

CIENCIA. REVISTA HISPANO-AMERICANA
DE CIENCIAS PURAS Y APLICADAS (1940-1975)* [I]

CRISTINA CARAPETO
ANTONIO PULGARÍN
JOSÉ M. COBOS
Universidad de Extremadura

RESUMEN

El trabajo es el avance de un proyecto más ambicioso que tiene como objetivo analizar, desde un punto de vista bibliométrico, la producción científica de la revista Ciencia, desde 1940 a 1975. Esta revista constituyó el canal formal de difusión científica entre los investigadores españoles exilados, por causas de la Guerra Civil Española de 1936. Para este caso se han seleccionado los artículos correspondientes a Física y Matemáticas, únicamente. Además, como anexo, se transcribe el discurso que Severo Ochoa pronunció, ante la Academia sueca, con motivo de la recepción del Premio Nobel.

ABSTRACT

A preliminary report is given of a more ambitious project whose aim is to analyse bibliometrically the scientific output of the journal Ciencia from 1940 to 1975. This journal was the formal channel of scientific communication amongst Spanish researchers in exile following the Spanish Civil War of 1936. For the present case, we selected only the articles on physics and mathematics. The acceptance speech of the Nobel laureate, Severo Ochoa, to the Swedish Academy is transcribed in an Annex.

Palabras Clave: Exilio, México, Latinoamérica, Siglo XX, Bibliometría, Revistas.

1. Introducción

La guerra civil española (1936-1939) supuso uno de los mayores éxodos conocido en España. Con la victoria franquista se resintió especialmente el campo científico (constituido significativamente por republicanos) que vieron

como se derrumbaban los esfuerzos realizados durante años para introducir la ciencia española en el ámbito universal.

Los «vencedores» darán cerrojo a las diversas instituciones que habían soportado, fundamentalmente, la investigación desde casi principios del siglo. Los «cruzados nacionales» acabarán con los «hierofantes de la impiedad —culpables máximos del desastre cultural, social y político de que acabamos de salir indemnes por obra del genio de V.E. [evidentemente Franco] y la sangre de la juventud» [IBÁÑEZ MARTÍN, 1940, pp. 4-5], para volver al más puro y rancio antiliberalismo: «Tal empeño ha de cimentarse, ante todo, en la restauración de la clásica y cristiana unidad de las ciencias, destruida en el siglo XVIII» [B.O.E. 28 de noviembre 1939], para ello «hay que imponer, en suma, al orden de la cultura, las ideas esenciales que han inspirado nuestro Glorioso Movimiento, en las que se conjugan las lecciones más puras de la tradición universal y católica con las exigencias de la modernidad.» [B.O.E. 28 de noviembre 1939]. Para que fuera correa de transmisión de este «glorioso movimiento nacional» se crea el Consejo Superior de Investigaciones Científicas.¹

La llegada al poder del Frente Popular significó que fuera acogido por la intelectualidad de forma no homogénea, así es claro que muchos intelectuales no eran partidarios de él, pero al ser demócratas lo aceptaron, aunque no todos, como forma legítima de Gobierno. A muchos de estos intelectuales les sorprenderá la insurrección en pleno apogeo en sus investigaciones, algunos en centros extranjeros bien aprendiendo nuevas técnicas o bien enseñándolas, lo que significará que algunos no volverán a España sino que directamente marcharán al exilio. Algunos incluso no esperarán al final sino que procurarán hacerlo cuanto antes. Las razones son variopintas pero algunos lo harán por miedo a lo que estaba ocurriendo. Este es el caso del anatomista y patólogo, alumno de don Pío del Río Hortega, Isaac Costero Tudenca, que cuando comienza la guerra se encuentra en Santander, cursos de verano, y su familia en Valladolid. El encuentro familiar tuvo lugar en Bayona. El no volver a España, se exilia en 1937, está motivado por la noticia que le llega del trágico destino de sus amigos y maestros, además de parientes, los hermanos Muniera, José María —discípulo de Pi Sunyer y Bellido— profesor de Fisiología de la Facultad de Medicina de Zaragoza y Augusto profesor de Histología de la misma Universidad.

El testimonio de Costero, se entera en Bayona, lo recoge Fernández Guardiola:

«Pero todavía no estaba enterado de todo. Augusto Muniera fue detenido en Zaragoza al iniciarse el movimiento insurgente; avisado José María, a quien los acontecimientos sorprendieron en el lado del Gobierno de la República, pasó la discontinua línea divisoria en ayuda de su hermano, que había sido miembro del ayuntamiento por el Partido Radical-Socialista y, por ello debería ser visto con desconfianza por los conservadores ahora dueños del poder. También fue detenido, pero ambos exonerados algunos días después por falta de méritos de la siguiente manera: les leyeron una orden de libertad en regla, se la hicieron firmar; enseguida los llevaron al campo de Valdespartera, en las afueras de la ciudad, y allí lo asesinaron a palos. El médico legista certificó «muerte por fractura de cráneo» [FERNÁNDEZ GUARDIOLA, 1997].

Ante este testimonio es fácil de entender el miedo y la salida al exilio en la primera oportunidad que tuvo, a pesar de que la decisión no resultaba muy halagüeña. El mismo Costero nos lo relata:

«No debo terminar este relato sin insistir de nuevo sobre el suceso que decidió mi vida actual, ya que nunca se desvanecerá en mí la angustia experimentada la tarde, en la primavera de 1937, que, encerrado en el cuarto oscuro y mientras revelaba unas microfotografías, en el departamento parisino del cirujano Clovis Vincent, decidí abandonar para siempre España. Mis abundantes lágrimas caían en los reactivos puestos en las cubetas de hierro esmaltado que entonces se usaban, mientras pensaba en mi hogar, tan humilde, pero que yo había considerado abrigo seguro y lugar de permanente convivencia para mi esposa e hijos [...] De pronto decidí cambiar por completo mi vida [...] lo esencial para mí en aquel decisivo momento era alejarme de la injusta, implacable, arbitraria intimidación a la cual en nuestro medio natural todos nos veíamos sometidos y que no me sentía con fuerza para sobrellevar [...] si alguien bien informado escribiese un día la crónica de los exiliados españoles de mi generación pondría de relieve la elevada proporción de los que perdieron la salud y la vida, al no soportar la forzada e injusta expatriación. [Costero, como todos nosotros, llevó siempre clavado el recuerdo y la necesidad de España, así nos relata.] Muchos soldados han sido más valientes en el pelotón de ejecuciones que ante el éxodo perpetuo. En todos los códigos, desde el de Justiniano hasta los de nuestros días el destierro figura como una pena severísima. La vida errante, separados del medio, de los amigos, del hogar [...] puede producir tal dolor, que pocos lo recuerdan sin estremecerse cuando lo han padecido.» [FERNÁNDEZ GUARDIOLA, 1997]

Otros lo harán por «asco», por considerarse lo suficientemente mayores para no necesitar ni un guía político ni religioso. Este es el caso de Francisco Vera. El testimonio, de los muchos que se podrían traer, lo sacamos de las palabras que José Rovira Armengol pronunció en el homenaje tributado por la Gran Logia Masónica Argentina a la muerte de Francisco Vera Fernández de

Córdoba. Estas palabras las publica el periódico bonaerense *España Republicana* en septiembre de 1967:

«Desde luego, a Don Francisco Vera no había manera de calificarlo de rojo a pesar de su adhesión al socialismo democrático. De masón desde luego y con mucha honra [...]

Don Francisco Vera salió al exilio no por masón, que lo era muy fervientemente, sino como habrían salido entonces de España, la inmensa mayoría de las personas que creyeran que España es un país de suficiente madurez política para no necesitar una dictadura. Nosotros los republicanos, fuimos derrotados en las elecciones el año 1933 y dejamos el poder. Ellos, los enemigos de la República, cuando fueron derrotados en las urnas, apelaron a la violencia [...]

Aunque algunos se exiliarán a lo largo de 1937 a 1939, el mayor éxodo será entre 1939 y 1940. Así:

«El 13 de junio de 1939 a bordo del *Sinaia* llegaron al puerto de Veracruz, procedentes del puerto francés de Sète, la primera expedición colectiva española. Transportaba a 1.681 refugiados españoles. Entre 1937 y 1942 llegaron a México aproximadamente 30 mil refugiados en 16 embarcaciones» [Biblioteca Miguel Lerdo de Tejada. *Boletín Bibliográfico Electrónico*, n.º 7].

Entre estas «embarcaciones» se encontraban los buques Ipanema y Mexique.

Otros países europeos e hispanoamericanos acogerán a españoles, pero al final, empuje del fascismo en Europa, serán los países allende del Atlántico los que servirán de destino definitivo a la mayoría de los exiliados españoles.

Es de sobra conocida y alabada la gran aportación que estos españoles exiliados hicieron en todos los campos: literario, artístico, científico, etc., en los países en que se asentaron. De todos estos países nos interesa México. La razón es que los científicos españoles que llegarán a partir de mediados de 1939 y fundamentalmente a lo largo de 1940, casi todos ellos tendrán reconocimiento internacional, van a jugar un papel decisivo para el desarrollo científico-cultural de este país centroamericano.

2. El exilio mexicano

A México llegaron filósofos de la talla de José Gaos, Joaquín Xirau y María Zambrano; poetas como Juan Rajano, José Bergamín, León Felipe,

Manuel Altolaquirre; novelistas como Benjamín Jarnés, Max Aub; historiadores como Rafael Altamira, Pedro Boch Gimpera, Wesceslao Roces; y un largo etc. Y científicos, José Giral, Blas Cabrera, Isaac Costero, Pedro Carrasco, Augusto Pi Sunyer, José Puche, Rafael Méndez, Manuel Márquez, Enrique Rioja, Francisco Giral e Ignacio Bolívar.

La siguiente tabla nos da una buena aproximación de la presencia de titulados españoles en el exilio mexicano [ORDOÑEZ APARICIO]:

<i>Profesión</i>	<i>Número</i>	<i>Porcentaje (%)</i>
Médicos	141	43
Ingenieros	83	27
Farmacéuticos	29	9
Arquitectos	19	6
Químicos	18	6
Ciencias Exactas	16	5
Ciencias Naturales	12	4
TOTALES	325	100

A partir de los datos aportados por los propios interesados se deduce que de los médicos 61 se dijeron sólo médicos; 1 de la marina; 2 cardiólogos; 16 cirujanos; 5 fisiólogos; 1 militar; 3 neuropsiquiatras; 1 nutriólogo; 2 oncólogos; 2 ginecólogos; 3 otorrinolaringólogos; 5 piel y venéreas; 2 psiquiatras; 1 puericultor; 1 radiólogo; 2 tisiólogos; 1 tocólogo; 1 urólogo; 4 oftalmólogos; 8 odontólogos; 7 pediatras, 12 veterinarios.

Entre los ingenieros siete sólo se dijeron ingenieros; 1 aeronáutico; 1 agrícola, 9 agrónomos; 5 caminos; 1 constructor; 4 electricistas; 26 industriales; 3 mecánicos; 15 militares; 4 minas; 3 montes; 3 químicos; 1 radio.

Una primera conclusión es que la medicina mexicana va a sufrir un empuje como no era previsible. Se van a desarrollar todas las ramas médicas, se crearán laboratorios de investigación tanto oficiales como privados donde estos españoles aportaran lo mejor de sus conocimientos.

Su inquietud cultural y científica se pone de manifiesto nada más salir hacia el exilio. Así durante la travesía editaran *Sinaia*, modesto periódico para información de los pasajeros. Nada más llegar a México fundarán *España Peregrina*, editada por Juan Larrea. Posteriormente aparecerá *Cuadernos*

Americanos, Las Españas, revista literaria, El correo de Euclides, etc. Y Ciencia. Revista hispano-americana de Ciencia puras y aplicadas.

Aunque se podrían traer bastantes más testimonios sobre la labor científica de los exiliados, en particular en México, sólo queremos transcribir lo dejado por Augusto Fernández:

«Una tarde de un verano de los años 60, después de comer; llegaron a mi laboratorio del Instituto de Investigaciones Biomédicas tres famosísimos investigadores de lo *neuro*. Eran Lindsley, Bullock y Galambos. Estaban muy alegres y contentos, tal vez no solamente por su misión, sino que algo ayudados por agentes externos a juzgar por un leve tufillo a buen tequila que alertó el fino olfato de mis gatos. Galambos, sin previo aviso me tomó una foto de mis pupilas, a unos 30 centímetros del ojo. Yo acababa de publicar un trabajo sobre el papel de las pupilas en la habituación y me sentí orgulloso, aunque funcional y pasajeramente tuerto por el *flash*. Enseguida nos explicaron el motivo de su visita, ¡estaban organizando una nueva Sociedad de Neurociencias, cuyo objetivo era evitar que los trabajos relacionados con el sistema nervioso estuvieran desperdigados en muchas sociedades plurales y querían que participara México, junto con Canadá y EUA. Al principio creí que nos estaban tomando el pelo o que el «reposado» los había euforizado demasiado. Pero el caso es que lo hicieron ¡y con qué éxito! En 1996, la Society for Neurosciences celebra su reunión anual número 26 y se presentan los trabajos de más de 20.000 asistentes» [FERNÁNDEZ GUARDIOLA, 1997].

3. La Revista Ciencia²

En Febrero de 1940 aparece, bajo la dirección de Ignacio Bolívar³, el primer número de la revista *Ciencia. Revista hispano-americana de Ciencias puras y aplicadas*.

Sus fines quedarán muy claros en la presentación:

«La revista *Ciencia*, que hoy aparece en el estadio de la prensa científica, tiene por finalidad primordial difundir el conocimiento de las Ciencias físico-naturales y exactas y sus múltiples aplicaciones, por considerarlas como una de las principales bases de la cultura pública, para lo que procurará, por todos los medios a su alcance, aumentar el interés hacia su estudio en los países hispano-americanos.»

Es necesario decir que el nivel científico era más bajo que el que los exiliados habían dejado en España. Así, Bolívar, escribe:

«Los que cultivan estas Ciencias en alguna de sus ramas, han de encontrar en la revista un auxiliar inestimable, que les mantendrá al corriente de los adelantos diariamente registrados en ellas, pues es notorio que para realizar una investigación fecunda, resulta indispensable haber agotado el conocimiento de la bibliografía a ella referentes conocimiento bien difícil de obtener si no se dispone de una biblioteca al día lo que, desgraciadamente, ni aun en los mismos establecimientos oficiales suele lograrse, por faltar en ellos, con frecuencia, las publicaciones periódicas que resumen el movimiento científico que, siendo muy numerosas, requieren cuantiosos fondos para su consecución.»

Para cumplir sus fines dividen la revista en siete secciones:

«La primera sección, *La Ciencia moderna*, incluirá artículos redactados por especialistas conocidos, que tratarán problemas científicos de actualidad en su conjunto...

La segunda sección, *Comunicaciones originales*, está dirigida a un número de lectores más reducido, ya que las notas o comunicaciones que comprenda irá cada una a buscar al especialista en determinada rama. Dada la lentitud con que frecuentemente aparecen las grandes revistas especializadas, considero de gran importancia ofrecer a los investigadores hispano-americanos una publicación mensual, absolutamente regular, en la que puedan dar a conocer sus últimas observaciones o estudios,...

Con la publicación de la tercera sección, *Noticias*, se tenderá a dar una amplia información relativa al movimiento universitario, académico y científico en general de los países hispano-americanos,...

La sección cuarta, *Ciencia aplicada*, incluirá artículos referentes a problemas de Ingeniería o Arquitectura, otros sobre procesos industriales o técnicos y, en general, tendrán en ella cabida todas aquellas cuestiones que no ofrezcan un carácter científico puro, y que tan especial interés presentan para los lectores ávidos de conocer los avances de las aplicaciones de la Ciencia en sus más variadas posibilidades.

En la sección quinta, *Miscelánea*, se recogerán informaciones científicas diversas, tales como problemas de enseñanza, cuestiones de organización y reglamentación, notas biográficas de científicos destacados, informaciones sobre centros de enseñanza o investigación, reseña de expediciones, etc.

En la sección *Libros nuevos*, sexta de nuestra revista, aparecerán reseñas de obras de reciente publicación, tanto de las de carácter general como de las especializadas. Casi siempre estas reseñas serán puramente informativas, pero ello no empecé para que, cuando así se estime oportuno, puedan comprender juicios críticos de las obras, cuya responsabilidad quedará a cargo de los colaboradores de la revista que las firmen.

Y, por último, en la sección *Revista de revistas*, se publicará una selección de notas de trabajos que se estimen de un mayor interés por su contenido, por tratar de

asuntos referentes a América o por estar redactados por investigadores hispano-americanos. Si la revista fuese bien acogida se daría mayor extensión a esta parte para incluir el mayor número posible de reseñas y aumentar su utilidad.»

Acompañando a Ignacio Bolívar, director, aparecen en la redacción: Carlos Bolívar Pieltain, Isaac Costero y Francisco Giral y en el Consejo de redacción aparecerán tanto españoles como hispano-americanos.

Entre los españoles exiliados figuraban los siguientes, en el primer número: Manuel Álvarez Ugena (ingeniero agrónomo, matemático, México), Julio Bejarano (médico, dermatología, México), Ángel Cabrera (zoología, Buenos Aires), Pedro Carrasco (físico, México), José Cuatrecasas (botánico, Cali y Bogotá, Colombia, después Chicago y Washington), Pedro Domingo (médico, bacteriólogo, Habana, Cuba), Arturo Duperier (físico, Manchester y Londres), Bernardo Giner de los Ríos (arquitecto, México), José Giral (bioquímico, México), Gonzalo R. Lafora (médico, neurólogo, México), Juan Gómez Menor (biólogo, Santo Domingo), Antonio Madinaveitia (química orgánica, México), Manuel Márquez (médico, oftalmólogo, México), Rafael Lorente de No (biólogo, Nueva York), Manuel Martínez Risco (físico, París), Enrique Moles (química inorgánica, París), José F. Nonidez (anatomía, U. Cornell, New York), José Andrés Oteyza (ingeniero agrónomo, matemáticas, Chapingo, México), Tomás G. Perrin (médico, México), Augusto Pi Suñer (médico, fisiólogo, Caracas), Miguel Prados Such (histólogo, Montreal, Canadá), José Puche (médico, fisiología, México), Pío del Río Hortega (médico, histólogo, Oxford y Buenos Aires), Enrique Rioja Lo-Bianco (biología marina, México), José Royo Gómez (mineralogía, geología, Bogotá, Colombia, después Caracas), Amós Salvador (arquitecto, Caracas), José Sánchez Covisa (médico, dermatología, Caracas), Antonio Trías (médico, cirugía, Bogotá).

La tabla siguiente nos dice los catedráticos o profesores de Universidad, así como los cargos académicos que ejercieron en España:

<i>CENTRO</i>	<i>Profesores</i>		<i>Cargo Académico</i>	
	<i>Catedrático</i>	<i>Otros</i>	<i>Rector</i>	<i>Decano</i>
<i>U. Complutense</i>	10	1	2	2
<i>U. Barcelona</i>	2	1		
<i>Instituto Cajal</i>		1		
<i>Escuela de Ingenieros</i>		2		
<i>Centros extranjeros</i>		1		
<i>U. Santiago de Compostela</i>	1			
<i>Valencia</i>	1			

Entremezclados con ellos, en el primer volumen, figuraban en el consejo de redacción los siguientes hombres de ciencia americanos de habla española y portuguesa:

Alfredo Baños (matemático, México), Gustavo Baz (cirujano, México, Rector de la UNAM), Enrique Beltrán (biólogo, México), Martín Cárdenas (biólogo, Cachabamba, Bolivia), A. Carini (biólogo, Sao Paulo, Brasil), José Cerdeiras (químico, Montevideo), Ignacio Chavez (médico, cardiólogo, México), Eduardo Cruz-Coke (médico, bioquímico, Santiago de Chile), Venancio Deulofeu (químico, Buenos Aires), Emmanuel Díaz (biólogo, Río de Janeiro), Enrique Díaz Lozano (ingeniero, México), Edmundo Escobel (Lima, Perú), Joaquín Gallo (astrónomo, México), Ignacio González Guzmán (médico, hematólogo, México), Salvador González Herrejón (médico, dermatólogo, México), Rafael Illescas (químico, México), José Joaquín Izquierdo (fisiólogo, México), Eugenio P. Lasnier (Montevideo, Uruguay), Antonio de B. Machado (biólogo, Oporto y Coimbra, Portugal y Angola), Manuel Martínez Baez (médico, parasitólogo, México), Carlos Martínez Durán (médico, Guatemala), Thales Martins (biólogo, Sao Paulo, Brasil), Rodolfo Matas (médico, Nueva Orleans, E.U.), Salvador Mazza (médico, Jujuy, Argentina), C. de Mello Leitao (zoólogo, Río de Janeiro), Francisco de P. Miranda (médico, nutriólogo, México), Ricardo Monges López (matemático, México), Armando Novelli (químico, La Plata y Buenos Aires, Argentina), Ezequiel Ordóñez (matemático, México), Oscar Orías (fisiólogo, Córdoba, Argentina), Fernando Orozco (químico, México), Miguel Ozorio de Almeida (biólogo, Río de Janeiro), Enrique Pérez Arbeláez (botánico, Bogotá), Carlos Porter (Santiago de Chile), Nicolás Puente Duany (médico, Habana), Eliseo Ramírez (médico, farmacólogo, México), C.M. Ramírez Corría (Habana, Cuba), Ángel H. Roffo (médico,

bioquímico, Buenos Aires, Argentina), Maximiliano Ruiz Castañeda (médico, bacteriólogo, México), Manuel Sandoval Vallarta (físico, Boston, EU y México), Gerardo Varela (médico, parasitólogo, México), Félix Veintemillas (médico, La Paz, Bolivia), José Zozaya (médico, farmacólogo, México).

Así nos encontramos investigadores cuyo centro de trabajo está en: Argentina, Bolivia, Uruguay, Chile, Colombia, Cuba, Inglaterra, Perú, República Dominicana, Estados Unidos, Portugal, Guatemala, Francia, Brasil, Venezuela y Canadá y evidentemente México.

La nómina de no españoles que colaborarán en la Revista puede verse en F. Giral [GIRAL, 1994, pp. 44-46].

Esta Revista, a lo largo de sus 29 volúmenes, sólo tendrá tres directores. A la muerte de Ignacio Bolívar le sustituirá Blas Cabrera y a la muerte de éste será Cándido Bolívar el último de los directores.

Empezará a publicarse bajos los auspicios de la Editorial Atlante, S.A. En el volumen III (1942) ya se agradece la ayuda a la Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, el Sr. Santiago Galas y el Banco de México; General Abelardo Rodríguez, ex Presidente de la República; la Secretaría de la Marina; D. Arturo Mundet, D. Luis Legorreta, los señores Mendizábal y Cía., de la Cía. Cerillera Mexicana, la Cervecería Moctezuma y la Cía. Hulera Euzkadi, S.A. Es decir ya aparecen patrocinadores⁴. A partir del volumen VII (agosto de 1946) dejará de publicarse bajo el auspicio de la Editorial Atlante y empezará bajo el patrocinio del PATRONATO DE CIENCIA con la ayuda económica de la Comisión impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica de México, comisión constituida a comienzos de 1943.

Como es lógico la aparición del primer número no tuvo una acogida unánime. Las razones son obvias, habría investigadores que ya estaban acostumbrados a que aparecieran y desaparecieran con la misma rapidez cierto número de revistas. Francisco Giral nos ha dejado un testimonio suficientemente significativo.

«Un caso muy significativo fue el del profesor de Fisiología de la Facultad de Medicina de la Universidad de Buenos Aires, don Bernardo Houssay, a quien escribimos solicitando colaboración, antes de aparecer la revista. La carta de respuesta fue una especie de reprimenda, negándonos la colaboración porque estaba hartado de las muchas revistas que se publicaban sin dar el nivel adecuado. Aquí, don Bernardo mostraba un sentido de responsabilidad científica como el mejor pensionado de la Junta madrileña.

Esto ocurría en 1940 cuando faltaban 6 años para que se le concediese el premio Nobel de Medicina. Pero al mandarle el primer número publicado en marzo de ese año, don Bernardo nos contestó enviando su colaboración; «Mecanismo de acción de la secreción hipertensora del riñón» que se publicó en el número 10, en diciembre de ese mismo año» [GIRAL, 1994, pp. 42-43].

Mientras tanto el ambiente científico español se basará, como ya se ha apuntado, en la creación del Consejo Superior de Investigaciones Científicas a cuyo frente se pondrá a un oscuro catedrático de Instituto llamado Alberda (posteriormente cura del Opus Dei). Este ambiente queda perfectamente retratado por el testimonio de Francisco Giral, la llegada a España de la revista *Ciencia*:

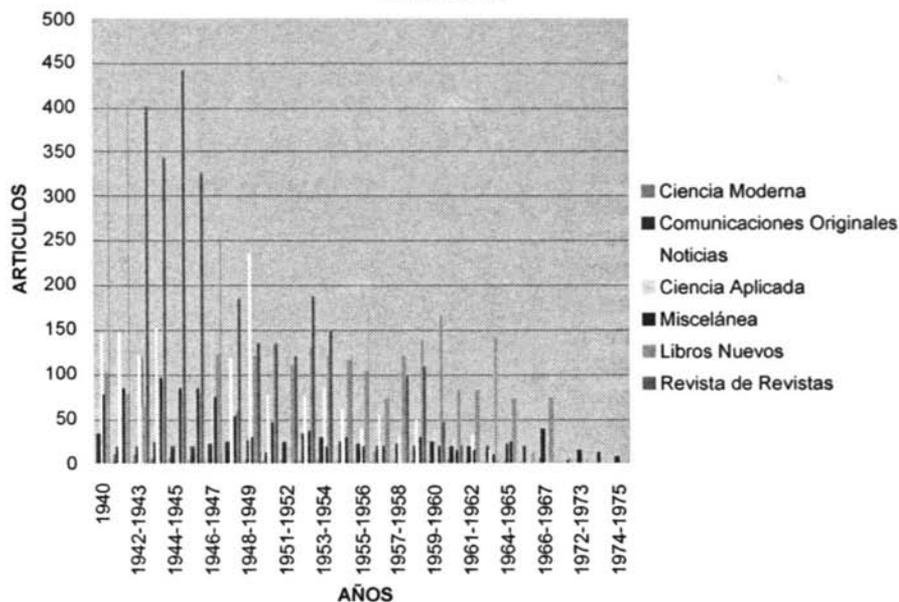
«Del primer número de la revista se remitieron a España unos quinientos ejemplares y supimos de la enorme satisfacción que produjo en los medios científicos españoles de 1940. Incluso se recibieron solicitudes de suscripción regular. Cuando en mayo de 1940 se fueron a entregar en la Administración de Correos de México los paquetes del tercer número destinados a España se mostró a los editores de la revista un oficio de la Administración de Correos de España recomendando a la Administración mexicana no admitiese paquetes de la revista CIENCIA pues serían íntegramente devueltos por haber sido prohibida su difusión en España. Jamás se escribió una sola línea de política en dicha revista, a diferencia del «Boletín» de la UPUUEE, pero el hecho de ver reunidos tantos nombres de la ciencia española exiliada trabajando y publicando desde México en colaboración con una selecta y numerosa lista de científicos hispanoamericanos parece que fue resentido por las autoridades tiránicas franquistas como una agresión peor que los ataques militares. Desde entonces, estuvimos enviando números sueltos en forma irregular» [GIRAL, 1994, p. 42].

Tal como se dice en la presentación en la revista tendrán acogida todos los trabajos importantes que fundamentalmente van a realizar los exiliados, aunque estará abierta a todos los hispano hablantes. Posteriormente se hará más universal, pero se empezará por traducir los trabajos que enviarán los extranjeros.

La Tabla 1, que se acompaña de dos gráficas, corresponde a las publicaciones que aparecen en todas las secciones: I, *La Ciencia moderna*; II, *Comunicaciones originales*; III, *Noticias*; IV, *Ciencia aplicada*; V, *Miscelánea*; VI, *Libros nuevos* y VII, *Revista de revistas*.

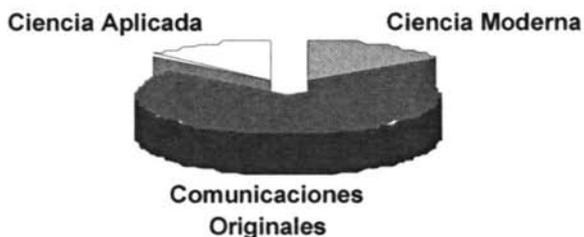
<i>VOLUMEN</i>	<i>AÑOS</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>III</i>	<i>IV</i>	<i>V</i>	<i>VI</i>	<i>VII</i>	<i>TOTAL</i>
I	1940	19	35	148	11	80	103	409	805
II	1941	11	21	147	10	84	80	402	755
III	1942-1943	10	19	123	8	120	65	402	747
IV	1943-1944	7	26	152	7	98	58	345	693
V	1944-1945	5	19	113	5	87	73	442	744
VI	1945-1946	8	20	153	8	86	78	330	683
VII	1946-1947	5	24	148	5	75	124	255	636
VIII	1947-1948	8	25	119	8	54	59	187	460
IX	1948-1949	6	27	238	7	29	122	137	566
X	1950-1951	4	13	78	4	46	137	137	419
XI	1951-1952	3	25	78	4	18	112	123	363
XII	1952-1953	3	34	76	4	38	131	188	474
XIII	1953-1954	6	28	85	6	19	123	150	417
XIV	1954-1955	3	25	61	5	28	117	121	360
XV	1955-1956	4	24	40	6	19	104	175	372
XVI	1956-1957	13	20	56	3	21	72	101	286
XVII	1957-1958	4	23	32	4	17	123	99	302
XVIII	1958-1959	3	20	48	4	28	141	110	354
XIX	1959-1960	4	25	38	3	20	168	47	305
XX	1960-1961	5	20	32	4	15	83	19	178
XXI	1961-1962	5	20	32	3	15	83		158
XXII	1962-1963	1	22	14	2	10	144		193
XXIII	1964-1965	4	24	2	2	25	72		129
XIV	1965-1966	1	19			1	12		33
XXV	1966-1967	5	40		2	21	74		142
XXVI	1968	1	1		1	3	7		13
XXVII	1972-1973		15				5		20
XXVIII	1973-1974		12		2				14
XXIX	1974-1975		9						9
<i>TOTAL</i>		<i>148</i>	<i>635</i>	<i>2013</i>	<i>128</i>	<i>1057</i>	<i>2470</i>	<i>4179</i>	<i>10630</i>

Gráfica 1.1



Gráfica 1.2

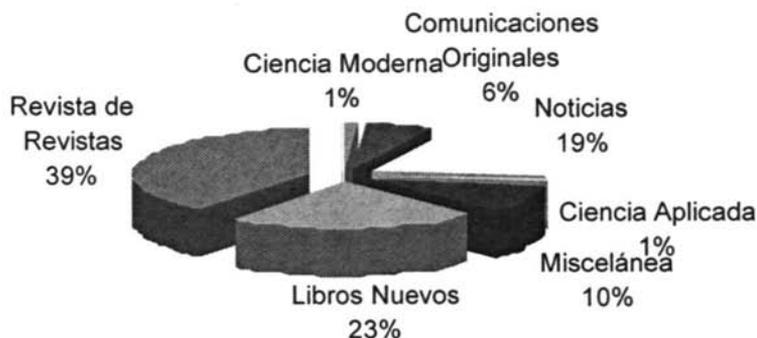
SECCIONES REVISTA CIENCIA ESTUDIADAS



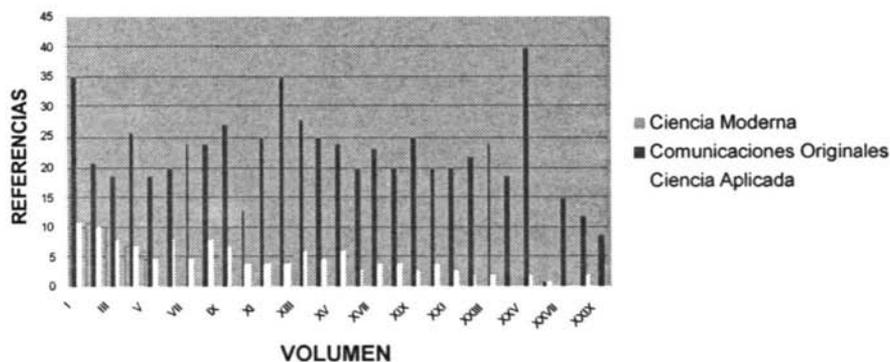
La tabla 2 con sus correspondientes gráficas nos dicen los trabajos que se publican en las secciones I, II y IV.

<i>VOLUMEN</i>	<i>I</i>	<i>II</i>	<i>IV</i>	<i>TOTAL</i>
I	19	35	11	65
II	11	21	10	42
III	10	19	8	37
IV	7	26	7	40
V	5	19	5	29
VI	8	20	8	36
VII	5	24	5	34
VIII	8	24	8	40
IX	6	27	7	40
X	4	13	4	21
XI	3	25	4	32
XII	3	35	4	42
XIII	6	28	6	40
XIV	3	25	5	33
XV	4	24	6	34
XVI	13	20	3	36
XVII	4	23	4	31
XVIII	3	20	4	27
XIX	4	25	3	32
XX	5	20	4	29
XXI	5	20	3	28
XXII	1	22	2	25
XXIII	4	24	2	30
XXIV	1	19		20
XXV	5	40	2	47
XXVI	1	1	1	3
XXVII		15		15
XXVIII		12	2	14
XXIX		9		9
<i>Total</i>	<i>148</i>	<i>635</i>	<i>128</i>	<i>911</i>

Gráfica 2.1



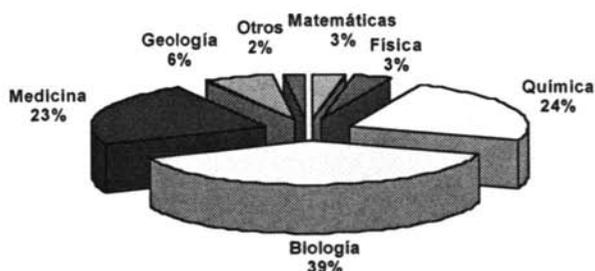
Gráfica 2.2



Y finalmente la Tabla 3, con su correspondiente gráfica, nos resumen los datos por materias: Matemáticas, Física, Química, Biología, Medicina, Geología y Otros.

VOLUMEN	MATEMÁTICAS	FISICA	QUÍMICA	BIOLOGÍA	MEDICINA	GEOLÓGIA	OTROS	TOTAL
I	1	7	9	19	25	2	2	65
II	-	4	5	11	19	2	2	43
III	2	5	4	15	8	2	-	36
IV	1	-	14	13	10	1	1	40
V	1	3	6	10	6	2	1	29
VI	-	4	12	15	3	2	-	36
VII	4	-	4	8	11	7	-	34
VIII	3	1	10	21	4	2	-	41
IX	3	1	15	9	7	4	1	40
X	1	2	7	6	2	2	1	21
XI	-	1	9	15	5	2	-	32
XII	2	-	10	15	9	5	-	41
XIII	3	-	14	12	6	2	3	40
XIV	2	-	12	11	8	-	-	33
XV	2	-	13	13	4	2	-	34
XVI	1	2	10	10	1	12	-	36
XVII	-	-	7	7	17	-	-	31
XVIII	1	-	9	9	5	2	1	27
XIX	-	-	9	16	7	-	-	32
XX	1	-	9	11	6	2	-	29
XXI	-	-	4	15	6	3	-	28
XXII	-	-	3	16	5	-	1	25
XXIII	-	-	5	14	10	1	-	30
XXIV	-	-	2	8	10	-	-	20
XXV	-	-	7	30	7	1	2	47
XXVI	-	-	1	1	1	-	-	3
XXVII	-	-	6	7	2	-	-	15
XXVIII	-	-	1	6	5	-	2	14
XXXIX	-	-	1	3	5	-	-	9
TOTAL	28	30	218	346	214	58	17	911

Gráfica 3.1



4. Breve análisis de los datos obtenidos

Los datos obtenidos hasta este momento, nos ponen de manifiesto que los exiliados llegados a México, casi todos formados en la Junta Para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (JAE), no sólo van a continuar con su labor sino que incluso crearán escuela.

Desde su fundación, la JAE, recibirá un apoyo total de todos los Gobiernos fueran del color que fueran, en detrimento de la Universidad y sólo será la de Madrid la que aprovechará estos frutos, de aquí que a esta Institución en diversos ámbitos universitarios se la considerara elitista. Sólo la Societat Catalana de Biología (1912) —filial del Institut d'Estudis Catalans—, el Instituto de Fisiología de Barcelona (1920) —Universidad-Diputación de Barcelona— y el Laboratorio Municipal de Microbiología admitirá comparación y dará hombres de proyección internacional, en particular Augusto Pi y Sunyer.

Ahora bien hay dos campos del saber que nos han llamado poderosamente la atención, en sentido negativo: la Matemática y la Física.

Respecto a la Física, el Instituto Nacional de Física y Química (Fundación Rockefeller) —anteriormente Laboratorio de Física— que dirigía Blas Cabrera producirá un grupo de investigadores como no había existido en épocas anteriores. Pero al ser investigadores punteros, algunos se quedarán en Europa o recalarán en laboratorios y universidades de Estados Unidos de Norteamérica: Duperier, Julio Palacios, Catalán Sañudo, Martínez Risco, Nicolás Cabrera Sánchez, etc. Por otro lado el mentor y promotor del grupo, Blas Cabrera Felipe, llegará a México en 1942, a un México que a pesar del esfuerzo económico que hará respecto a la enseñanza y a la investigación¹ no será suficiente para que el ilustre lanzaroteño pueda crear un grupo de investigación, como sí harán F. Giral, los Bolívar, etc.

Es llamativo el caso de Pedro Carrasco Garrorena, que siendo uno de los astrónomos de reconocida solvencia internacional, su llegada a México será aprovechada para impartir clases en la Universidad Autónoma de México D.F., Instituto Politécnico Nacional, Universidad de Morelia, Michoacán y en la Escuela Normal Superior, además de presidir el Instituto Luis Vives [VAQUERO MARTÍNEZ, 2002; VAQUERO MARTÍNEZ y COBOS BUENO, 2001].

En el Anexo 1, se transcriben los trabajos de física y matemáticas publicados. Vemos, respecto a los físicos, que el más prolijo es Blas Cabrera. Los trabajos que publica son el resumen-programa de un curso que dio en la Universidad Nacional de México D.F.

Además de Blas Cabrera el único exiliado español que publica en Física es Álvarez-Buylla.

Respecto a los matemáticos en el exilio mexicano serán y servirán para potenciar la enseñanza de esta rama de la ciencia. Todos, excepto Honorio de Castro, se dedicarán a la enseñanza de esta disciplina, partiendo de los Colegios creados por los exiliados y subvencionados por el Gobierno mexicano. En total crearán cuatro Colegios (primaria y secundaria) en México D.F. y tres en los estados (Córdoba, Veracruz; Tampico, Famaulipas, Torreón, Coahuila) [GIRAL, 1994, p. 84].

Se podrían dar razones variopintas sobre las actividades de estos matemáticos exiliados. Así como las razones expuestas para los físicos encajan perfectamente; en el caso de los matemáticos, creemos, hay razones más profundas. Si se analiza la cultura matemática española en el siglo XX se comprende, perfectamente, que se dedicaran a esta actividad.

Hay que empezar por decir que en esta rama del saber son muy pocos los que de alguna forma apostarían por la República en los años que median entre 1936 y 1939, por lo tanto será la comunidad científica que menos hombres «exportará» al exilio y por otro lado, la mayoría que buscarán refugio en otros países proceden del campo de la Enseñanza Media y en particular del Instituto-Escuela creación de la Institución Libre de Enseñanza [GIRAL, 1994, pp. 84-94].

Pero hay otra razón que se remonta a épocas anteriores incluso a la llegada de la II República. A pesar del esfuerzo que desplegará la JAE en potenciar, también, las investigaciones matemáticas, no tendrá el mismo fruto que en otras ramas del saber⁴.

Ausejo y Millán dicen que:

«En el laboratorio y Seminario Matemático, desde su fundación, buena parte de los matemáticos que tuvieron algún prurito investigador hicieron básicamente sus tesis doctorales —lo que ya suponía un claro avance— para dedicarse posteriormente a la Enseñanza Media o verse aislados del núcleo principal de la investigación matemática —

el madrileño, porque allí estaba, además del LSM, la primera universidad del país— en alguna universidad de provincias donde las posibilidades de renovación académica se vieron retardadas por falta de núcleos articulados que la pudieran impulsar» [AUSEJO y MILLÁN, 1989, p. 268].

Aunque en principio nos llamó la atención que Luis A. Santaló publique un solo trabajo, al ver la fecha (1940) fuimos conscientes de que fue un poco «descuidado» y que probablemente se le llamaría la atención, por Rey Pastor?, de lo peligroso que resultaría para las autoridades fascistas españolas el que su nombre figurara, puesto que ya estaba prohibida la entrada de la Revista en España. Así queremos interpretar la no aparición de Rey Pastor en la Revista, que aunque no tengamos más pruebas que la intuición, es llamativo que no figurara, ni siquiera, en el Consejo de Redacción.

El autor que más veces publicará será Honorato de Castro que, catedrático de Cosmografía y Física del Globo de la Facultad de Ciencias de la Universidad Complutense, se exiliará y contratado por la marina Norteamericana, fija su residencia en Puerto Rico, para en 1944 dar clase en la Universidad de Nuevo León en Monterrey y pasar definitivamente (1945) a trabajar para la empresa estatal Petróleos Mexicanos. Nunca dejará de colaborar en la Revista *Ciencia*, incluso en cargos directivos.

Además de Santaló y Castro otros exiliados españoles que publican son: Manuel Martínez Risco, Marcelo Santaló y Enrique Segarra.

El 25 de febrero de 1960, volumen XX, números 1–2, aparece en castellano el discurso pronunciado por Severo Ochoa el 11 de diciembre de 1959 con motivo de la recepción del premio Nobel. A pie de página se dice:

«Se publica este trabajo con la autorización del Dr. G. Liljestrand, secretario del comité Nobel de Fisiología y Medicina, Karolinska Institutet, Estocolmo.»

Si tenemos en cuenta que esta publicación rompía con lo habitual, que era no publicar estas conferencias, habrá que reconocer que Severo Ochoa, además de la solvencia de la Revista, debió jugar un papel decisivo. Hemos creído que es un documento importante, y que hasta la fecha no tenemos conocimiento de su publicación en España, para publicar una transcripción como Anexo II.

NOTAS

- * Forma parte del Proyecto «Aportaciones a la Ciencia de los investigadores españoles exiliados a partir de un estudio bibliométrico de la Revista *Ciencia* 1940-1975». Junta de Extremadura: 2PR02A055
1. Enormemente esclarecedor resulta la lectura del trabajo de Mariano Hormigón, *Ciencia y fascismo en la España de Franco*, que aparecerá en la obra colectiva *Política Científica y exilio en la España de Franco*, Badajoz, 2002.
 2. Debemos hacer la advertencia que nos falta completar alguno de los volúmenes.
 3. Es digno de mencionar que firma como «Director del Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid».
 4. Es norma de la Revista al iniciar un nuevo volumen nominar a personas e Instituciones que han colaborado en su publicación.
 5. Es digno de reseñar la investigación que se hará en los campos de la microbiología, neurociencias, bacteriología, química orgánica, etc.
 6. El trabajo de AUSEJO y MILLÁN, 1989, es fundamental para analizar el por qué del atraso que ha sufrido la matemática española en el siglo XX.

Anexo 1

- (1945) «Propiedades acústicas de las secciones de edificios» (sin autor). VI (5-6), pp. 221-226.
- ÁLVAREZ-BUYLLA, R. y BECKWITH, J. (1951) «Equipo electrónico para el estudio de potenciales bioléctricos», XI (5-6), pp. 163-172.
- BAÑOS, Alfredo Jr. (1940) «Análisis estadístico de coincidencias de rayos cósmicos». I (6), p. 261.
- BELTRÁN, Enrique (1941) «*El microscopio electrónico y sus posibilidades*». II (4), pp. 165-168.
- BLAU, Dra. Marietta (1940) «El Helio. Su origen y su localización». I (6), pp. 265-270.
- BLAU, Marietta (1941) «La radiactividad artificial y su aplicación en problemas de la ciencia moderna». II (4), pp. 145-154.
- BLAU, Marietta (1942) «La radiación solar en las condiciones de México». III (5-6), pp. 149-157.
- BLAU, Marietta (1944) «Algunas investigaciones sobre radiactividad llevadas a cabo en México». V(1-3), pp. 11-17.
- BLAU, Marietta (1944) «La radiactividad y el estado térmico de la Tierra». V(4-5), pp. 97-103.
- CABRERA, B. (1942) «El atomismo y su evolución». III (1), pp. 3-11.

- CABRERA, B. (1942) «El atomismo y su evolución (continuación)». III (3-4), pp. 97-108.
- CABRERA, B. (1942) «El atomismo y su evolución (continuación)». III (8-9), pp. 241-248).
- CABRERA, B. (1942) «El atomismo y su evolución (continuación)». III (10-11), pp. 289-299.
- CABRERA, B. (1945) «Evolución de las ideas en la Física». VI (5-6), pp. 197-207.
- CASTRO, Honorato de (1942) «Distancia entre dos puntos de la superficie terrestre». III (2), pp. 68-72.
- CASTRO, Honorato de (1943) «Construcción de cartas para aviación en proyección central sobre un tetraedro circunscrito a al esfera celeste o terrestre». IV (6-7), pp. 167-171.
- CASTRO, Honorato de (1944) «Latitud por observación de alturas circummedianas. Determinaciones gráficas en el método de aproximaciones sucesivas». V (1-3), pp. 45-50.
- CASTRO, Honorato de (1946) «Reducción a límites finitos de escalas de nomogramas de puntos alineados que se alejan indefinidamente». VII (1-3), pp. 29-31.
- CASTRO, Honorato de (1946) «Solución gráfica del problema de Potenot». VII (4-6), pp. 116-118.
- CASTRO, Honorato de (1947) «Punteros para observaciones de estrellas con el astrolabio de prisma de los Sres. Claude y Driencourt en puntos del estado de Nuevo león (México)». VII (11-12), pp. 407-412.
- CASTRO, Honorato de (1948) «Nomogramas de rectas concurrentes». VIII (10-12), pp. 298-300.
- CASTRO, Honorato de (1949) «Nomogramas de rectas concurrentes (continuación)». IX (11-12), pp. 318-320.
- CASTRO, Honorato de (1950) «Variaciones temporales de a la pesantez por influjo de la luna y el sol». X (1-2), pp. 29-40.
- CASTRO, Honorato de (1953) «Construcción de ábacos para la determinación de latitud por observación de alturas circum-meridianas». XII (9-10), pp. 253-255.
- CASTRO, Honorato de (1953) «Curvas de tiempos iguales». XIII (4-6), pp. 106-108.
- CASTRO, Honorato de (1953) «Tablas para corregir, dentro de la república mexicana, las observaciones gravimétricas de los influjos luni-solares». XII (11-12), pp. 301-310.
- CASTRO, Honorato de (1954) «Determinación gravimétrica del elipsoide que mas se ajuste a la realidad mexicana». XIV (7-8), pp. 169-171.

- CASTRO, Honorato de (1954) «Nivelación barométrica. Construcción de nomografías y cálculo de Tablas para determinar la diferencia de nivel D.N. entre dos puntos de latitudes j_1 y j_2 ». XIV (4-6), pp. 107-108.
- CASTRO, Honorato de (1955) «Nota breve sobre funciones esféricas». XV (1-3), pp. 47-48.
- CASTRO, Honorato de (1957) «Determinación de la ley de variación de velocidades sísmicas en un pozo petrolero». XVI (7-8), pp. 162-167.
- CASTRO, Honorato de (1959) «Solución algebraica del problema de las determinaciones de hora y latitud por la plomada». XVIII (9-10), pp. 207-211.
- CASTRO, Honorato de (1960) «Determinaciones gráficas de la distancia cenital y del acimut de una estrella». XX (5-6), pp. 145-149.
- CERRILLO, Manuel (1941) «Capacidad electrostática entre dos superficies cilíndricas simétricas de sección circular». II (2), pp. 73-77.
- GALLO, Joaquín (1944) «El eclipse de Sol total del 25 de enero de 1944» V (1-3), pp. 3-7.
- HAWKINS, H. Lacey (1945) «Pruebas aerodinámicas de modelos de aeroplanos en aire comprimido». VI (4), pp. 167-171.
- MARTÍNEZ BECERRIL, C. (1953) «Valuación de áreas sobre la superficie de la tierra». XIII (11-12), pp. 297-298.
- MATA, Emilio R. (1940) «Progresos recientes de la luminotecnia». I (3), pp. 122-125.
- MATA, Emilio R. (1950) «Los vectores de la electrodinámica y los vectores de la electrónica». X (3-4), pp. 99-102.
- PIZÁ, Pedro A. (1947) «Números escaladores». VIII (9-10), pp. 317-320.
- PIZÁ, Pedro A. (1947) «Triángulos aritméticos ultra pascalinos». VIII (6-9), pp. 145-152.
- PIZÁ, Pedro A. (1948) «Sumación de potencias numéricas». IX (1-3), pp. 23-26.
- PIZÁ, Pedro A. (1949) «Sobre los cuadrados de ciertos números triangulares». IX (7-10), pp. 227-228.
- PIZÁ, Pedro A. (1954) «Generalización del teorema de Pitágoras». XIII (11-12), pp. 271-274.
- RISCO, M. (Manuel Martínez Risco) (1947) «Imágenes microscópicas producidas por un haz de electrones de retroceso». VIII (6-9), pp. 157-162.
- RISCO, M. (Manuel Martínez Risco) (1948) «Imágenes microscópicas producidas por un haz de electrones de retroceso». IX (4-6), pp. 119-121.
- RISCO, M. (Manuel Martínez Risco) (1950) «Concepto interferencial de las imágenes ópticas móviles en la teoría de la relatividad». X (1-2), pp. 23-24.
- RIVA, Jorge de la (1940) «Nuevos métodos de grabado de sonido. La impresión «push-pull»». I (4), pp. 165-167.

- SABATO, Ernesto R. (1941) «Equipo para estabilización de voltaje». II (6-7), pp. 268-269.
- SANDOVAL VALLARTA, Manuel (1940) «El subjetivismo de Eddington». I (9), pp. 386-390.
- SANDOVAL VALLARTA, Manuel (1940) «La radiación cósmica». I (7), pp. 289-295.
- SANDOVAL VALLARTA, Manuel (1945) «Aspectos físicos de la teoría de la gravitación de Birkhoff». VI (1), pp. 9-12.
- SANDOVAL VALLARTA, Manuel (1956) «Rayos cósmicos». XVI (11-12), pp. 296-297.
- SANTALÓ SORS, Marcelo (1942) «Interés continuo a tanto por uno variable». III (1), pp. 20-21.
- SANTALÓ, Luis A. (1940) «Sobre las probabilidades continuas». I (8), pp. 343-347.
- SEGARRA, Enrique (1940) «Algunos procedimientos rápidos de cálculo de las condiciones acústicas de una sala de audición». I (9), pp. 411-414.
- SHAPLEY, Alan H. (1956) «Solar activity, world days and communications». XVI (11-12), pp. 286-289.
- TOSCANO, Ricardo (1956) «Determinación simultánea de la altitud y la longitud». XVI (11-12), pp. 257-260.
- TREVIÑO G., José (1946) «Consideraciones acerca de las clases no numerables». VII (7-8), pp. 197-201.

Anexo II

*SÍNTESIS ENZIMÁTICA DEL ÁCIDO RIBONUCLEICO*** *por Severo Ochoa*

*Departamento de Bioquímica • New York University • Nueva York (EE. UU.)****
Conferencia Nobel, 11 de Diciembre de 1959

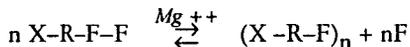
Los ácidos nucleicos tienen considerable importancia biológica debido a la función que desempeñan en el crecimiento celular y en la transmisión de los caracteres hereditarios. Sugerida primeramente por la obra precursora de Caspersson y Brachet, la primera de las funciones mencionadas la lleva a cabo el ácido ribonucleico (ARN) a través de su participación en la biosíntesis de las proteínas. La segunda de las funciones la cumple el ácido desoxirribonucleico (ADN), componente principal de los cromosomas nucleares. No obstante, es de señalar que en ciertos virus, como los del mosaico del tabaco, de la gripe y de la poliomielitis, que se hallan constituidos por ARN y proteínas, es precisamente el ARN el portador de la información genética.

La mayor parte del ARN de las células se encuentra en el citoplasma. Existen dos clases de ARN citoplásmico. Una de ellas, de magnitud molecular relativamente pequeña, se encuentra en el fluido citoplásmico y, por ello, será mencionada como ARN soluble; la otra, de peso molecular mucho mayor, es un componente de las partículas de ribonucleoproteína de los microsomas. Ambos tipos de ARN desempeñan una función esencial en la síntesis de las proteínas. Por otro lado, existe una pequeña cantidad de ARN en el núcleo celular, localizándose la mayor parte en el nucleolo. Existen indicaciones de que la mayor parte —o quizás todo— del ARN citoplásmico se sintetiza en el núcleo y se transporta después al citoplasma. Se supone que, en la transmisión de la información genética, el ADN nuclear determina la naturaleza del ARN nuclear, el cual, a su vez, al entrar al citoplasma, determina la naturaleza de las proteínas que se sintetizan.

Si bien se han logrado notables avances en nuestro conocimiento sobre el mecanismo de síntesis de los nucleótidos, componentes de los ácidos nucleicos, hasta hace poco tiempo se ignoraba la manera en que se sintetizan las moléculas gigantes de los ácidos nucleicos. Nuestros conocimientos actuales se deben al descubrimiento de fermentos (enzimas) capaces de catalizar la síntesis del ARN y del ADN en el tubo de ensayo a partir de precursores naturales de estructura más simple. Semejantes precursores son los di y trifosfatos de los nucleósidos cuyas fracciones nucleotídicas —los monofosfatos— se polimerizan liberando ortofosfato en el primer caso o pirofosfato en el segundo.

Fosforilasa de los Polinucleótidos

En 1955 aislamos un fermento bacteriano capaz de catalizar la síntesis de polirribonucleótidos de elevado peso molecular a partir de difosfatos de nucleósidos, con liberación de ortofosfato (1, 2). La reacción, que necesita iones de magnesio y es reversible, puede formularse mediante la ecuación



en que R representa la ribosa, F-F el pirofosfato, F el ortofosfato y X una o varias de las bases heterocíclicas adenina, hipoxantina, guanina, uracilo, citosina u otras. En sentido inverso, el fermento escinde los polirribonucleótidos con intervención del fosfato —es decir, una fosforólisis— produciendo difosfatos de ribonucleósidos. La reacción es similar a la síntesis y escisión reversibles de los polisacáridos catalizadas por la fosforilasa; a esto se debe que el nuevo fermento fuese denominado fosforilasa de los polinucleótidos. Debido a su reversibilidad, la reacción provoca la incorporación o «intercambio» del ortofosfato en el fosfato terminal de los difosfatos de nucleósidos. Merced a este intercambio pudo descubrirse la fosforilasa de los polinucleótidos utilizando fosfato radiactivo. En nuestro trabajo inicial, en colaboración con Grunberg-Manago, se purificó parcialmente la fosforilasa de los polinucleótidos, utilizando la reacción de intercambio del radiofosfato y partiendo del microorganismo *Azobacter vinelandii*. El fermento tiene la característica peculiar de que cataliza no sólo la síntesis del ARN a partir de mezclas de

los cuatro difosfatos de ribonucleósidos que se encuentran en la Naturaleza sino también la de polirribonucleótidos no naturales que contienen sólo uno, dos o tres tipos diferentes de nucleótidos en sus cadenas. La naturaleza del producto depende del tipo y de la variedad de los substratos —difosfatos de nucleósidos— utilizados para la síntesis (3, 4). La Tabla 1 incluye los principales tipos de polirribonucleótidos que han sido preparados con fosforilasa de los polinucleótidos. Recientemente se ha anunciado la preparación del ácido polirribotimidílico a partir de difosfato de ribotimidina sintético (5).

Tabla I

POLIRRIBONUCLEÓTIDOS SINTÉTICOS

<u>Substrato</u>	<u>Polímero</u>
DFA	Poli-A
DFEG	Poli-G
DFU	Poli-U
DFC	Poli-C
DFI	Poli-I
Difosfato de ribotimidina	Acido polirribotimidílico
DFA + DFU	Poli-AU
DFG + DFC	Poli-GC
DFA + DFG + DFU + DFC	Poli-AGUC (ARN sintético)

Estructura de los polinucleótidos.— En una serie de experimentos llevados a cabo juntamente con L. A. Heppel (6-8), ha podido establecerse que la estructura de los polirribonucleótidos sintéticos coincide en todos sus detalles con la del ARN. Así, se ha podido encontrar, por degradación alcalina o con fermentos tales como la fosfodiesterasa del veneno de serpiente y la fosfodiesterasa del bazo o la ribonucleasa pancreática, que estos polinucleótidos están formados por cadenas no ramificadas en que las unidades de los nucleósidos se unen entre sí mediante puentes de fosfodiéster en 3', 5'. La identidad estructural con el ARN natural se demuestra, fácilmente por el efecto, de la ribonucleasa pancreática sobre el polímero sintético poli-AU. Por lo que sabemos de la acción de la ribonucleasa sobre el ARN, el poli-AU deberá degradarse en los puntos indicados por flechas en la fig. 1. En consecuencia, el único mononucleótido que se liberará será el ácido uridílico (3'-monofosfato de uridina), juntamente con una serie de pequeños oligonucleótidos constituidos cada uno de ellos, por un residuo de ácido uridílico y uno o más residuos de ácido adenílico.

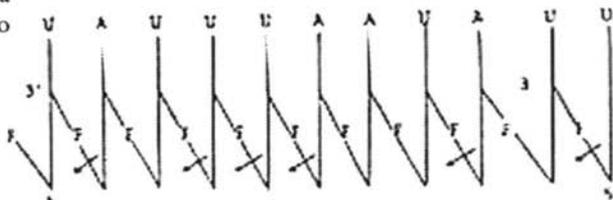


Fig. 1.—Esquema de la hidrólisis del poli-AU mediante la ribonucleasa pancreática. Las líneas verticales representan los residuos de ribosa; A y U representan las bases adenina, y uracilo, respectivamente. Los puntos de escisión se señalan con flechas (3).

La figura 2 es una fotografía ultravioleta de un cromatograma que ilustra la separación de los mono, di, tri, tetra y pentanucleótidos, cada uno de ellos con valores decrecientes de R, obtenidos por digestión del poli-AU con ribonucleasa. Las manchas individuales se eluyeron por separado y los respectivos oligonucleótidos se identificaron mediante hidrólisis alcalina. La digestión del ARN sintético con ribonucleasa produce mezclas de oligonucleótidos juntamente con ácidos uridílico y citidílico. Hasta donde han podido ser identificados, semejantes oligonucleótidos son idénticos a los que se obtienen del ARN natural bajo las mismas condiciones.

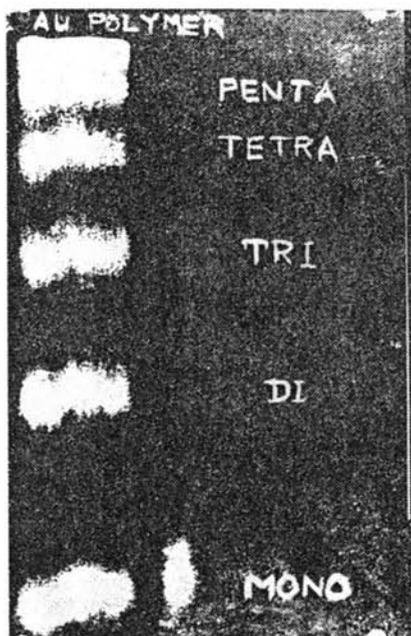


Fig. 2.— Productos de la hidrólisis del poli-AU (AU polymer) mediante la ribonucleasa (L. A. Heppel). El origen se encuentra en la cabeza del cromatograma. La mancha del centro al fondo se debe al 3'-fosfato de uridina (3).

La cuestión de saber si una especie de mononucleótido determinado se une a nucleótidos de otra especie en la cadena de polinucleótidos, como ocurre con el ARN natural, se puede resolver fácilmente por degradación del ARN sintético marcado con fosfato radiactivo (9). La fig. 3 presenta la estructura de un polinucleótido (poli-A*GUC) preparado a partir de una mezcla de difosfato de adenosina marcado con P^{32} en el primer grupo de fosfato (adenosina- F^{32} -F) con difosfos de guanosina, de uridina y de citidina no marcados.

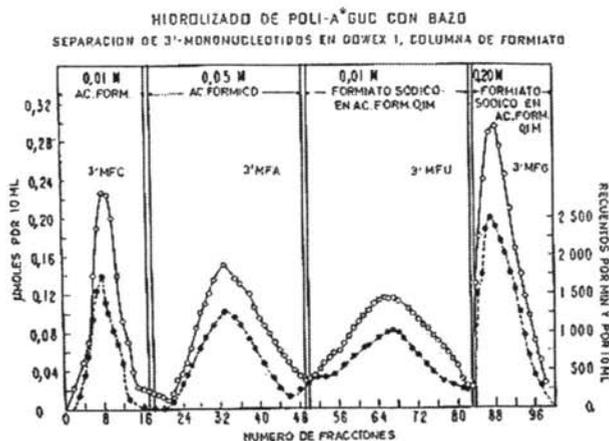


Fig. 4—Hidrólisis de poli-A*GUC con fosfodiesterasa de veneno de serpiente (arriba) o de bazo (abajo), separando los mononucleótidos mediante cromatografía de intercambio de iones. Las curvas indican la concentración de nucleótidos (—○—○—) y la radiactividad (—*—*—) en función de fracciones (12).

Si bien es verdad que una variación importante en la proporción relativa de los diferentes substratos de difosfato de nucleósidos tiene una influencia notable sobre la proporción de los diversos nucleótidos en el polímero resultante, cuando se prepara ARN sintético a partir de mezclas equimoleculares de difosfatos de adenosina, guanósina, uridina y citidina, la composición en nucleótidos del producto es muy semejante a la del ARN natural de *Azotobacter*. Esto se demuestra en la Tabla II que registra las proporciones de las diversas bases en el ARN de *Azotobacter* y en dos muestras diferentes de producto sintético. Advértase que dichas proporciones difieren mucho de la equimolaridad a pesar de haber utilizado concentraciones equimoleculares de los difosfatos de nucleósidos precursores del ARN.

Tabla III

PROPORCIÓN DE BASES EN LOS ARN NATURAL Y SINTÉTICO (9)

Base	ARN de <i>Azotobacter</i>	Poli-AGUC	Poli-AGUC
Adenina	1,00	1,00	1,00
Guanina	1,30	1,16	1,25
Uracilo	0,73	0,66	0,69
Citosina	0,90	0,72	0,73

Los polirribonucleótidos sintéticos se asemejan también al ARN natural en el tamaño. Su peso molecular varía entre unos 30.000 y uno a dos millones. La constante

de sedimentación de muestras de ARN aislado de células enteras de *Azotobacter*. Los polinucleótidos que contienen un solo tipo de nucleótido tales como los ácidos polidianílico y policitidílico, son a menudo de gran tamaño lo que confiere una elevada viscosidad a sus soluciones. Resulta posible seguir visualmente el curso de la síntesis por el marcado aumento en viscosidad que se verifica al incubar los difosfatos de nucleósidos con una pequeña cantidad (unos microgramos) del fermento. El ARN natural posee una acción biológica no específica que también tiene el ARN sintético. Este último es tan efectivo como aquél en cuanto a estimular la formación de estreptolisina S —una lecitinasa— por los estreptococos hemolíticos (10).

Mecanismo de reacción.— Para estudiar el mecanismo de acción de la fosforilasa de los polinucleótidos era necesario disponer de preparaciones del fermento sumamente purificadas. La última fase de la purificación (fig. 5) consistió en cromatografía sobre una columna de hidroxil-apatito, método desarrollado por Tiselius y colaboradores (11). Solamente por cromatografía fue posible separar el fermento de una proteína amarilla contaminante, de naturaleza desconocida, tal como se ve en la figura. Dicha proteína se eluye a una concentración de amortiguador más alta que la necesaria para eluir la fosforilasa. Después de la cromatografía, el fermento se halla purificado unas 600 veces con relación al extracto inicial de las células de *Azotobacter*. El fermento intensamente purificado contiene un oligonucleótido (12) que no se puede separar ni por tratamiento con carbón activado ni por la acción de la ribonucleasa. Puesto que no ha sido posible eliminar el oligonucleótido sin destruir la proteína enzimática,

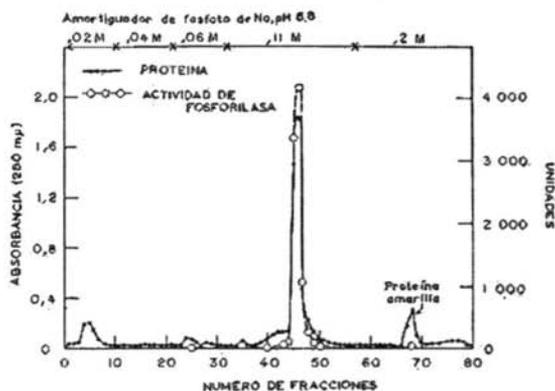


Fig. 5.- Cromatografía de la fosforilasa de los polinucleótidos del *Azotobacter* sobre hidroxil-apatito (S. Ochoa y S. Mii, sin publicar).

queda por decidir si este compuesto —que representa un 3,5% del fermento— es un grupo prostético o una impureza. El oligonucleótido está formado por unos doce residuos de nucleótidos de los ácidos adenílico, guanílico, uridílico y citidílico, aproximadamente en las mismas proporciones relativas que en el ARN del *Azotobacter*. Se puede aislar después de desnaturar la proteína con ácido perclórico o con fenol.

Dado que el fermento del *Azotobacter* puede sintetizar ARN lo mismo que polinucleótidos con una sola especie de nucleótido, es importante decidir si se trata de un solo fermento o de una mezcla de fermentos afines que actúen, cada uno de ellos, sobre diferentes difosfatos de nucleósidos. Aunque no es fácil resolver este problema de una

una manera inequívoca, parece verosímil que se trate de un solo fermento puesto que la actividad para cada uno de los distintos difosfatos de nucleósidos aumenta en la misma proporción durante la purificación del fermento. Así se demuestra en la Tabla III, donde puede verse que la actividad para cada uno de cinco distintos difosfatos de nucleósidos (medida por la técnica de intercambio de difosfato radiactivo) aumenta aproximadamente en la misma proporción entre dos etapas avanzadas de purificación. Lo mismo ocurre en los primeros pasos de la purificación.

Tabla III

VALORACIÓN POR INTERCAMBIO DE P^{32} CON DIFERENTES FOSFATOS DE NUCLEÓSIDOS
(S. Mii y S. Ochoa, *sin publicar*)

Resultados: micromoles de P^{32} intercambiado por mg de proteína enzimática. 15 min. a 30°

Fración enzimática	DFA	DFG	DFU	DFC	DFI
Eluato de gel de $(PO_4)_2Ca_3$	39	33	46	35	41
Después de cromatografía	316	300	370	280	370
Relación de purificación	8,1	9,1	8,0	8,0	9,0

Las preparaciones parcialmente purificadas de la fosforilasa de los polinucleótidos son capaces de iniciar la síntesis de los polinucleótidos inmediatamente después de agregar el fermento a un sistema que esté completo en los demás aspectos. Sin embargo, éste no es el caso con las preparaciones intensamente purificadas. Cuando se utilizan estas, casi siempre hay un lapso más o menos pronunciado aunque, eventualmente, la reacción puede iniciarse y aumentar de modo gradual su velocidad. El equilibrio no se alcanza incluso después de muchas horas de incubación. La velocidad de reacción se estimula marcadamente añadiendo pequeñas cantidades de oligonucleótidos o de polinucleótidos que actúen como iniciadores de la reacción, de la misma suerte que actúa el glucógeno en la síntesis de polisacáridos a partir del 1-fosfato de glucosa mediante la fosforilasa de los polisacáridos. El efecto iniciador de los oligorribonucleótidos fue descubierto por Heppel y colaboradores (13) y el efecto iniciador de los polinucleótidos se encontró en nuestro laboratorio (14). Los principales oligonucleótidos iniciadores que se han empleado han sido ácidos di, tri o tetra-adenílicos aislados como productos de reacción de la hidrólisis del ácido poliadenílico por una nucleasa hepática (15).

La iniciación por oligonucleótidos no es específica. Los ácidos oligoadenílicos pueden iniciar la síntesis de ácidos poliadenílicos y poliuridílicos lo mismo que la del ARN o de cualquier otro polinucleótido. La iniciación por polinucleótidos, en cambio, muestra cierto grado de especificidad. En efecto, el ácido poliadenílico solamente inicia su propia síntesis y lo mismo puede decirse del ácido poliuridílico. Por otro lado, el ARN

—lo mismo el natural que el sintético— inicia la síntesis del ARN así como la del ácido poliadenílico o la del ácido poliuridílico. El ácido policitidílico, por su parte, tiene un comportamiento muy curioso y completamente inexplicado ya que es capaz de iniciar la síntesis de todos los polinucleótidos que se han ensayado hasta ahora (Tabla IV). La fig. 6 demuestra la iniciación de la síntesis, del ARN con fosforilasa de los polinucleótidos intensamente purificada, mediante ácido triadenílico (ATA), ARN del hígado y ácido policitidílico (poli-C). El efecto de los diferentes polinucleótidos sobre la reacción sintética se ilustra en la Tabla IV. Adviértase que el ácido poliadenílico no sólo carece de efecto sino que incluso inhibe la lenta síntesis del ácido poliuridílico, síntesis que se verifica en ausencia del iniciador; lo contrario también es cierto. Debe advertirse además que la síntesis del ácido policitidílico solamente es iniciada por el ácido policitidílico mismo.

Tabla IV

ESPECIFICIDAD DE LA INICIACIÓN POR POLINUCLEÓTIDOS (14 Y DATOS SIN PUBLICAR)

Polímero sintetizado	Efecto					
	Poli-A	Poli-U	Poli-C	Poli-I	Poli-AU	ARN(natural o sintético)
Poli-A	+	-	+	0	+	+
Poli-U	-	+	+	0	+	+
Poli-C	-	-	+			-
Poli-G	0	0	+			
Poli-I	-	0	+	+		
Poli-AU					+	
Poli-AGUC	0	0	+			+

+ indica iniciación; - indica inhibición; 0 indica que no hay efecto. Los espacios en blanco significan que se carece de información.

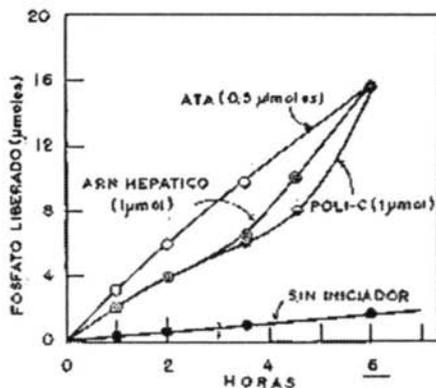


Fig. 6.—Iniciación de la síntesis de ARN (S. Ochoa y S. Mii, sin publicar)

Síntesis de ARN

Difosfatos (A+G+U+C), 5 μ moles de cada uno Mg^{++} , 2,0 μ moles.
 Fermento 140 μ g
 TRIS, pH 8,1, 150 μ moles
 Volumen 1,0 ml.

El mecanismo de la iniciación por polinucleótidos, así como la causa y la significación de la especificidad que se acaba de describir, permanecen por ahora sin explicación. Teóricamente, cabe la posibilidad de que los polirribonucleótidos funcionen como plantillas para su propia reproducción pero ello no se ha demostrado experimentalmente. Por otro lado, el modo de acción de los oligonucleótidos como iniciadores ha sido demostrado por Heppel y sus colaboradores en una serie de elegantes experiencias (13, 16). Ellos pudieron probar que los oligonucleótidos sirven como núcleos para el crecimiento de las cadenas de polinucleótidos por adiciones sucesivas de unidades de mononucleótidos. Debe recordarse que la fosforilasa de los polisacáridos actúa de una manera similar catalizando la adición sucesiva de residuos glucosílicos a las unidades terminales de un polisacárido iniciador. Así, cuando la síntesis del ácido poliuridílico es iniciada por los ácidos di o triadenílico, las nuevas cadenas de polinucleótido deben consistir de cierto número de residuos de ácido uridílico precedidos de dos o tres restos de ácido adenílico. Esto es lo que se representa esquemáticamente en las porciones superior y media de la fig. 7. Que así es, en efecto, fue demostrado por una digestión con ribonucleasa del ácido poliuridílico sintetizado en presencia de ácido diadenílico como iniciador (13, 16). Según se ve en la porción media de la fig. 7, la ribonucleasa debería liberar un trinucleótido (fAfAfUf) procedente del comienzo, una molécula de uridina procedente del final y diversos residuos de 3'-monofosfatos de uridina procedentes del resto de la cadena. El trinucleótido se aisló por cromatografía y se hidrolizó con hidróxido de potasio. Como se indica en la parte inferior de la fig. 7, esta hidrólisis debería proporcionar cantidades equimoleculares de 5',3'- La figura demuestra que las cantidades recuperadas en la realidad concordaban bien con las previstas por la teoría.

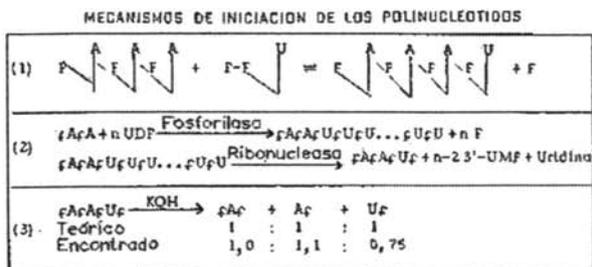


Fig. 7.- Mecanismos de iniciación por los oligonucleótidos (según datos de M. F. Singer, L. A. Heppel y R. J. Hillmo, 13)

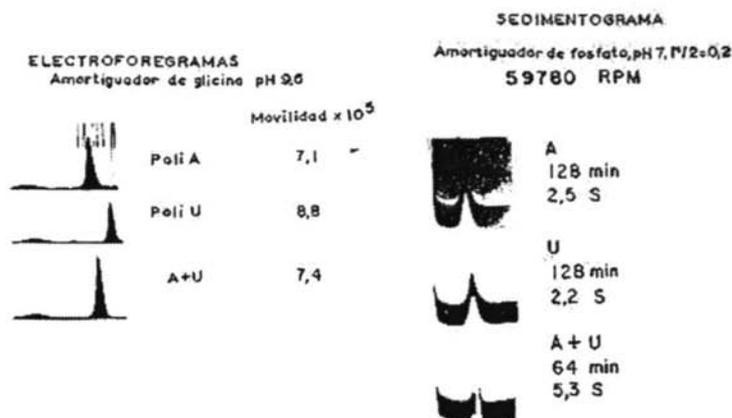


Fig. 8.— Imágenes de electroforesis y de sedimentación de poli-A, poli-U y poli A+U (27)

Parece justificado llegar a la conclusión que la fosforilasa de los polinucleótidos puede ser incapaz de iniciar la síntesis de una cadena de polinucleótido a partir de difosfatos de nucleósidos como únicas sustancias reaccionantes y que probablemente es indispensable la presencia de un oligonucleótido que sirva como núcleo para el crecimiento de nuevas cadenas de polinucleótidos. Si el fermento pudiera obtenerse rigurosamente exento de oligonucleótidos iniciadores, semejante fermento debería resultar inactivo en ausencia de oligonucleótidos.

Significación biológica.— La fosforilasa de los polinucleótidos se halla ampliamente distribuida en las bacterias. El fermento se ha podido purificar parcialmente a partir de otros microorganismos diferentes de *Azotobacter vinelandii* (17-19), habiéndose sintetizado polirribonucleótidos con semejantes preparaciones enzimáticas. También se han obtenido indicaciones de la presencia del fermento en las hojas verdes (17). En cambio, ha sido difícil identificar el fermento en los tejidos animales. No obstante, recientemente, Hilmoe y Heppel (20) han dado cuenta de la presencia de fosforilasa de los polinucleótidos en preparaciones obtenidas de núcleos de hígados de mamíferos.

La existencia, de la fosforilasa de los polinucleótidos en la Naturaleza parece ser lo suficientemente amplia para justificar la idea de que este fermento se halle implicado de una manera general en la biosíntesis del ARN. Dicha posibilidad parece fortalecerse con estudios recientes sobre los difosfatos de ribonucleósidos que contienen diversos análogos de las bases naturales. Así, el difosfato de 5-bromo-uridina que contiene 5-bromo-uracilo, un compuesto análogo al uracilo y la timina que se incorpora al ADN, pero no al ARN, en experimentos con células bacterianas intactas, no es apto como sustrato para la fosforilasa de los polinucleótidos. En cambio, el difosfato de tiouridina que

contiene tiouracilo, análogo del uracilo que se incorpora al ARN y no al ADN en experimentos similares, sí sirve como sustrato para la fosforilasa. De acuerdo con estas observaciones se encuentra el hecho de que el difosfato de azauridina, que contiene azauracilo, análogo del uracilo que no se incorpora «in vivo» al ARN no reacciona con la fosforilasa de los polinucleótidos (21). Sin embargo, a pesar del hecho de que la fosforilasa de los polinucleótidos puede llevar a cabo la síntesis de un ARN de igual composición en nucleótidos y del mismo peso molecular que el aislado de *Azotobacter*, y a pesar de la especificada intrigante de la iniciación por los polirribonucleótidos, se carece de una demostración de que el fermento sea capaz de reproducir las moléculas de iniciadores, como ocurre con la polimerasa del ADN de Kornberg. Puesto que debe haber mecanismos en la célula capaces de sintetizar moléculas individuales de ácido ribonucleico con una secuencia determinada de nucleótidos, parece que aún quedan por descubrir fermentos capaces de realizar semejante función.

Recientemente se han descrito (22-24) fermentos que catalizan la adición de unas pocas unidades de nucleótidos a una cadena de ARN ya existente. Tales fermentos catalizan la transmisión de residuos de ácidos citidílico y adenílico desde sus correspondientes trifosfatos de nucleósidos a los extremos de cadenas de polinucleótidos liberando pirofosfato. No hay indicaciones de que estos fermentos puedan llevar a cabo una síntesis completa del ARN. Otros investigadores (25, 26) han descrito la incorporación de ribonucleótidos en el interior de cadenas de ARN mediante fracciones celulares procedentes de tejidos animales. Según un informe reciente (26), una fracción de núcleos de células hepáticas de rata verifica semejante incorporación de una manera óptima partiendo de una mezcla de los cuatro trifosfatos de ribonucleósidos, a saber, adenosina, guanosina, uridina y citidina, con el aditamento de que la reacción disminuye considerablemente después de tratar con ribonucleasa, lo que indica la necesidad de un iniciador de ARN. Estos experimentos sugieren la posibilidad de que participe un fermento semejante a la polimerasa del ADN de Kornberg.

Interacciones de los Polinucleótidos

Estudios físico-químicos sobre una variedad de polirribonucleótidos sintéticos han arrojado bastante luz sobre su estructura macromolecular y pueden aumentar nuestro conocimiento de las propiedades biológicas del ARN y del ADN. En nuestro laboratorio, Warner encontró que los ácidos poliadenílico y policitidílico reaccionan entre sí en solución para formar un complejo estable (27). Sometido a electroforesis, a valores adecuados del pH, este complejo posee una movilidad intermedia entre la del poli-A y la del poli-U. Sometido a la ultracentrifugación, demuestra tener una constante de sedimentación más elevada que la de los polinucleótidos originales (fig. 8). Además, Warner observó que la formación del complejo está acompañada de una notable disminución en la absorción ultravioleta (fig. 9). De hecho, la formación del complejo se puede observar visualmente por el notable aumento en la viscosidad que se verifica al mezclar dos soluciones de poli-A y de poli-U.

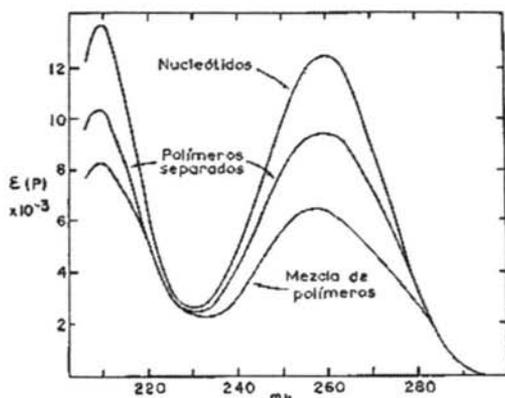


Fig. 9.- Espectro de absorción de una mezcla equimolecular de poli-A y poli-U. La curva se refiere a los mononucleótidos obtenidos por hidrólisis alcalina de la mezcla. La curva del centro está calculada con los espectros medidos separadamente de los polímeros individuales. La curva inferior es el resultado de medir la mezcla de polímeros (27).

Estudios con difracción de rayos X, llevados a cabo por Rich y colaboradores (28), han demostrado que fibras obtenidas de soluciones concentradas del complejo poli-A+U poseen una estructura pura cristalina análoga al del ADN (29), lo que indica que este complejo está formado por dos cadenas o hilos helicoidales enrollados mutuamente. Investigaciones posteriores (30) demostraron que los dos hilos se mantienen unidos mediante enlaces de hidrógeno entre los pares complementarios de las dos bases, adenina y uracilo. Semejantes observaciones proporcionaron la primera prueba experimental de que los polinucleótidos pueden reaccionar entre sí formando estructuras helicoidales de doble hilo, semejantes a las propuestas por Watson y Crick para el ADN y que, además, el ARN puede adquirir la misma configuración.

La disminución de la absorción de luz ultravioleta que acompaña a la formación del complejo de polinucleótidos ha facilitado un estudio intenso de las interacciones entre diferentes polinucleótidos, estudio llevado a cabo por Rich y sus colaboradores (31-33). Estos investigadores hicieron además la importante observación de que pueden formarse estructuras de polirribonucleótidos helicoidales de triple hilo. Según se aprecia en la fig. 10, en presencia de Mg^{++} se forma un complejo constituido por una molécula de poli-A y dos de poli-U. La figura muestra la densidad óptica a 259 mμ al agregar cantidades progresivas de una solución de poli-U a otra de poli-A. En ausencia de magnesio, la absorbancia pasa por un mínimo cuando corresponde a cantidades equimoleculares de los dos polinucleótidos; en presencia de magnesio, la absorbancia mínima se alcanza cuando la solución contiene dos moles de poli-U por mol de poli-A.

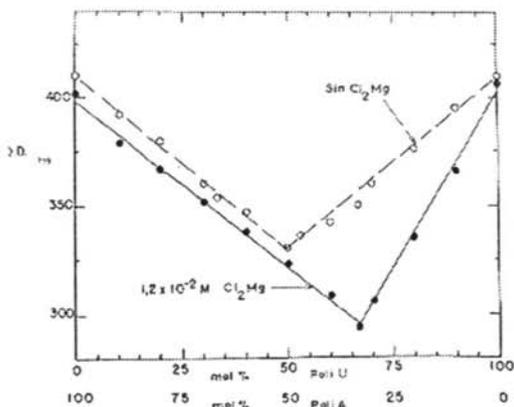


Fig. 10.— Densidad óptica ($\times 10^3$) de varias mezclas de poli-A y poli-U (G. Felsenfeld, D. R. Davies y A. Rich, *J. Am. Chem. Soc.*, **79**: 2023, 1957)

La fig. 11 ilustra el tipo de enlace de hidrógeno que se ha propuesto por Rich para los complejos poli-A+U y poli-A+U+U. Rich y sus colaboradores han obtenido más recientemente un complejo helicoidal de doble hilo formado por poli-A y ácido polirribotimidílico. Su formación se representa gráficamente en la Fig. 12. Me es muy grato expresar mi reconocimiento al Dr. Rich por autorizarme a utilizar estas ilustraciones.

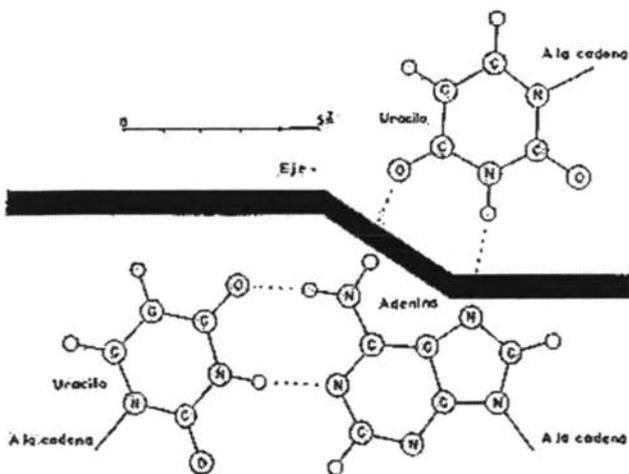


Fig. 11.— Sistema de enlaces de hidrógeno en poli-A+U y poli-A+U+U. Los enlaces de hidrógeno están representados por líneas de puntos (Cortesía de A. Rich).

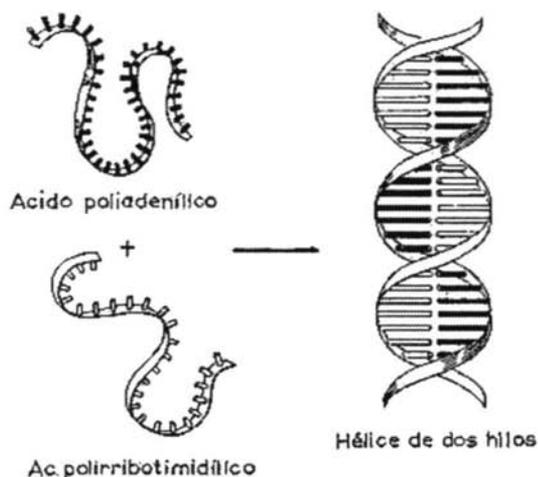


Fig. 12.- Diagrama que muestra la combinación de dos moléculas enrolladas de ácidos poliadenílico y poli-ribotimidílico para formar una hélice de dos hilos. Las bases están representadas por cortos cilindros (Cortesía de A. Rich)

El ácido poliadenílico en solución puede formar estructuras helicoidales de doble hilo. Los elegantes experimentos de Doty y sus colaboradores (34) han demostrado que, por encima del pH neutro, el poli-A existe en solución enrollado al azar pero que las cadenas simples se unen para formar un complejo helicoidal cuando el pH se encuentra por debajo de la neutralidad. Semejante transformación es reversible y presenta un punto de transición muy neto. En la Tabla V se recogen los diversos tipos de complejos de polirribonucleótidos obtenidos hasta ahora.

Tabla V

COMPLEJOS DE POLINUCLEÓTIDOS CON DOS Y TRES HILOS

Doble hilo	Poli-A+U
	Poli-A+ ácido polirribotimidílico
	Poli-I+C
	Poli-A+A
Triple hilo	Poli-A+U+U
	Poli-A+I+I
	Poli-I+I+I

Los estudios anteriores pueden tener importancia en el esfuerzo por lograr un mejor conocimiento de las interacciones físico-químicas que sirven de base a la función del ADN en la división celular. Dichas interacciones pueden también desempeñar una

función en el comportamiento biológico del ARN. Puesto que existen indicaciones bien fundadas de que la información genética almacenada en el ADN se transmite en primer lugar al ARN, es de suponer que el ADN pueda funcionar como una plantilla para la reproducción del ARN. Los nuevos residuos de ribonucleótido podrían enlazarse en una cadena organizada de polinucleótido que crezca sobre la ranura helicoidal de la molécula de ADN de doble hilo, para formar una espiral triple. También sería posible que una plantilla inicial de ADN de un solo hilo pueda ser utilizada para dar una espiral ADN-ARN de dos hilos (35-37).

El trabajo de Kornberg y sus colaboradores (38) nos ha proporcionado una visión profunda sobre el modo de reproducción del ADN y puede conducirnos, en un futuro no muy lejano, a la síntesis de material genético en el tubo de ensayo. Teniendo en cuenta que el ARN es el material genético de ciertos virus, el trabajo resumido en esta conferencia puede preparar el camino que conduzca a la síntesis artificial del ARN de los virus y a la síntesis de los virus mismos. Semejantes partículas se encuentran en el umbral de la vida y parecen contener la clave para un mejor entendimiento de algunos de sus principios más fundamentales.

NOTAS

** Se publica este trabajo con la autorización del Dr. G. Liljestrand, Secretario del Comité Nobel de Fisiología y Medicina, Karolinska Institutet, Estocolmo.

*** *Ciencia*, vol. XX (1-2), 1960, pp. 1-14.

1. GRUNBERG-MANAGO, M. y S. OCHOA, *J. Am. Chem. Soc.*, **77**: 3165, 1955.
2. GRUNBERG-MANAGO, M., P. J. ORTIZ y S. OCHOA, *Science*, **122**: 907, 1955.
3. OCHOA, S., *Federation Proceedings*, **15**: 832, 1956.
4. GRUNBERG-MANAGO, M., P. J. ORTIZ y S. OCHOA, *Biochim. et Biophys. Acta*, **20**: 269, 1956.
5. GRIFFIN, B. E., A. TODD y A. RICH, *Proc. Nat. Acad. Sc.*, **44**: 1123, 1958.
6. OCHOA, S. y L. A. HEPPEL, In *The Chemical Basis of Heredity*, W. D. McElroy and B. Glass, Eds., Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland, pág. 615, 1957; S. OCHOA, In *Cellular Biology, Nucleic Acids, and Viruses*, N. Y. *Acad. of Sciences Special Publications*, **5**: 191, 1957.
7. HEPPEL, L. A., P. J. ORTIZ y S. OCHOA, *J. Biol. Chem.*, **229**: 679, 1957.
8. HEPPEL, L. A., P. J. ORTIZ y S. OCHOA, *J. Biol. Chem.*, **229**: 695, 1957.
9. ORTIZ, P. J. y S. OCHOA, *J. Biol. Chem.*, **234**: 1208, 1959.
10. TANAKA, K., F. EGAMI, T. HAYASHI, J. E. WINTER, A. W. BERNHEIMER, S. MII, P. J. ORTIZ y S. OCHOA, *Biochim. et Biophys. Acta*, **25**: 663, 1957.

11. TISELIUS, A., S. HJERTEN y O. LEVIN, *Arch. Biochem. Biophys.*, 65, 132, 1956.
12. OCHOA, S., XI Conseil de Chimie Solvay. Bruselas. Junio, 1959.
13. SINGER, M. F. L. A. HEPPEL y R. J. HILMOE, *Biochim. et Biophys. Acta*, 26: 4-47, 1957.
14. MII, S., y S. OCHOA, *Biochim. et Biophys. Acta*, 26: 445, 1957; S. OCHOA, S. MII y M. C. SCHNEIDER, *Proc. Internat. Sympos. on Enzyme Chemistry*, Japan, 2: 44, 1957.
15. HEPPEL, L. A., P. J. ORTIZ y S. OCHOA, *Science*, 123: 415, 1956.
16. SINGER, M. F. L. A. HEPPEL y R. J. HILMOE, *J. Biol. Chem.* en prensa.
17. BRUMMOND, D. O., M. STAEHELIN y S. OCHOA, *J. Biol. Chem.*, 225: 835, 1957; S. OCHOA, In *Recent Progress in Microbiology, Symposia of VII Internat. Congress for Microbiology*. Estocolmo, 2: 122, 1958.
18. LITTAUER, U. Z. y A. KORNBERG, *J. Biol. Chem.*, 226: 1077, 1957.
19. BEERS, R. F., Jr., *Nature*, 177: 790, 1956.
20. HILMOE, R. J. y L. A. HEPPEL, *J. Am. Chem. Soc.*, 79: 4810, 1957.
21. SKODA, J., K. KÁRA, A. SORMOVA y F. SORM, *Biochim. et Biophys. Acta*, 33: 579, 1959.
22. HECHT, L. I., P. C. ZAMECNIK, M. L. STEPHENSON y J. F. SCOTT, *J. Biol. Chem.* 233: 954, 1958.
23. CANELLAKIS, E. S., *Biochim. et Biophys. Acta*, 25: 217, 1957.
24. HURWITZ, J., A. BRESLER y A. KAYE, *Biochem. Biophys. Res. Communications*, I: 3, 1959.
25. GOLDWASSER, E., *J. Am. Chem. Soc.*, 77: 6083, 1955.
26. WEISS, S. B. y L. GLADSTONE, *J. Am. Chem. Soc.*, 81: 4118, 1959.
27. WARNER, R. C., *Federation Proceedings*, 15: 379, 1956; *J. Biol. Chem.*, 229: 711, 1957.
28. RICH, A. y D. R. DAVIES, *J. Am. Chem. Soc.*, 78: 3548, 1956; A. RICH, In *the Chemical Basis of Heredity*, W. D. McElroy and B. Glass, Eds.. Johns Hopkins Press, Baltimore, Maryland, pág. 557, 1957.
29. WATSON, J. D. y F. H. C. CRICK, *Nature*, 171: 737, 1953.
30. WARNER, R. C. y E. BRESLOW, *Symposia of Fourth International Congress of Biochemistry*, Viena, 9: 157, 1958.
31. FELSENFELD, G. y A. RICH, *Biochim. et Biophys. Acta*, 26: 457, 1957; A. RICH, In *Cellular Biology, Nucleic Acids, and Viruses*, New York Academy of Sciences Special Publication, 5: 186, 1957.
32. RICH, A., *Biochim. et Biophys. Acta*, 29: 502, 1958.
33. RICH, A., *Nature*, 181: 521, 1958.

34. FRESCO, J. R. y P. DOTY, J. *Am. Chem. Soc.*, 79: 3928, 1957; J.R. FRESCO y E. KLEMPERER, *Ann. N. Y. Acad. Sc.*, 81: 730, 1959.
35. STENT, G., *Advances in Virus Research*, 5: 138, 1958.
36. ZUBAY, G., *Nature*, 182: 1290, 1958.
37. RICH, A., *Ann. N.Y. Acad. Sc.*, 81: 709, 1959.
38. KORNBERG, A., *Nobel Lecture*, 1959.

BIBLIOGRAFÍA

- ABELLAN, J.L. (dir.) (1978) *El exilio español de 1939*. Madrid, Taurus.
- AUSEJO, Elena y MILLÁN, Ana (1989) «La organización de la investigación matemática en España en el primer tercio del siglo XX: El Laboratorio y seminario matemático de la Junta para Ampliación de Estudios e Investigaciones Científicas (1915–1938)». *LLULL*, 12, 261–308.
- FERNÁNDEZ GUARDIOLA, A: (1997) *Las Neurociencias en el exilio español en México*. Colección «Encuentros Iberoamericanos». México D.F., Impresora y Encuadernación Progreso S.A.
- GIRAL, F. (1994) *Ciencia española en el exilio (1939–1989). El exilio de los científicos españoles*. Barcelona, Anthropos.
- IBÁÑEZ MARTÍN, José (1940) *Hacia una nueva ciencia española*. Madrid, Establecimiento tipográfico de Samarán.
- ORDOÑEZ APARICIO, M.^a Magdalena, *Los científicos del exilio español en México: un perfil*. clio.rediris.es/articulos/cientificos.htm.
- VAQUERO MARTÍNEZ, J.M. (2002) *El éter en la física española del primer tercio del siglo XX: El caso de Pedro Carrasco Garrorena*. (Tesis doctoral, inédita).
- VAQUERO MARTÍNEZ, J.M. y COBOS BUENO, J.M. (2001) «Pedro Carrasco Garrorena (1883–1966): una aproximación a su biografía (y II)». *LLULL*, 24(49), 201–215.