	$\Delta\nu$.
4030.760	(10)	24802.23	
			14.22
33.074	(9)	788.01	
			8.70
34.489	(9)	779.31	
6021.787	(10)	16601.78	
			14.21
16.636	(9)	615.99	
			8.72
13.484	(9)	624.71	

The first triplet has the same properties as $1S-1P_{1,2,3}$. It is a negative triplet, it is very strong in the flame, and in the arc it is usually reversed, as shown in Plate 1, fig. 1. It will be of interest to quote the following remarks from KING's work (p. 142): "The prominent low temperature group between 24000 and 24100 contains a very sensitive triplet $\lambda\lambda 4031, 4033, 4034$. These lines are of extreme persistence, occurring very generally as impurity lines in arc spectra. Their intensity in the furnace spectrum seems to depend very largely on the vapor density, and with an ordinary charge of manganese present they are always widely reversed. . . . The intensities of this triplet given in the table therefore signify little relatively to the general run of manganese lines. At low temperature with very much vapor present they can be made much stronger than at high temperature with less vapor." At 1560°C . "the lines of the triplet are strong and well reversed. Evidently they are emitted at a considerably lower temperature than that used here."

The difference between the wave-numbers of the first lines of this triplet and that at $\lambda\lambda 2795, 2798, 2801$ (adopted as $1S-1P_{1,2,3}$) is

$$35769\cdot94 - 24802\cdot23 = 10967\cdot71.$$

It is very nearly the same as that between the line adopted as $S(2)$ and the first line of the strong red triplet at $\lambda 6022$ (see Plate 1, fig. 5): thus

$$16601\cdot78 - 5677\cdot9 = 10923\cdot9.$$

To determine whether this was or was not a mere coincidence, the difference $10967\cdot7$ was tested with all triplets which have separations $14\cdot1$ and $35\cdot8$ and the following interesting results were obtained. The first line of the triplet at $\lambda 6606$ gives

$$15134\cdot02 + 10967\cdot7 = 26102\cdot3 \quad \text{or} \quad \lambda 3829\cdot99.$$

There is a line, measured now for the first time, $\lambda 3829\cdot987$ (2), and two more lines not previously recorded, which give the following triplet:—

λ (CATALÁN).	Int.	v .	Δv .
$\lambda 3829\cdot987$	(2)	$26102\cdot37$	
$27\cdot904$	(1)	$116\cdot57$	$14\cdot20$
$26\cdot698$	(1)	$125\cdot28$	$8\cdot71$

It is evident that these separations are the same as those of the triplet $\lambda\lambda 4031, 4033, 4035$.

The first line of the narrow triplet at $\lambda 7327$ gives

$$13645.25 + 10967.7 = 24613.0 \quad \text{or} \quad \lambda 4061.74.$$

There is actually a line at $\lambda 4061.744$ and two more forming the following triplet :—

λ (vacuum).	Int.	ν .	$\Delta\nu$.
4061.744	(3)	24613.03	
59.399	(2)	627.26	14.23
57.959	(2)	635.99	8.73

These three lines are mixed with many others, but KING's observations show that they belong to the temperature class IV. or V., while the adjacent lines belong to class I. or II. This triplet is shown in Plate 1, fig. 1.

The above considerations show that each triplet with separations 44.1 and 35.8 has a corresponding triplet with separations 14.2 and 8.7, and between the first lines of the triplets there is a difference very close to 10967.7.

The possibility that one of these series with separations 14.2 and 8.7 might be an F series was considered, but soon abandoned because there is no reason to expect an F series to be parallel to the series with separations 44.1 and 35.8. Further, it is not possible to suppose that the series with separations 14.2 and 8.7 are combination series like $2P_{1,2,3} - mS$ or $2P_{1,2,3} - mD$ because $2P_{1,2,3}$ would then be greater than $1P_{1,2,3}$. Hence it must be accepted that in manganese there are two systems of narrow triplet series displaced from each other by a quantity $C = 10967.7$. It is curious to note that this separation is very close to 1/10 of the RYDBERG constant 109678.3.

In Table III. the series with separations 14.2 and 8.7 are summarised and are compared with the other parallel series.

A general view of the series in manganese is given in fig. 2, in which each line represents a triplet.

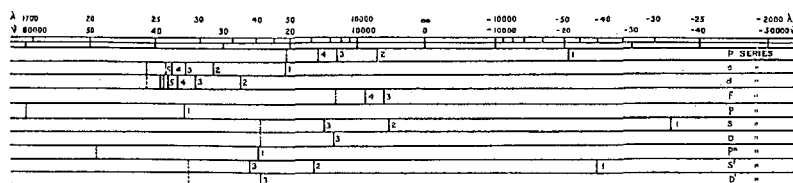


Fig. 2.

TABLE III.—The Two Parallel Systems of Narrow Triplet Series.

Principal 1S—mP. 1S=59937·47.						Principal 1S—(mP+C).					
λ .	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	m.	$mP_{1,2,3}$.	λ .	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	m.	Shift Number C.
2794·822	(10)	35769·94	44·12	(1)	24167·53	4030·760	(10)	24802·23	44·22	(1)	10967·71
2798·273	(9)	725·82	35·75		211·65	33·074	(9)	788·01	8·70		
2801·076	(9)	690·07			247·40	34·489	(9)	779·31			
Sharp 1P—mS. 1P ₁ =24167·53 1P ₂ =24211·65 1P ₃ =24247·40						Sharp (1P+C)—mS. 35155, 24 35 194, 44 35 158, 16					
λ .	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	m.	mS.	λ .	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	m.	
—2794·822	(10)	—35769·94	44·12	(1)	59937·47	—4030·760	(10)	—24802·23	44·22	(1)	10967·71
—2798·273	(9)	—725·82	35·75			—33·074	(9)	—788·01	8·70		
—2801·076	(9)	—690·07				—34·489	(9)	—779·31			
17607·5		(5644·0)* (5678·1) (5714·0)	44·1 35·8	(2)	18533·50	6021·787	(8)	16601·78	44·21	(2)	10967·75†
						16·636	(8)	615·99	8·72		
						13·489	(7)	624·71			
6605·546	(3)	15134·62	44·11	(3)	9032·89	3829·987‡	(2)	26102·37	44·20	(3)	10967·75
6586·357	(2)	178·79	35·80			27·904‡	(1)	116·57	8·71		
6570·830	(2)	214·59				26·628‡	(1)	125·28			
Sharp Diffuse 1P—mS. (4) 5478 1P ₁ =24167·53 1P ₂ =24211·65 1P ₃ =24247·40						3370, 2 61 2945, 1 14, 2 6 5478 (1) (2) (3) (4) Diffuse (1P+C)—mD.					
λ .	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	m.	mD.	λ .	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	m.	
7326·55	(7)	13645·25	44·13	(3)	10524·27	4061·744	(3)	24613·03	44·23	(3)	10967·78
7302·92	(6)	689·38	35·95			59·399	(2)	627·26	8·73		
7283·80	(6)	725·33				57·959	(2)	635·99			

* This triplet has been calculated from the red triplet $\lambda\lambda 6022, 6017, 6013$ and the shift number $C=10967·75$. The strong infra-red line given by RANDALL and BARKER as $\lambda 17607·5$ (I.A.) or $\nu 5677·9$ agrees very well with the second calculated line $\nu 5678·1$, but it is probable that the actual line $\nu 5677·9$ represents the triplet unresolved in infra-red measures.

† Used for calculation of the triplet in the infra-red.

‡ Lines not previously recorded.

(d)—The Resonance and Ionisation Potentials of Manganese.

A schematic representation of the possible orbits of the displaced electron in the manganese atom, as illustrated in fig. 3, can be constructed from the terms of the

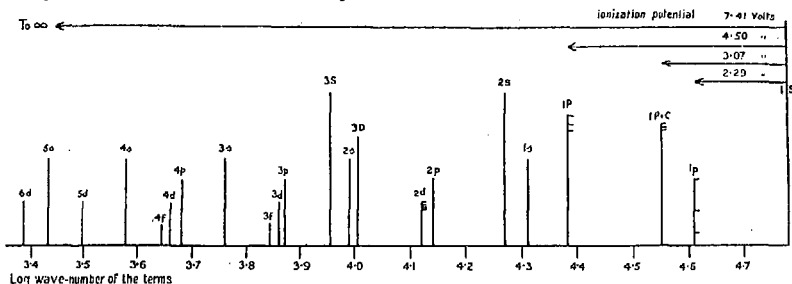


Fig. 3.

spectral series, adopting the method of BURGE.* The only modification here introduced has been to represent the terms which have triple or quintuple values by the first of the values, with the addition of horizontal short lines at distances apart proportional to the differences of the different values, thus giving an approximate idea of the separations in the corresponding triplets.

The ionisation potential of manganese has been calculated by the formula†

$$V_i = \frac{c^2 h (1S)}{e} 10^{-8},$$

V_i being the ionisation potential in volts, c the velocity of light, h PLANCK'S constant; and e the charge of an electron.

$$\left. \begin{aligned} c &= 3 \times 10^{10} \text{ cms. sec.}^{-1} \\ h &= 6.55 \times 10^{-27} \text{ erg sec.} \\ e &= 4.77 \times 10^{-10} \text{ e.s.u.} \\ 1S &= 59939.53 \text{ cm.}^{-1} \end{aligned} \right\} V_i = 7.41 \text{ volts.}$$

The resonance potential V_R may be calculated by the same formula, using instead of $1S$ the wave-number of the line $1S-1p_2 = 18531.65$. The value thus obtained is

$$V_R = 2.29 \text{ volts.}$$

The other potentials calculated and given in fig. 3 are for the lines

$$1S-(1P_1+C) = 24802.23 \quad \text{and} \quad 1S-1P_1 = 35769.94,$$

which are 3.07 and 4.50 volts respectively.

* In a paper by MOHLER, FOOT, and STIMPSON, 'Phil. Mag.', vol. 40, p. 73 (1918).

† SOMMERFELD, 'Atombau und Spektrallinien', p. 290 (1921).

These values may be compared with the corresponding values in magnesium,* namely:—

	Magnesium.	Manganese.
Resonance potentials	2.70 volts	2.29 volts.
	—	3.07 „
	4.33 „	4.50 „
1st ionisation potential	7.61 „	7.41 „

The values for magnesium are so close to those for manganese that the strong analogies between the arc spectra of the two elements might well be expected.

(c)—“*Multiplets.*”

Whilst the manganese series of ordinary type were under investigation, it was noted that there was a strong tendency for lines of similar character to appear in groups and that such groups included some of the most intense lines in the spectrum. In the blue region the lines are very numerous, but the nine strongest are apparently grouped together, as will be seen in Plate 2, fig. 2. At first glance, these nine lines present the appearance of a diffuse triplet, but with the satellites in the wrong order. The wavelengths and the wave-numbers are:—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
4455.019	(6)	22440.32	III
55.320	(6)	438.80	III ?
55.820	(5)	436.29	III
57.041	(5)	430.14	III
57.553	(6)	427.56	—
58.263	(6)	423.99	II
60.376	(3)	413.37	—
61.089	(6)	409.84	III
62.033	(8R)	405.85	III

All the separations between these nine lines, taken in pairs, were calculated and it was found that some of them appeared more than once. On the plan adopted for the schematic representation of $d(2)$ (p. 135), the character of the group may be shown as follows:—

		(5)		(6)		(6)
		22436.29	2.51	22438.80	1.42	22440.32
		8.73		8.66		
	(6)	22423.99	3.57	(6)	22427.56	(5)
		14.15		14.19		
(8R)	(6)	22405.05	4.80	(3)	22409.84	3.53
					22413.37	

* FOOTE, MEGGERS, and MOHLER, ‘Phil. Mag.’, vol. 42, p. 1002 (1921).

It is to be noted that the separations $14\cdot79$ and $8\cdot73$ are the same as those of the series of narrow triplets shown on the right in Table III.

As will be seen later there are many "groups" of lines in the manganese spectrum with similar structure to that of the foregoing "group," and for this form of regularity the name "multiplet" is suggested.

The separation $C = 10967\cdot75$ was next tested with the first line of the above multiplet, giving

$$22405\cdot05 - 10967\cdot75 = 11437\cdot30 \quad \text{or} \quad 28740\cdot92$$

In MEGGERS and KLESS's list there is a line at $28740\cdot91$ (3) or $11437\cdot32$, in practically exact agreement with the position calculated. Close to this line there are other lines, among which the following are the most intense:—

λ (Med. and Kt.).	Int.	ν .
8670·85	(2)	11529·71
72·08	(2)	528·09
74·01	(2)	525·53
99·13	(2)	492·24
8701·04	(2)	489·72
03·73	(3)	486·17
34·64	(1)	445·53
37·29	(2)	442·05
40·91	(3)	437·32

These nine lines form the following multiplet:—

	(2)		(2)		(2)
	11525·53	2·56	11528·09	1·62	11529·71
	35·81		35·85		
(3)		(2)		(2)	
11486·17	3·55	11489·72	2·52	11492·24	
	44·12	44·19			
(3)		(2)		(1)	
11437·32	4·73	11442·05	3·48	11445·53	

This multiplet thus shows as the main separations $44\cdot1$ and $35\cdot8$ identical with those of the series shown on the left in Table III.; it is shifted from the multiplet with separations $14\cdot1$ and $8\cdot7$ by $C = 10967\cdot73$, which is identical with the relative displacement of the two series of narrow triplets. The smaller separations, as shown, are probably the same in both multiplets:—

	Separations.			
Blue multiplet	4·80	3·57	2·51	1·42
		3·53	2·58	
Extreme red multiplet . . .	4·73	3·55	2·56	1·62
		3·48	2·52	

The distribution of the intensities is the same in both multiplets, and very much the same as in d (2).

Attention has been drawn (p. 140) to a pair with separation $35\cdot8$ formed from the lines $\lambda\lambda 5517$ and 5506 , and to a triplet with separations $44\cdot1$ and $35\cdot8$ formed from the lines $\lambda\lambda 5481$, 5471 , and 5457 . These could not be directly associated with the triplets given in Table III., because the pair was not associated with a $44\cdot1$ separation and the triplet had not the intensities of the lines in the usual order. This triplet and pair are not far apart and it seemed possible that they belonged to a multiplet analogous to those which have been described, but presenting, in combination with the separations $44\cdot1$ and $35\cdot8$, another set of much larger separations. The five lines may be arranged as below, thus introducing a new separation of $116\cdot96$:—

(6)	(7)
18238·48	116·96 18121·52
35·85	35·86
(8)	(6)
18274·33	116·95 18157·38
44·11	
(1)	
18318·44	

Following the analogy of the previous two multiplets, this separation $116\cdot96$ must correspond with the separation $2\cdot54$. If this be correct, a pair with the separation $44\cdot1$ should be found at a distance from the triplet in corresponding ratio with the separation $3\cdot53$. Calling this distance x , we have

$$2\cdot54 : 3\cdot53 = 116\cdot96 : x \quad x = 165.$$

An appropriate pair actually occurs, as shown by the following data :—

λ (Fuchs).	Int.	r.	Δr .
5420·368	(6)	18443·82	
07·432	(6)	487·97	44·15

The distance from the pair to the triplet is

$$18487\cdot97 - 18318\cdot44 = 169\cdot53.$$

This value $169\cdot53$ is in sufficient agreement with the calculated $x = 165$, and the separation of the pair $44\cdot15$ is also in accordance with that expected.

If this multiplet be analogous to the previous two multiplets, two more lines are to be expected, at distances which may be calculated approximately as follows :—

$$\begin{aligned} 2\cdot54 : 1\cdot5 &= 116\cdot96 : y & y &= 69 \\ 3\cdot53 : 4\cdot76 &= 169\cdot53 : z & z &= 229 \end{aligned}$$

Two very strong lines were found which satisfied these values, namely :—

λ (Fucus).	Int.	ν .	
5537·749	(8)	18052·88	$y = 18121·52 - 18052·88 = 68·64$
5341·070	(10)	18717·64	$z = 18717·64 - 18487·97 = 229·67$

The entire multiplet, therefore, includes the following lines :—

λ Fucus.	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
5341·070	(10)	18717·64	IIIA
5407·432	(6)	487·97	IIIA
20·368	(6)	443·82	IIIA
57·468	(3)	318·44	IIA
70·640	(8)	274·33	IIA
81·395	(6)	238·48	IIA
5505·877	(4)	157·38	III
16·773	(7)	121·52	IIIA
37·749	(8)	052·88	III

with the schematic representation :—

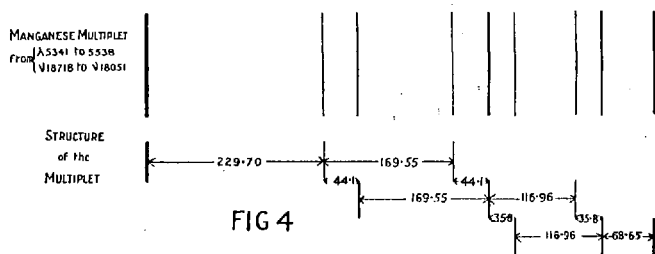
	(6)	(7)	(8)
	18238·48	116·96	18121·52
	35·85		68·64
			18052·88
			35·86
(6)	(8)	(4)	
18443·82	169·49	18274·33	116·95
		18157·38	
	44·15	44·11	
(10)	(6)	(3)	
18717·64	229·69	18487·97	169·53
			18318·44

The intensities of the lines are distributed in much the same manner as in the other multiplets.

In this region of the spectrum there are additional strong lines, and it remained to be seen if these belonged to the above multiplet or not. Attention had already been given to this region when the lines $1S-1p_{2,3}$ were under investigation (p. 137). In the provisional description given of fig. 1 in Plate 2, it was explained that (a), (b), and (c) represent three different stages of temperature, (a) corresponding to the highest temperature, (b) a middle stage, and (c) the lowest. In (a) there are many strong lines; in (b) some of these lines are absent, and in (c) there remain only two Mn lines. These have already been shown to be $1S-1p_{2,3}$; (b) shows these two lines, and in addition nine other lines (one is not visible in the reproduction on account of its low intensity). These are precisely the nine lines of the multiplet just described; the strong arc lines not belonging to this multiplet are *not present* at this middle stage of temperature. Hence the preceding facts may be summarised as follows: At the lowest temperature two lines appear, namely $1S-1p_{2,3}$; at the intermediate temperature the nine lines

of this multiplet appear, while the lines $1S-1p_{2,3}$ begin to fall off in intensity in comparison; at the highest temperature the lines of the multiplet are strong, but many other strong lines are also present, and the lines $1S-1p_{2,3}$ have lost much of their intensity. When the previously mentioned work of KING came to hand these results were compared with those given by the electric furnace. From KING's tables it would seem that at his lowest stage of temperature, which corresponds with the intermediate arc (b), there are only present the nine lines forming the preceding multiplet, with intensities varying from 1 to 4, and the two lines $\lambda 5395$ and $\lambda 5433$ ($1S-1p_{2,3}$) with intensities 35 and 40 respectively. The fairly strong arc lines $\lambda 5378$, 5400 , and 5414 , not belonging to the multiplet, are only developed at the highest stage of the furnace temperature.

A diagram of this multiplet is given in fig. 4.



The constant difference $C = 10967.75$ was then applied to the first line of the preceding multiplet as follows:—

$$-18717.64 + 10967.75 = 7749.89 \quad \text{or} \quad \lambda 12899.9.$$

The wave-number 18717.64 is written with negative sign because the triplet with the separations 44.1 and 35.8 in this multiplet is negative, the strongest line $\lambda 5341$ being on the violet side.

There is a line in the infra-red at $\lambda 12899.7$ or $\nu 7750.0$. Near this there is another line $\lambda 13294.1$ or $\nu 7520.1$, the separation between these lines thus being

$$7750.0 - 7520.1 = 229.9,$$

which is in agreement with the separation 229.7 found in the multiplet. Using some additional lines recorded in this region by RANDALL and BARKER, a multiplet similar to the preceding was traced. The observed lines of this multiplet are:—

λ (R. and B.).	Int.	λ (I.A.).	ν .
12900.3	(80)	12899.7	7750.0
13294.7	(50)	13294.1	7520.1
318.5	(30)	317.9	7506.7
626.3	(200)	625.7	7337.1
864.4	(100)	863.8	7211.1
997.6	(120)	997.0	7142.5

and the schematic representation is:—

			(100)		(120)
	(7328·3)	117·2	7211·1	68·6	7142·5
	8·8		8·8		
(300)		(200)			
7506·7	169·6	7337·1	117·2	(7219·9)	
13·4		14·1			
(80)	(50)				
7750·0	229·9	7520·1	168·9	(7351·2)	

The lines in brackets are calculated, but the multiplet is considered to be completely defined for the following reasons: 1st, the line 7750·0 is distant 10967·7 from the first line 25341 of another multiplet; 2nd, with the actual lines the separations 229·9, 169·6, 68·6, and 13·4 are found, which are close to the expected separations; and 3rd, the lines missing are expected to be the faintest of the multiplet by analogy with the other multiplet. It is to be noted that, as calculated, this multiplet is negative because the larger separation (14·1) is on the violet side.

PAULSON has found the constant difference 229·7 three times. In one case, it was formed from the lines 25341 and 25407 and it has already been used in one of the multiplets. In a second example the constant difference 229·7 arose from the lines 23578 and 23607. In this region of the spectrum there are only nine strong lines, including these two, namely:—

λ (Å units).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
3577·880	(6R)	27941·57	II
86·540	(5)	874·10	III
95·112*	(3)	807·64	III
3607·530	(6)	711·92	II
08·484	(6)	704·60	II
10·296	(6)	690·69	III
19·399	(4)	620·53	III
23·790	(4)	587·58	III
29·739	(3)	542·37	III

These nine lines form a multiplet which can be represented as follows:—

	(3)	(4)	(4)		
	27807·64	116·95	27690·69	68·67	27622·02
	103·04		103·11		
(4)	(6)	(4)			
27874·10	169·50	27704·60	117·02	27587·58	
162·18		162·23			
(6R)	(6)	(3)			
27941·57	229·65	27711·92	169·55	27542·37	

* KILBY'S value.

The intensities are distributed very much in the same manner as in the foregoing multiplets. It is to be noted that the first line shows strong tendency to reversal, and that the lines belong to temperature class II. or III. This multiplet is shown in Plate 2, fig. 3.

The remaining separation of 229.7 given by PAULSON, between the lines $\lambda 4018$ and $\lambda 4056$, was next considered. In this region of the spectrum, in addition to these two lines, there are other very strong and also many weak lines. From nine of these lines, a multiplet showing the four separations 229.7, 169.5, 116.9, and 68.6 was arranged, but was not considered very satisfactory because it did not present the intensities in the usual order of distribution; the first line of the multiplet being the weakest instead of the strongest. As in the case of the green multiplet having the first line at $\lambda 5341$, some photographic observations were made of the spectrum of the flame-arc, and compared with the spectrum of the ordinary arc in this region. All the lines which retain their intensity at low temperatures were thus found to form a multiplet having a more complicated structure than the preceding multiplets, but showing the same four separations 229.7, 169.5, 116.9, and 68.6. The lines are:—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
4018.108	(8)	24880.32	I
35.730	(5)	771.69	I
41.366	(10R)	737.15	I
48.760	(4)	691.97	I
55.553	(8)	650.62	I
58.936	(2)	630.02	I
63.533	(4)	602.18	I
68.029	(2)	575.01	—
70.280	(2)	561.43	II
79.245	(6)	507.44	I
79.428	(6)	506.34	I
82.947	(6)	485.22	I
83.639	(6)	481.07	I

The wave-lengths are quoted from FUCHS's measures except for $\lambda 4068.029$, which has now been remeasured because the values given by different observers differ considerably.

The scheme of the multiplet is :—

		(2)		(2)	
		24630.06	68.63	24561.43	
		55.05		55.09	
	(4)	(2)		(6)	
	24691.97	116.96	24575.01	68.67	24506.34
	89.79		89.79		
(5)	(4)		(6)		
24771.69	169.51	24602.18	116.96	24485.22	
121.07		121.13			
(8)	(8)	(6)			
24880.32	229.70	24650.62	169.57	24481.05	
143.17		143.18			
(10R)	(6)				
24737.15	229.71	24507.44			

This multiplet is shown in Plate 1, fig. 1; (a) is the ordinary arc spectrum and (b) is the flame-arc spectrum.

The lines of this multiplet are, with two exceptions, classified by KING as of temperature class I. One of the exceptions is the faintest line of the multiplet (assigned to class II.) and the other, $\lambda 4068$, is not mentioned in KING's tables. Mixed with the lines of the multiplet there are two triplets $\lambda 4041$, 4035, 4033 and $\lambda 4062$, 4059, 4058, already discussed, and many lines fairly strong in the arc but not present in the furnace spectrum. A diagram showing the structure of this multiplet is given in fig. 5.

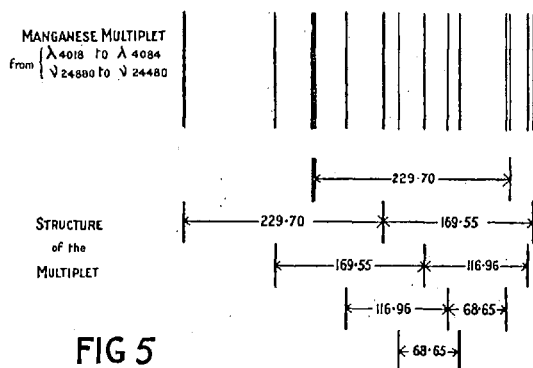


FIG 5

As the recognised constant differences found in the manganese spectrum were exhausted, a search for multiplets was commenced among the more intense lines, guided by the observations of the flame-arc and arc spectra, and some additional multiplets were then found.

One multiplet is formed by the following nine lines :—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
3044·573	(6)	32835·76	III
54·386	(5)	730·31	III
62·132	(4)	647·52	III
66·035	(3)	605·97	III
70·290	(5)	560·77	III
73·144	(4)	530·54	III
79·638	(5)	461·95	IV
81·347	(4)	443·94	IV
82·062*	(2)	436·42	—

The scheme of the multiplet is :—

	(4)	(4)	(5)
	32647·52	116·98	32530·54
	86·75		86·60
(5)	(5)	(4)	
32730·31	169·54	32560·77	116·83
124·34		124·35	32443·94
(6)	(3)	(2)	
32835·76	229·79	32605·97	169·55
			32436·42

The intensities are distributed in the usual manner, as will be seen in Plate 1, fig. 4. The first line of the multiplet is mixed with many other lines, but can be detected very easily by its intensity and character.

Another multiplet is formed by the following lines :—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
3776·537	(1)	26471·79	—
90·215	(3)	376·19	III
99·256	(2)	313·49	III
3806·866	(10R)	260·93	I
09·599	(6)	242·07	II
16·746	(2)	192·93	III
23·515	(9R)	146·56	II
23·896	(5)	143·94	II
29·674	(2)	104·50	III
33·864	(6)	075·92	II
34·363	(8R)	072·58	II
38·329†	(2)	045·64	—
39·777	(4)	035·82	II
41·081	(5)	026·97	II
43·985	(4)	007·31	II

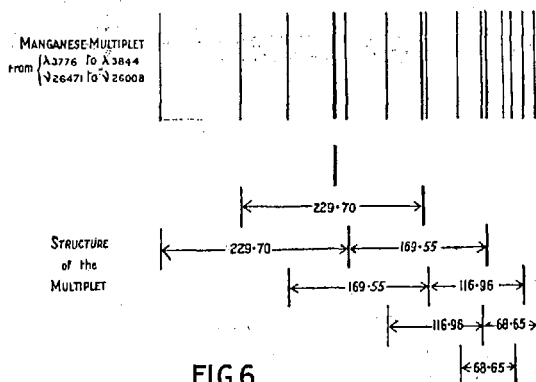
* The wave-length of the last line was measured by the author because it had not previously been recorded.

† KILBY's value.

The scheme of this multiplet is:—

				(2)	
				26045·64	
				9·82	
			(2)		(4)
			26104·50	68·68	26035·82
			28·58		28·51
		(2)		(6)	(4)
		26192·92	117·00	26075·92	68·61
		48·98		48·95	26007·31
	(2)		(5)		(5)
	26313·49	169·65	26143·94	116·97	26026·97
	71·42		71·36		
(1)	(5)		(8R)		
26471·79	229·72	26242·07	169·49	26072·58	
95·52		95·51			
(3)	(9R)				
26376·27	229·71	26146·56			
115·34					
(10R)					
26260·93					

Most of the lines of this multiplet are present at low temperature in the electric furnace, the exceptions being $\lambda 3776$ and $\lambda 3844$, which are absent probably on account of their small intensities. A schematic diagram showing the structure of this multiplet is given in fig. 6.



In the region near 33200 there are very many lines of the same character and placed by KING in the low or medium temperature class. A multiplet may be arranged from the following thirteen of these lines :—

λ (Fuchs).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
3206.915	(3)	31173.64	IV
12.897	(6)	115.60	III
26.043	(2)	30988.81	IV
30.725	(3)	943.90	III
36.787	(6)	885.94	II
40.624	(3)	849.38	IV
43.784	(4)	819.32	III
48.521	(4)	774.38	III
51.139	(3)	749.60	IV
52.954	(4)	732.45	III
56.141	(4)	702.36	III
58.417	(4)	680.92	III
60.237	(4)	663.80	III

The scheme of the multiplet is :—

				5-6-1 (3)		10-12-5-1 (4)
				30749.60	68.68	30680.92
				17.15		17.12
		5-6-1 (3)		15-12-3-1 (4)		10-12-3-1 (4)
		30849.38	116.93	30732.45	68.65	30663.80
		30.06		30.09		
	6-5-1 (2)	12-12-6-1 (4)		12-12-3-1 (4)		
	30988.81	169.49	30819.32	116.96	30702.36	
	44.91		44.94			
5-7-11 (3)	12-10-3-2 (3)		15-15-4-3 (4)			
31173.64	229.74	30943.90	169.52	30774.38		
58.04		57.96				
15-9-5-1 (6)		20-15-10-5 (6)				
31115.60	229.66	30885.94				

Mixed with the lines of this multiplet there are some other lines of similar character which are also related to one another by the differences 229.7, 169.5, 116.9, and 68.6, namely :—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
3240·408	(3)	30851·44 -	III
54·040	(2)	722·19 -	IV
64·713	(4)	621·76 -	III
78·553	(3)	492·49 -	IV
96·029	(2)	330·83 -	IV
96·884	(3)	322·97 -	IV
3308·791	(3)	213·83 -	IV
46·324	(3)	145·32 -	IV
43·728	(2)	20898·18 -	IV
51·427	(1)	820·50 -	—

Their relations may be shown as follows :—

30851·44	229·68	30621·76			
(3)	(3)	(3)			
30722·19	229·70	30492·49	169·52	30832·97	
(2)	(2)	(3)	(2)	(3)	(3)
			30330·83	117·06	30213·83
			(2)	(3)	(3)
					68·51
					30145·32
					(1)
					29898·18
					68·68
					29829·50

No connection between these lines and the previous overlapping multiplet, however, has been found.

There are still other lines strong at low temperatures, but it has not been found possible to arrange them in multiplets. There are, however, some common separations. In the region near 44150 the following lines of the same character are found :—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
4235·147	(6)	23605·30	II
35·300	(6)	604·45	I
39·729	(6)	579·79	II
57·659	(6)	480·49	II
59·329	(2)	471·29	—
61·294	(3)	460·47	—
65·920	(6)	431·03	II
81·097	(6R)	351·94	II

The following relations appear among these :—

23471·29	119·35	23351·94	252·51	23604·45
(2)	(6R)	(6)		
		108·50	108·53	
23480·49	99·30	23579·79	119·32	23460·47
(6)	(6)	(3)		

The separations $99\cdot3$ and $252\cdot5$ also occur among the following lines of similar type in the region near $\lambda 4500$:—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
4414·887	(6)	22644·29	II
36·358	(6)	534·70	III
51·578	(8)	457·66	II
53·013	(4)	450·42	III
64·679	(6)	391·76	II
70·142	(6)	364·40	III
72·793	(6)	351·14	III
90·078	(5)	265·10	III
98·897	(6)	221·45	II
4502·223	(6)	205·01	II

and the relations found are :—

$$\begin{array}{ccc} (5) & & (6) \\ 22265\cdot10 & 99\cdot30 & 22364\cdot40 \\ 86\cdot04 & & 86\cdot02 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} (6) & & (4) \\ 22351\cdot14 & 99\cdot28 & 22450\cdot42 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} (6) & & (8) \\ 22205\cdot01 & 252\cdot65 & 22457\cdot66 \\ 186\cdot75 & & 186\cdot63 \end{array}$$

$$\begin{array}{ccc} (6) & & (6) \\ 22391\cdot76 & 252\cdot53 & 22644\cdot29 \end{array}$$

A few remaining strong lines are situated near $\lambda 4700$, namely :—

λ (FUCHS).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
4709·704	(6)	21226·83	III
27·462	(6)	147·10	III
39·001	(6)	995·81	III
61·527	(5)	20995·81	III
62·376	(8)	992·09	III
65·856	(5)	976·71	III
66·425	(5)	974·25	III

The only significant relation found among these is the separation $252\cdot5$, as follows :—

$$\begin{array}{ccc} (6) & & (5) \\ 21226\cdot83 & 252\cdot58 & 20974\cdot25 \end{array}$$

It should be observed that the multiplets which have been described do not exhibit either of the separations characteristic of the ordinary triplet system (173·71 and 129·18). Two of them, however, involve the respective separations of the narrower sets of triplets, and have other small separations in common; two which include the same triplet separations are associated with new and larger separations, which are in the same ratio as the smaller separations in the first two. In the remaining multiplets no triplet separations occur at all, but the larger separations just mentioned appear in all of them. The mutual relationships of the multiplets and their connections with the regular series are not yet clear, and the following summary is given to facilitate further investigation.

TABLE IV.—Multiplets of the Neutral Atom of Manganese.

Mul- tiplet.	Limiting ν .	No. of Lines.	Triplet Separations.		Separations.		Non- recurring Separations.	Remarks.
			14·2, 8·7.	44·1, 35·8.	4·8, 3·5, 2·5, 1·4.	229·7, 169·5, 116·9, 68·6.		
I.	22440—22405	9	×		×			} Interval = 10967·7.* } Interval = 10967·7.*
II.	11437—11490	9		×	×			
III.	18718—18053	9		×		×		
IV.	7750—7142	9?	×			×		
V.	27942—27542	9				×	162, 103	
VI.	24880—24481	13				×	143, 121, 89, 53	
VII.	32836—32436	9				×	124, 86	
VIII.	26472—26007	15				×	115, 95, 71, 48, 28, 10	
IX.	31174—30664	13				×	58, 44, 30, 17	

5. THE SPECTRUM OF THE IONISED ATOM OF MANGANESE.

The enhanced lines of manganese have been investigated by LOCKYER† and by BAXANDALL‡ in connection with the spectra of the different types of stars. In addition to the enhanced lines given in these papers there are many others which, in spite of being present as fairly strong lines in the arc, increase considerably in intensity on passing to the spark, and hence must be considered as enhanced lines.

* This is identical with the interval separating corresponding members of the two sets of narrow triplets.

† 'Solar Physics Committee, Tables of Wave-lengths of Enhanced Lines' (1906).

‡ 'Monthly Notices of R.A.S.,' vol. 74, p. 250 (1914).

In order to distinguish these lines the spark and the arc spectra have been photographed side by side for comparison. The number of enhanced lines thus detected is very great and it is not possible at present to give a detailed study of their distribution. However, seeing that the preliminary results are of great interest, not only in the particular case of manganese, but also in their general bearing upon the relations between the lines of other elements, it is thought that the following remarks will be of value.

In the spectrum of the ionised atom of manganese (Mn^+) there are three very prominent lines, $\lambda\lambda 2949, 2939$, and 2933 , apparently forming a triplet. These are present in the arc spectrum as fairly strong lines, but in passing from the arc to the spark their intensities increase considerably, as shown in Plate 1, fig. 3. It will be noticed that the diffuse arc triplet $\lambda\lambda 2941, 2926, 2914$ [$d(3)$] becomes very faint in the spark, while, on the contrary, the enhanced triplet $\lambda\lambda 2949, 2939, 2933$ is much stronger in the spark than in the arc. In the electric furnace, as shown by KING, the lines of the arc triplet are faint at medium temperatures, but the lines of the spark triplet are only present at high temperature, and then as very faint lines.

The wave-lengths and the wave-numbers, from measures in the *arc*, are :—

λ (Focus).	Int.	ν .	$\Delta\nu$.	Temp. Class (KING).
2949.207	(10)	33897.54	114.08	IV
39.315	(9)	34011.62		V
33.066	(8)	084.07	72.45	V

There are two other strong triplets in the ultra-violet. One of them is formed from three lines which are strongly reversed in the spark and appear also as fairly strong lines in the arc spectrum. This is a negative (or inverted) triplet, the wave-lengths and wave-numbers, from measures in the *arc*, being :—

λ (Focus).	Int.	ν .	$\Delta\nu$.
2576.116	(10R)	33806.52	263.58
93.734	(9R)	542.94	
2605.695	(9)	366.03	176.91

The other triplet is of the diffuse type and presents the same features as the diffuse triplet in the arc spectrum ; that is, instead of being formed from six lines, as in the familiar diffuse triplets in the alkaline-earths, it is formed from nine lines. The wave-lengths and wave-numbers of the lines are :—

λ (Ex. and II.).	Int.	ν .
2427.43	(3)	41183.3
27.77	(4)	177.5
27.97	(4) ?	174.1
37.45	(5)	015.7
37.92	(3)	006.1
38.22	(3)	001.1
52.53	(10)	40761.9
53.17	(2)	751.3
53.65	(1)	743.0

and the scheme of the triplet is:—

		(3)		(4)		(4) ?
		41183.3	3.8	41177.5	3.4	41174.1
		177.2		176.4		
(5)		(3)		(3)		
41015.7	9.6	41006.1	5.0	41001.1		
264.4		263.1				
(10)		(2)		(1)		
40761.9	10.6	40751.3	3.3	40743.0		

The wider separations of this triplet are practically identical with those of the negative triplet λ 2576, 2594, 2606.

A group of prominent enhanced lines is situated near λ 3480. The lines of this group are of medium intensity in the arc, but, as shown in Plate 2, fig. 3, their intensities on passing from the arc to the spark increase considerably. It is very interesting to compare the behaviour of three characteristic groups in this photograph. In the middle there is the diffuse arc triplet, d (2), very strong in the arc and weak in the spark; on the right there is a multiplet of nine arc lines, almost disappearing in the spark, and on the left the multiplet of enhanced lines, present in the arc as lines of medium intensity and strengthened considerably in the spark.

The wave-lengths and the wave-numbers of this enhanced multiplet, from measures in the arc, are:—

λ (Fucns).	Int.	ν .	Temp. Class (KING).
3497.540	(6)	28583.37	V
96.815	(4)	589.30	V
95.840	(8)	597.26	V
88.618	(8)	655.89	V
82.918	(7)	703.37	V
74.139	(6)	775.90	V
74.050	(7)	776.65	V
60.332	(8)	890.71	V
41.990	(9)	29045.93	V

z 2

These lines do not appear in the electric furnace, and so are classified by KING in temperature class V.

This multiplet can be schematically represented as follows:—

	(6)		(8)		(8)
	28775·90	120·01	28655·89	58·63	28597·26
	72·53		72·52		
(8)		(7)		(6)	
28890·71	187·34	28703·37	120·00	28583·37	
114·06		114·07			
(9)	(7)	(4)			
29045·93	269·28	28776·65	187·35	28580·30	

The structure is similar to that of the arc multiplets of nine lines, and the intensities follow the same distribution law. Moreover, the separations 114·06 and 72·53 are identical with those of the enhanced triplet $\lambda\lambda 2949, 2939, 2933$.

It is very interesting to compare the main separations of this multiplet with those of the arc multiplet thus:—

Separations in Mn	229·70	169·55	116·96	68·75
Separations in Mn ⁺	269·28	187·34	120·00	58·63

An attempt may be made to interpret the preceding regularities in the spectrum of Mn⁺. The persistence of the reversed negative triplet $\lambda\lambda 2576, 2594, 2606$ has been investigated by POLLOCK,* MORROW,† and by HARTLEY and MOSS‡. POLLOCK gives the lines of this triplet as the "ultimate" lines in the spark, and those which appear next are the components of the diffuse triplet $\lambda\lambda 2453, 2438, 2428$. With this MORROW agrees, and HARTLEY and MOSS place the lines of these triplets among the most persistent lines of the spark. The negative triplet $\lambda\lambda 2576, 2594, 2606$, thus seems to be the first member of the principal series $1s^+ - mp^+$ and the triplet at $\lambda\lambda 2453, 2438, 2428$ a member of the diffuse series $1p^+ - nd^+$. The observations of the extreme ultra-violet at present available are unfortunately insufficient for tracing the series further.

The strong enhanced triplet $\lambda\lambda 2949, 2939, 2933$ is comparable in intensity with the narrow arc triplets forming the series S or D, so that it may be a member of the enhanced series S or D, equivalent to the arc singlets in the alkaline-earths.

The enhanced multiplet at $\lambda 3497$, which shows the separations of the preceding triplet, seems to be analogous to the arc multiplet at $\lambda 5341$, which contains the separations of the S and D arc series.

The present fragmentary evidence thus seems to indicate that the enhanced lines form a complex triplet system which is built up on the same plan as the arc spectrum.

* 'Proc. Roy. Dublin Soc.,' vol. 13, p. 202 (1912).

† 'Proc. Roy. Dublin Soc.,' vol. 13, p. 269 (1912).

‡ 'Roy. Soc. Proc.,' A, vol. 87, p. 38 (1912).

6. THE OCCURRENCE OF "MULTIPLETS" IN OTHER SPECTRA.

In Sections 4e and 5 it has been shown that in the spectra of the neutral atom and ionised atom of manganese many lines of the same character are related by certain separations and form clearly defined multiplets. The accuracy of the separations, some of them being identical with those of the ordinary series, together with the fact that the lines of each group are of the same character, strongly suggests that the multiplets have a real physical significance. Further evidence for their reality is afforded by the occurrence of similar multiplets in the spectra of other elements.

Chromium.—The spectrum of the normal atom of chromium has been examined in some detail, but the investigation is not completed, and no attempt will be made to describe the whole system of series and multiplets. It may be said, however, that the arc spectrum of chromium exhibits triplet series analogous to the series *p*, *s*, *d*, and *f* in manganese, and series of narrower triplets with separations about 8·8 and 5·6, quite analogous to the series P, S, and D in manganese; further, there are multiplets of a similar character to those of manganese. It will suffice at present to give details of three of the groups. These were identified by a comparative study of the spectra of the flame and the arc. Also, the work of KING* on the variation with temperature of the electric furnace spectrum has been utilised.

The wave-lengths (EXNER and HASCHEK corrected to I.A.) and other data relating to the three multiplets are collected in the following table:—

TABLE V.—Multiplets of the Neutral Atom of Chromium.

Cr Multiplet I.				Cr Multiplet II.				Cr Multiplet III.			
λ (I.A.).	Int.	ν .	Temp. Class.	λ (I.A.).	Int.	ν .	Temp. Class.	λ (I.A.).	Int.	ν .	Temp. Class.
5247·55	(6)	19051·2	I	3883·33	(10)	25743·8	I	4337·58	(20)	23047·9	I
64·18	(6)	18991·0	I	85·21	(8)	731·4	I	39·46	(20)	937·9	I
65·73	(6)	18985·5	I	86·77	(8)	721·0	I	39·74	(12)	936·4	I
96·69	(5)	874·4	I	94·05	(7)	673·0	I	44·52	(25)	911·1	I
98·29	(7)	868·7	I	3902·90	(6)	614·8	II ?	51·05	(15)	22976·5	I
5300·71	(4)	860·2	I	93·14	(5)	613·3	II	51·85	(40)	972·5	I
45·80	(7)	701·1	I	98·76	(10)	576·4	II	59·65	(20)	931·2	I
48·31	(6)	692·3	I	16·26	(6)	527·3	I	71·31	(20)	870·1	I
5409·81	(8)	479·8	I	19·17	(12R)	508·4	II	73·25	(6)	859·9	I
				21·06	(9)	490·1	I	84·98	(20)	798·7	I
				28·67	(10)	446·7	I	91·76	(6)	763·4	I
				41·52	(10)	363·8	I	4412·27	(6)	657·7	IA

A photograph of the green region in which the first multiplet appears has been given by KING, showing the arc spectrum and the spectra obtained at three different stages

* 'Astroph. Journ.,' vol. 41 (1915).

of temperature of the electric furnace. At the lowest temperature there remain nine strong lines of the same character, while the other lines which are strong in the arc have greatly decreased in intensity. The multiplet is formed of these nine lines and may be represented as follows:—

	(5)		(6)		(6)
	18874·4	116·6	18991·0	60·2	19051·2
	5·7		5·5		
(7)		(7)		(6)	
18701·1	167·6	18868·7	116·8	18985·5	
8·8		8·5			
(8)	(6)	(4)			
18479·8	212·5	18692·3	167·9	18860·2	

This multiplet includes the separations 8·5 and 5·7 of the series S and D, and also four separations which are surprisingly close to the four important separations in manganese, as shown by the following comparison:—

Cr (neutral atom)	212·5,	167·8,	116·7,	60·2
Mn (neutral atom)	229·7,	169·5,	116·9,	68·6
Mn ⁺ (ionised atom)	269·3,	187·3,	120·0,	58·6

These four separations occur also in the second and more complex multiplet of chromium as shown in the following scheme:—

	(9)		(5)		(7)
	25496·1	117·2	25613·3	59·7	25673·0
	118·7		118·1		
(10)		(6)		(5)	
25446·7	168·1	25614·8	116·6	25731·4	
129·7		129·0			
(10)	(10)	(10)			
25363·8	212·6	25576·4	167·4	25743·8	
144·6		144·6			
(12R)	(8)				
25508·4	212·6	25721·0			

Mixed with the lines of this multiplet there are many other lines, but, with one exception, they belong to temperature classes III., IV., or V.; the outstanding line 3916·26 (I.A.), = ν 25534·6, belongs to class I., but it has not been found to have any connection with the multiplet.

The third multiplet of chromium is mixed with many other lines, but all the latter belong to classes III., IV., and V. The structure of the multiplet is shown in the following arrangement of the wave-numbers:—

		(6)		(15)		(12)
		22859.9	116.6	22976.5	59.9	23036.4
		71.3		71.4		
	(6)		(20)		(20)	
	22763.4	167.8	22931.2	116.7	23047.9	
	106.7		106.7			
(6)	(20)		(20)			
22657.7	212.4	22870.1	167.8	23073.9		
141.0		141.0				
(20)		(25)				
22798.7	212.4	23011.1				
173.5						
(40)						
22972.5						

Other elements.—A preliminary consideration of the spectra of other elements has shown the existence of multiplets in the arc spectra of magnesium, calcium, strontium, barium, silicon, and in the enhanced spectra of aluminium, scandium, yttrium, and lanthanum.* It results that when the diffuse triplets include six lines, as in the arc spectra of the alkaline-earths, the typical multiplet is also formed from six lines. On the other hand, if the diffuse triplets are formed from nine lines, as in manganese, the typical multiplet is also composed of nine lines.

The recognition of such multiplets is of importance as affording a means of determining the probable constitution of the series in some of the spectra which have not been resolved into series of the regular types. Such knowledge is of particular interest in the consideration of the spectra in relation to the periodic classification of the elements.

7. THE SPECTRUM OF MANGANESE AND THE PERIODIC TABLE.

It has long been recognised that there is a relation between the spectral structure of an element and its place in the periodic table. RYDBERG† found that the elements with even valencies have triplet series, while those which have odd valencies have doublet series. There were two well-known exceptions: one of them being manganese, which, having an odd number valency, yielded triplet series. The other exception was the alkaline-earth elements, which give doublets in addition to the triplet series. The latter exception, however, is no longer valid, as it is now considered that these doublet

* The existence of groups of lines whose relations with the typical series were not clear was recognised by SAUNDERS ('Astrophys. Journ.', vol. 32, p. 166, 1910), in Ca, Sr, and Ba, and by CAMRO ('Asoc. Española Prog. Ciencias,' vol. 7, p. 351, 1921), in Ca. POROW ('Ann. d. Phys.,' vol. 45, p. 147, 1914) has also drawn attention to groups of lines in certain elements and has suggested that they may represent combinations of diffuse type.

† See KAYSEN, 'Handbuch der Spectroscopie,' vol. 2, p. 589.

series belong to the spectrum of the ionised atom, while the triplet series belong to the spectrum of the neutral atom. Hence it seems that the constitution of a spectrum by doublets or by triplets depends upon the number of the outer electrons in the atom. If this is an odd number the spectrum of the neutral atom will be composed of doublets, and if it is an even number it will be composed of triplets. Further, in the same element, if the spectrum of the neutral atom is composed of triplets, when the atom loses an electron and thus becomes ionised, its spectrum might be expected to contain doublets, as is the case with the alkaline-earths. Hence, as already recognised, some relation between the spectrum of the ionised atom of an element and that of the neutral atom of the preceding element in the periodic table may be expected. SOMMERFELD* and FUEST† have indeed suggested certain numerical relations between the doublet series in the spectra of the ionised atoms of the alkaline-earths and the doublet series in the spectra of the alkali metals.

From the preceding remarks it might be expected that the manganese spectrum, by reason of its place in the periodic table (atomic number $Z = 25$, column VII), would present doublet series in the spectrum of the neutral atom and triplet series in that of the ionised atom. The present investigation, however, has shown that the manganese arc spectrum consists of triplets which follow a formula with the constant " N " of RYDBERG, and hence belong to the neutral atom. The spark series also seem to be formed of triplets. SOMMERFELD‡ remarks that the number of electrons in the outer ring of the manganese atom, and in the atoms of neighbouring elements in the periodic table, is *two*, as deduced by LADENBURG§ by chemical methods, and so the exception to the simple relation between arc spectra and the periodic table is explained. But seeing that the series of ionised manganese are also formed of triplets, it is necessary to suppose that when the manganese atom loses one of the two outermost electrons the remaining electron falls into the adjacent inner ring; or, more probably, that an electron from this ring *comes out* to the outermost ring. Otherwise the spectrum given by an atom having a single outermost electron would contain doublets, if the alternate rule of triplets and doublets were valid.

The second hypothesis is supported from another point of view, derived from the study and interpretation of the magnetic properties of the elements. CABRERA|| concludes that the transference of an electron from the outermost ring to the adjacent inner one originates the changes in valency and in the magnetic properties of the paramagnetic elements of the iron group, Cr, Mn, Fe, Ni, Co. In the case of

* *Loc. cit.*, p. 299.

† *Ann. d. Phys.*, vol. 63, p. 1 (1920).

‡ *Loc. cit.*, p. 304.

§ *'Naturwissenschaft'*, vol. 8, p. 5 (1920).

|| *'Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, Congreso de Oporto'*, Tomo II, p. 39 (1921).

Cr and Mn the arrangement of the electrons in the different rings may be as follows :—

Ring.	Chromium.		Manganese.	
	Trivalent.	Divalent.	Trivalent.	Divalent.
K	2	2	2	2
L	8	8	8	8
M	8	8	8	8
N { (valency electrons)	3	4	4	5
	3	2	3	2
	Z = 24		Z = 25	

Thus the trivalent chromium ($Z = 24$), by transference of an electron, gives the divalent chromium. The unstable trivalent Mn ($Z = 25$) resembles this, but has one more electron in the outermost ring and a correspondingly larger nuclear charge. The transference of this electron to the next ring gives rise to the very stable divalent manganese.

The spectrum of the neutral atom of manganese corresponds with that of the divalent manganese, which, having *two* electrons in the outermost ring, gives a spectrum containing *triplets*. When this atom loses an electron from the outermost ring, thus becoming ionised, it seems possible that one electron from the next ring, which possesses five, *comes out* to take its place, and hence the spectrum of the manganese ionised atom, having *two* electrons in the outermost ring, would also show *triplets* as actually observed.

It is also to be noted that the Mn^+ atom has a structure quite analogous to that of neutral Cr, the only difference being that the atom has a positive charge. The spectra of ionised manganese and neutral chromium would thus be closely similar, in accordance with the observed facts.

The preceding considerations are schematically represented in fig. 7.

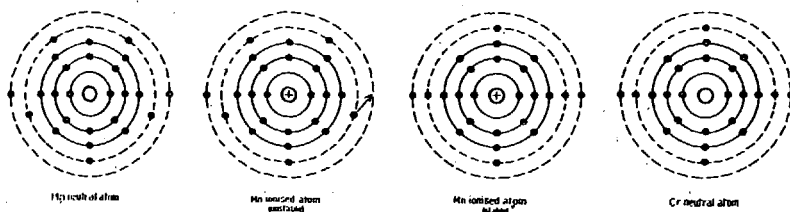


Fig. 7.

2 A

VOL. CXXXIII.—A.

8.—SUMMARY.

1. The flame, arc, and spark spectra of manganese, like those of other elements, are formed of two classes of lines, some belonging to the neutral atom and some to the ionised atom (Mn^+).

2. In the spectrum of the neutral atom, triplet series and combination lines have been found. The series follow a Hicks formula with the Rydberg constant "N" and may be classified as follows:—

- (a) A system of four triplet series (sharp, diffuse, principal, and fundamental; the last two being rather doubtful), analogous to the ordinary triplet systems of series in the alkaline-earth.
- (b) A system of three narrower triplet series (sharp, diffuse, and principal) which have strong analogies with the singlet systems of series in the alkaline-earth.
- (c) Another system of yet narrower triplets (sharp, diffuse, and principal) which is parallel to the preceding system, the shift number being $C = 10967.75$.

3. The intercombination lines $1S-1p_2$ and $1S-1p_3$ (15394.677 and 15432.555) between the first two systems are found as two lines very prominent at low temperatures, and losing very much of their intensity at high temperatures.

4. The ionisation and resonance potentials of manganese have been calculated from the term $1S$ and from the wave-number of the line $1S-1p_2$. The values are 7.4 volts and 2.3 volts respectively.

5. The lines of ionised manganese ("enhanced" lines) also form triplets. The observations are not yet sufficiently complete to permit the series to be traced, but there is evidence that they include a system of triplets (sharp, diffuse, and principal), and also another system of narrower triplets, corresponding to the singlet systems in the alkaline-earth, as in the case of the neutral atom.

6. Each diffuse triplet, in neutral and ionised atom alike, is formed of *nine* lines, giving *five d* terms in contrast to the *six* lines giving *three d* terms which are found in the more familiar diffuse triplets of the alkaline-earth.

7. In the spectra of both the neutral and ionised atoms there are certain groups of prominent lines having the same character and showing similar variations with changes of temperature. The lines of each group are related by very exact numerical separations and it is suggested that the word "multiplet" be used to denote them.

8. It is pointed out that similar multiplets exist in the spectra of Mg, Ca, Sr, Ba, Al^+ , Sc^+ , Y^+ , La^+ , Si, and Cr, and that they may represent a form of regularity present in the spectra of many elements, and serve to indicate the most probable nature of the series in the spectra where the actual series have not been traced.

9. The spectrum of manganese in relation to the place of the element in the periodic table is discussed. It seems probable that the neutral atom of manganese has *two* electrons in the outermost ring, and that when this atom loses an electron, thus becoming ionised, another electron, from the next ring, comes out to take its place in the outermost ring, which again contains *two* electrons. The similarity of the spectra of the neutral and ionised atoms may thus be accounted for.

TABLE VI.—Classified Lines in the Spectrum of the Neutral Atom of Manganese.

λ (Å.).	Int.	Temp. Class (Kino).	ν .	$\Delta\nu$.	Series.
2575.51	5	—	38815.6	$\left. \begin{array}{l} 129.2 \\ 173.7 \end{array} \right\}$	<i>s</i> (5) ?
84.12	3	—	686.4		
95.77	4	—	512.7		
2604.21	1	—	389.4	$\left. \begin{array}{l} 128.6 \\ 174.1 \end{array} \right\}$	<i>d</i> (5)
12.86	2	—	260.8		
24.80	2	—	086.7		
48.79	1	—	37741.8	$\left. \begin{array}{l} 129.0 \\ 173.8 \end{array} \right\}$	<i>s</i> (4)
57.88	1	—	612.8		
70.22	2	—	439.0		
2763.98	3U	—	36972.6	$\left. \begin{array}{l} 128.6 \\ 173.1 \end{array} \right\}$	<i>d</i> (4)
13.35	3U	—	844.0		
26.15	4U	—	670.9		
91.23	2	—	35777.5	$\left. \begin{array}{l} 129.2 \\ 173.5 \end{array} \right\}$	<i>P</i> (1)
91.822	10R	IV.	769.94		
98.273	9R	IV.	725.82		
2801.076	9R	IV.	690.07		
61.35	2	—	648.3		
18.09	3	—	474.8	$\left. \begin{array}{l} 128.6 \\ 173.1 \end{array} \right\}$	<i>s</i> (3)
2914.62	6U	IV.	34299.8		
25.59	6U	IV.	171.2		
40.51	7U	IV.	33997.8		
3044.573	6	III.	32835.76		
54.386	5	III.	730.31	$\left. \begin{array}{l} 229.7 \\ 169.5 \\ 117.0 \\ 68.6 \end{array} \right\}$	Multiplet VII.
62.132	4	III.	647.52		
66.035	3	III.	605.97		
70.200	5	III.	560.77		
73.144	4	III.	530.54		
79.638	5	IV.	461.95	$\left. \begin{array}{l} 124.3 \\ 86.7 \end{array} \right\}$	<i>s</i> (2)
81.347	4	IV.	443.94		
82.062	2	—	436.42		
3148.192	4	IV.	31755.09		
61.055	5	IV.	625.87		
78.508	6	IV.	452.24	$\left. \begin{array}{l} 129.22 \\ 173.63 \end{array} \right\}$	<i>s</i> (2)
3206.945	3	IV.	173.64		
12.897	6	III.	115.60		
26.043	2	IV.	30988.81		
30.725	3	III.	943.90		
36.787	6	II.	885.94	$\left. \begin{array}{l} 229.7 \\ 169.5 \\ 116.9 \\ 68.6 \end{array} \right\}$?*
40.408	3	III.	851.44		
40.624	3	IV.	849.38		
43.784	4	III.	819.32		
48.521	4	III.	774.38		
51.139	3	IV.	749.60	$\left. \begin{array}{l} 58.0 \\ 41.9 \\ 30.1 \\ 17.1 \end{array} \right\}$	Multiplet IX.
52.954	4	III.	732.45		
54.040	2	IV.	722.19		
56.141	4	III.	702.36		
58.417	4	III.	680.92		
60.237	4	III.	663.80		

* These lines do not certainly belong to Multiplet IX.

TABLE VI. (continued).

λ (I.A.).	Int.	Temp. (Class (King)).	r .	Δr .	Series.
3264-713	4	III.	30621-76	$\left. \begin{array}{l} 229-7 \\ 169-5 \\ 117-0 \\ 68-6 \end{array} \right\}$?
78-553	3	IV.	492-49		?
96-029	2	IV.	330-83		?
96-884	3	IV.	322-97		?
3308-791	3	IV.	213-83		?
16-324	3	IV.	149-32		?
43-728	2	IV.	29898-18	68-6	?
51-427	1	—	829-50		?
3531-833	7-5R	III.	23305-85	2-36	d (2)
31-990	7-3R	III.	304-58	1-85	
32-110	8R	III.	303-68	1-25	
47-792	8-5R	III.	178-52	0-90	
48-024	8R	III.	176-68		
48-180	7-5R	III.	175-44		
69-499	10R	III.	007-16	129-17	
69-798	9R	III.	004-82	173-71	
70-034	7R	III.	002-97		
77-880	6R	II.	27941-57		
86-540	5	II.	874-10	229-7	
95-112	3	III.	807-64	169-5	
3607-530	6	II.	711-92	117-0	Multiplet V.
08-484	6	II.	704-60	68-6	
10-296	6	III.	690-69		
19-399	4	III.	620-53	162-2	
23-790	4	III.	587-58	103-1	
29-739	3	III.	542-37		
42-662	1	—	444-65	—	
64-624	1	—	280-18	—	
3776-537	1	—	26471-79		
90-215	3	III.	376-19		
99-256	2	III.	313-49		
3806-866	10R	I.	260-93	229-7	Multiplet VIII. S_c (3)*
09-599	6	II.	212-07	169-5	
16-746	2	III.	192-93	117-0	
23-515	9R	II.	146-56	68-6	
23-896	5	II.	143-94		
26-628	1	—	125-28		
27-904	1	—	116-57	8-71	
29-674	2	II.	104-50	14-20	
29-987	2	—	102-37		
33-864	6	II.	075-92	115-3	
34-363	8R	II.	26072-58	95-5	
38-329	2	II.	645-64	71-4	
39-777	4	II.	035-82	49-0	
41-081	5	II.	026-97	28-5	
43-985	4	II.	007-31	9-8	

* Series $S_c(m)$ denotes the series parallel to $S(m)$, and the same notation is adopted for the remaining series of this system.

TABLE VI. (continued).

λ (Å.).	Int.	Temp. Class (Kino).	ν .	$\Delta\nu$.	Series.	
4018-108	8	I.	21880-32	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 14-22 \\ 8-70 \end{array}$	P_c (1)	
30-760	10R	I.	802-23			
33-074	9R	I.	788-01			
34-489	9R	I.	779-31			
35-730	5	I.	771-69			
41-366	10R	I.	737-15	229-7	Multiplet VI. D_c (2)	
48-760	4	I.	691-97	169-5		
55-553	8	I.	650-62	117-0		
57-959	3	V.	635-99	68-6		
58-936	2	I.	630-06	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 8-73 \\ 14-23 \end{array}$		
59-399	2	IV.	627-26			
61-744	2	V.	613-03			
63-533	4	II.	602-18			
68-029	2	—	575-01	143-2		Multiplet I.
70-280	2	II.	561-43	121-1		
79-245	6	I.	507-44	89-8		
79-428	6	I.	506-34	55-1		
82-947	6	I.	485-22	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \\ - \\ - \\ - \\ - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 4-8 \\ 3-5 \\ 2-6 \\ 1-4 \end{array}$		
83-639	6	I.	481-07			
4455-019	6	III.	22440-32			
55-320	6	III.?	438-80			
55-820	5	III.	436-29			
57-041	5	III.	430-14			
57-553	6	—	427-56			
58-263	6	II.	423-99			
60-376	3	—	413-37			
61-089	6	III.	409-84	14-2		
62-033	8R	III.	405-85	8-7		
4754-048	9	I.	21028-85	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 129-18 \\ 173-71 \end{array}$	s (1)	
83-432	9	I.	20899-67			
4823-522	10	I.	725-96			
5341-070	10	III.A	18717-64	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 129-20 \end{array}$	$1S-1p_2$	
94-677	7	I.A	531-65			
5407-432	6	III.A	487-97			
20-368	6	III.A	443-82			
32-555	5	I.A	402-45			
57-168	3	II.A	318-44	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 11-1 \\ 35-8 \end{array}$	$1S-1p_3$ - Multiplet III.	
70-640	8	II.A	274-33			
81-395	6	II.A	238-48			
5505-877	4	III.	157-38			
16-773	7	III.A	121-52			
37-749	8	III.	052-88	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 8-72 \\ 14-21 \end{array}$	S_c (2)	
6013-484	7	III.	16624-71			
16-636	7	III.	615-99			
21-787	8	III.	601-78			
6315-064	2	—	15830-78			$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 35-80 \\ 14-17 \end{array}$
6570-830	2	—	214-59			
86-357	2	—	178-79			
6605-546	2	—	134-62	$\left. \begin{array}{l} - \\ - \\ - \end{array} \right\} \begin{array}{l} 35-95 \\ 14-13 \end{array}$	S (3)	
7283-80	6	—	13725-33			
7302-92	6	—	689-38			
26-55	7	—	645-25	—	D (2)	
83-59	1	—	539-82			

TABLE VI. (continued).

λ (I.A.).	Int.	Temp. Class (Kint).	ν .	Ar.	Series.
7646.34	3	---	13074.56	$\left. \begin{array}{l} 9.52 \\ 7.38 \end{array} \right\}$	p (3)
51.91	3	---	065.04		
56.24	2	---	057.66		
8670.85	2	---	11529.71		
72.08	2	---	528.09		
74.01	2	---	525.53	$\left. \begin{array}{l} 4.8 \\ 3.5 \\ 2.6 \\ 1.1 \end{array} \right\}$	Multiplet II.
99.13	2	---	492.24		
8701.04	2	---	489.72		
03.73	3	---	486.17		
34.64	1	---	445.53		
37.29	2	---	442.05	$\left. \begin{array}{l} 14.2 \\ 8.7 \\ --- \\ 229.7 \\ 169.5 \end{array} \right\}$	f (4)
40.91	3	---	437.32		
11377.9	15	---	8786.6		
12899.7	80	---	7750.0		
13294.1	50	---	7520.1		
13317.9	30	---	7506.7	$\left. \begin{array}{l} 117.0 \\ 68.6 \end{array} \right\}$	Multiplet IV.
13625.7	200	---	7337.1		
13863.8	100	---	7211.1		
13997.0	120	---	7142.5		
15263.1	200	---	6550.0		
15964.9	200	---	6262.0	$\left. \begin{array}{l} 8.7 \\ --- \end{array} \right\}$	p (2)
17607.5	20	---	5677.9		
				---	f (3)
					s (2)

TABLE VII.—Classified Lines in the Spectrum of the Ionised Atom of Manganese.

λ (I.A.).	Int.	Temp. Class (KING).	ν .	$\Delta\nu$.	Series.
2427.43	3	—	41183.3	10.6 8.7 174.1 115.7 006.1	d^+ (?)
27.77	4	—	177.5		
27.97	4 ?	—	174.1		
37.45	5	—	015.7		
37.92	3	—	006.1		
38.22	3	—	001.1	176.9 263.6	d^+ (?)
52.63	10	—	40761.9		
53.17	2	—	751.3	263.58 176.91 366.03 33897.54 34011.62	p^+ (?)
53.65	1	—	743.0		
2576.116	10R	—	38806.52		
93.734	9 R	—	542.94		
2605.695	9R	—	366.03		
2949.207	10	IV.	33897.54	114.08 72.45	S^+ (?) or D^+ (?)
39.315	9	V.	34011.62		
33.066	8	V.	084.07	269.28 187.34 120.00 58.63 114.07	Multiplet ⁺
3497.540	6	V.	28583.37		
96.815	4	V.	589.30		
95.840	8	V.	597.26		
88.618	8	V.	655.89		
82.918	7	V.	703.37	72.53	
74.139	6	V.	775.90		
74.060	7	V.	776.65		
60.332	8	V.	890.71		
41.999	9	V.	29045.93		

In concluding this paper the author is anxious to express his great indebtedness to Prof. FOWLER, F.R.S., without whose constant direction and help the greater part of the investigation would not have been possible. Valuable assistance in taking the photographs and in preparing the paper has been rendered by Mr. W. B. RIMMER, D.I.C., M.Sc., and in many ways by Messrs. H. DINGLE, D.I.C., B.Sc., and J. A. HEY, D.I.C., B.Sc., of the Astrophysics Department of the Imperial College.

DESCRIPTION OF PLATES.

Spectra of Manganese.

Plate 1. Fig. 1. (a) Arc; (b) flame-arc.

Fig. 2. Arc, showing first diffuse triplet, enlarged 12 times.

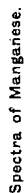
Fig. 3. (a) Arc; (b) spark.

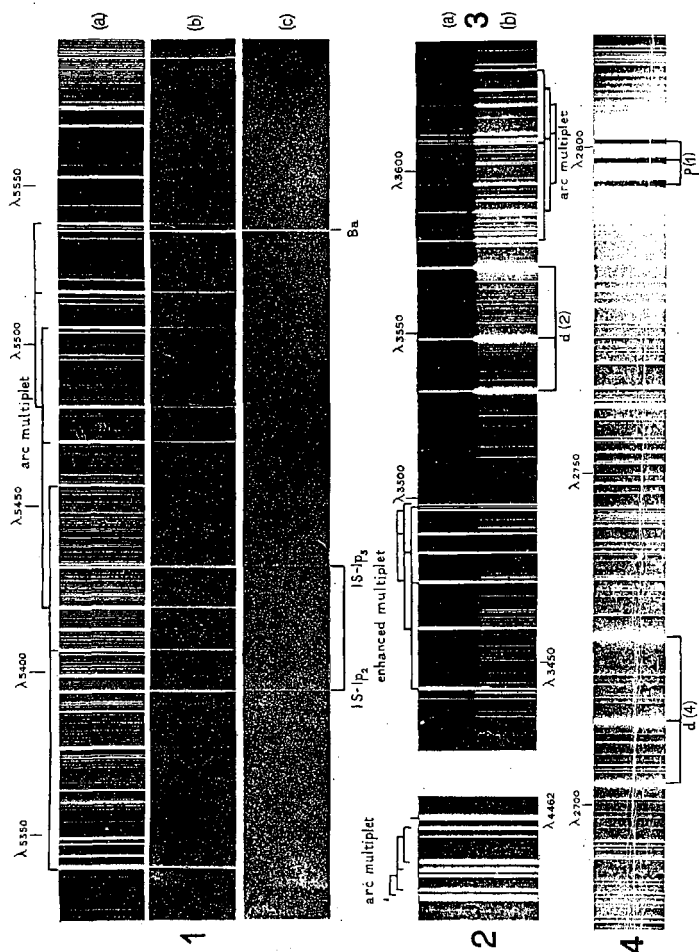
Figs. 4 and 5. Arc.

Plate 2. Fig. 1. (a) Arc; (b) middle of flame-arc; (c) edge of flame-arc.

Figs. 2 and 4. Arc.

Fig. 3. (a) Spark; (b) arc.





Spectra of Manganese.

Uno de los espectroscopistas más notables del siglo XX, Miguel Catalán es conocido, especialmente, por haber descubierto los multipletes, que constituyeron un elemento fundamental en el desarrollo de la física cuántica y de la astrofísica. En este libro se estudia el conjunto de su obra, al igual que el no menos fascinante, aunque difícil, mundo en que le tocó vivir.