

De la colaboración multidisciplinar a la objetividad transnacional: el espacio internacional, constitutivo de la biología molecular, 1930-1970*

Pnina G. Abir-Am

Arbor CLVI, 614 (Febrero 1997) 111-150 pp.

En este artículo se exploran las relaciones internacionales establecidas por los biólogos moleculares durante las primeras décadas del desarrollo de ese área. El espacio internacional dentro del cual se han inscrito los descubrimientos de la biología molecular resultan tener una función legitimadora, desde sus inicios en los años 30 hasta los años 60. La resultante objetividad transnacional de nuevas realidades teóricas y empíricas, entre ellas la doble hélice y el ARN mensajero, dependieron de una serie de oportunidades de acceso por parte de esos científicos a tradiciones disciplinares externas a su país de origen y ligadas a la política científica. Precisamente ese espacio internacional les permitió superar resistencias de las escuelas experimentales locales a la recepción de esas novedades, fuera de los controles conceptuales de las tradiciones nacionales.

* «From Multidisciplinary Collaboration to Transnational Objectivity: International Space as Constitutive of Molecular Biology», en Elisabeth Crawford, Terry Shinn y Sveke Sörlin: *Denationalizing Science: the Context of International Scientific Practice, Sociology of the Sciences Yearbook*, vol. XVI (Dordrecht, Kluwer), pp. 153-186. Copyright: Kluwer Academic Publishers. Traducción: Carmen Mansilla.

Desde sus comienzos en los años 30 y hasta su institucionalización final como nueva disciplina integradora en los años 60, la biología molecular se ha constituido ella misma en un espacio internacional, definido como un continuo de encuentros de varios tamaños y grados de in/formalidad, un predominio de esfuerzos de colaboración y de redes de correspondencia a través de varios países¹. Claro está que, aunque todo primer autoproclamado miembro de la biología molecular se ha unido a varios grupos diferentes o a escuelas de investigación, cada uno girando alrededor de su propia constelación de estructuras político-científicas nacionales, ecologías institucionales, orientaciones disciplinares y líderes carismáticos, en todos los casos una parte sustancial de la de composición social de cada escuela de investigación y el principal legado conceptual reflejaron el papel de afiliados transnacionales, bien como visitantes o como emigrantes permanentemente nacionalizados².

Por lo tanto, cualquier interpretación histórica del crecimiento de la biología molecular como hito en la ciencia de mediados del siglo XX debe primero articular las dimensiones social, política y conceptual interdependientes del escenario cambiante internacional de donde surge la biología molecular como una disciplina nueva, finalmente revolucionaria, en el período comprendido entre 1930-1970³. Este artículo investiga el impacto de eventos claves de la política internacional, tales como la Gran Depresión de los años 30, la Guerra Fría, y la bonanza del Post-Sputnik en la política científica de los años 60, que hicieron posible o limitaron resultados sociales y conceptuales concretos en el emergente universo transdisciplinario de la biología molecular.

1. Los años 30: de la Gran Depresión al progreso biológico, el plan internacional de la Fundación Rockefeller

La aparición de la biología molecular como una nueva red socio-cognitiva de conexiones dentro de las principales divisiones científico-naturales o disciplinas de la biología, de la física o de la química, comenzó en dos congresos

internacionales en 1931, en el contexto del discurso autorizado y público sobre la paridad epistemológica de la biología y la física. De este modo, tanto la presidencia del inusualmente bien acogido Congreso Centenario de la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia como el Simposium especial que tuvo lugar en el Segundo Congreso Internacional para la Historia de la Ciencia, ambos celebrados en Londres en el verano de 1931, trataron ampliamente la entonces reciente concepción de la cientificidad no clásica y su inmediata relevancia en la reestructuración de la relación histórica, jerárquica y reduccionista entre las ciencias biológicas y físicas. Este último simposio llegó a incluir un trabajo sobre la estructura y el mecanismo de duplicación de la molécula de proteína (considerada entonces como material genético principal), saliendo así a la luz por primera vez lo que más tarde se convertiría en el eje de la biología molecular, es decir, la interpretación de los fenómenos biológicos claves, incluida la reproducción, en términos de estructuras macromoleculares concretas ⁴.

La legitimación resultante de un potencialmente nuevo espacio transdisciplinario común a la biología, la física y la química tuvo lugar en un contexto científico y socio-político interdependiente: por un lado, la rehabilitación de las proteínas como objetos macromoleculares tras la muerte de la teoría del coloide a finales de los años 20, centró su atención teórica y tecnológica en la estructura de las proteínas y en los ensamblajes macromoleculares relacionados, entonces apropiadamente denominado el «mundo de las dimensiones abandonadas» ⁵. Por otro lado, un nuevo espacio transdisciplinario para la biología molecular se constituyó desde sus comienzos como interdependiente de un contexto profundamente internacional, en el cual el tema de la extensión del progreso científico en el nivel biomolecular estaba conectado con las agendas internacionalistas (en el sentido del despliegue de operaciones colonizadoras a escala internacional), de los Imperios Británico, Soviético y Americano, y sus respectivas formas de capital político, ideológico, científico y financiero ⁶.

La interdependencia del contexto socio-político internacional y científico de los años treinta resultaría evidente, como veremos más adelante, en la representación dual del

problema de la estructura de proteínas (que constituyó el primer y único discurso en biología molecular), como encarnación utópica de innovación colectiva de un grupo de científicos británicos de vanguardia promotores de los ideales socialistas soviéticos con apoyo financiero americano para su empresa científica en el área del progreso biomolecular ⁷.

El 2º Congreso Internacional para la Historia de la Ciencia celebrado en el Museo de la Ciencia en South Kensington, Londres, en julio de 1931 fue más conocido por la interpretación externalista, socio-económica, o «vulgar» marxista de Boris Hessen, de los orígenes de la ciencia moderna, y por la introducción de toda una batería de propuestas metodológicas soviéticas sobre historia y filosofía de la ciencia por la delegación encabezada por el veterano ideólogo leninista Nikolai Bukharin ⁸. El dramático impacto de su inesperada llegada en avión, como decisión de último momento de Stalin, se ajustó perfectamente al drástico mensaje histórico comunicado por la trascendente reinterpretación de la delegación de muchos temas claves de la historia y la filosofía de la ciencia como meras reflexiones idealistas del decadente capitalismo, y por ello candidatas a ser inminentemente reemplazadas por la creciente, y presumiblemente más creíble, alternativa materialista. Fue de especial interés para el desarrollo de la biología molecular la presencia del conferenciante soviético Boris Zavadovsky que participó en una sesión de ocho conferencias sobre «Las relaciones históricas y contemporáneas entre la física y la biología», con una contribución sobre el reduccionismo como reflejo de las contradicciones del capitalismo internacional, para después abogar por la complementariedad de las ciencias biológicas y físicas en la ciencia liberada del futuro ¹⁰.

A pesar de que el resto de los conferenciantes fueron más reservados analizando las entonces cambiantes relaciones disciplinarias e ideológicas entre la física y la biología, centrando sus discursos en argumentos científicos, lingüísticos y filosóficos internalistas, los más jóvenes, más marginales científicamente, y los ideológicamente sensibles no pudieron evitar quedar impresionados por lo que pareció ser una gran «coincidencia» de argumentos procedentes de la ciencia, de la filosofía de la ciencia, y de la ideología

marxista sobre la promesa de una nueva relación entre las ciencias biológicas y físicas.

Poco después de estos encuentros internacionales, el dramático impacto de lo que luego fue acentuado por el colapso simultáneo del patrón oro y del (segundo) gobierno laborista en Gran Bretaña, por las marchas de hambrientos y el establecimiento de la rama de la Asociación de Trabajadores Científicos en instituciones tradicionales como la Universidad de Cambridge, varios científicos dieron pasos concretos para investigar sistemáticamente los principales cambios científicos que parecían estar «a la vuelta de la esquina». Joseph Needham, bioquímico; J. D. Bernal, biofísico convertido en cristalógrafo de rayos X; Conrad Hal Waddington, embriólogo y genetista; Joseph Henry Woodger, zoólogo convertido en filósofo de la biología y Dorothy Wrinch, matemática y filósofa de la ciencia, establecieron la Unión Bioteórica, un forum vanguardista de discusión interdisciplinar sobre las implicaciones de las nuevas perspectivas filosóficas de la ciencia para cambiar la relación reduccionista entre la física y la biología y conducir las a un contacto intelectual más estrecho y paritario ¹¹. De hecho, autoridades científicas progresistas, especialmente el premio Nobel descubridor de las vitaminas que más tarde contribuiría durante la guerra a la investigación aplicada en nutrición, Sir Frederick Gowland Hopkins, quien en ese tiempo era director de varias organizaciones científicas principales, empleó sus conferencias presidenciales en presentar la biología como la ciencia del futuro, como una disciplina capaz de ofrecer inmensos beneficios científicos y sociales.

Mientras científicos con más experiencia habrían reconocido en esa retórica una observación filosófica y profesional de poca importancia dentro de la práctica científica real, el mensaje de Hopkins, compartido y divulgado por otros científicos conferenciantes, interesó a dos grupos diferentes.

Por un lado, el mensaje fue aceptado por los jóvenes científicos ideológicamente sensibles, como los que fundaron la Unión Bioteórica, que consideraron que una revolución teórica en biología estaba a la vuelta de la esquina y que ésta era a la vez clave para los principales avances científicos y sociales ¹³.

Por otra parte, el mensaje de Hopkins fue incorporado a la retórica del nuevo esquema del progreso biológico de la Fundación Rockefeller, esquema que necesitaba justificar el apoyo a una disciplina concreta (frente a una política previa de «excelencia dispersa») y que, por lo tanto, encontró en las declaraciones esperanzadoras e imprecisas de Hopkins sobre la importancia social de la biología el más bienvenido factor legitimador de una política que contemplaba la ciencia como un pacificador mundial del desasosiego social. Aprobado por los patronos en 1933, el nuevo programa fue después desarrollado como una acción concertada de intercambio tecnológico de las ciencias físicas a las biológicas por el jefe del Departamento de Ciencias Naturales, Warren Weaver, veterano ingeniero de tendencias sociales y científicas conservadoras que fueron alteradas por la revolución teórica en física, y especialmente por su choque contra el punto de vista del orden científico mundial simbolizado por la física matemática clásica que él había practicado antes de abandonar la academia ¹⁴.

No es sorprendente que el primer programa de investigación en biología molecular surgiera como resultado de numerosas circunstancias, comenzando en 1934 entre miembros de la Unión Bioteórica y empleados de la Fundación Rockefeller, una vez que estos identificasen a aquellos como los especialistas potenciales más convenientes y solicitasen de ellos propuestas de investigación. En aquellos momentos la Unión Bioteórica estaba desplazando su curso, iniciado en 1932, de un planteamiento inicialmente teórico a otro principalmente molecular en biología, respondiendo al descubrimiento de Bernal, en abril de 1934, de que las proteínas producían radiografías totalmente descifrables.

El descubrimiento, reconocido 50 años después por científicos moleculares británicos como el origen de la biología molecular, aunque no fue ampliamente reconocido en aquellos tiempos, constituyó un hito para Bernal y sus compañeros de la Unión Bioteórica: por primera vez la capacidad única de las proteínas para realizar varias funciones biológicas podría ser explicada en los precisos términos físico-químicos de una estructura molecular unificadora ¹⁵. Realmente, su excitación se debió a su impresionante referencia a una posible solución del problema de la estructura

de proteínas como parte magistral del «secreto de la vida», término que continuó cautivando a biólogos moleculares en los años siguientes, mucho después de que el ácido nucleico ADN reemplazara a las proteínas como simbólica «molécula maestra» de la biología molecular.

Dado que las prolongadas negociaciones sobre la propuesta presentada por la Unión Bioteórica a la Fundación Rockefeller (de ahora en adelante FR) implicaba a cinco científicos y a un número igual de cargos de la administración de la ciencia en Gran Bretaña, a quince científicos árbitros de proyectos repartidos por Gran Bretaña, Alemania y Estados Unidos, a varios revisores informales de Estados Unidos y Europa, y a cinco empleados de la oficina Europea de la FR en París y de la oficina central en Nueva York, resulta obvio que el incipiente discurso en biología molecular emerge en un contexto profundamente internacional ¹⁶.

Más aún, los científicos británicos potenciales receptores de subvención de la FR tenían formación y experiencia internacionales, que incluían, aparte de aceptar a muchos estudiantes extranjeros en sus laboratorios de la Universidad de Cambridge, prolongadas visitas de carácter investigador (previas a 1933) a Alemania, Francia y Estados Unidos. La intensidad de la internacionalización a la que se expusieron los empleados de la FR durante el prolongado y arduo proceso de revisión de la propuesta de la Unión Bioteórica en el período 1935-1938 fue tal que les llevó a sustituir la más concisa, lingüísticamente flexible o ambigua, pero también generalista metáfora de «biología molecular» en su Informe Anual de 1938 por el título más concreto de «la propuesta del grupo británico».

Se necesitó un nuevo nombre interdisciplinar como referencia para muchos proyectos sobre estructura de proteínas, crecientemente conectados por el sistema internacional de la FR de supervisión de sus becarios, utilizándolos como asesores, visitándolos frecuentemente y extrayendo de ellos una extensa cantidad de información científica. La estructura de proteínas llegó a redefinir el primer tema coherente interdisciplinario alrededor del cual surge el nuevo campo de la biología molecular. La «biología molecular» demostró ser una metáfora capaz de transmitir una representación generalizada de este incipiente potencial científico, mucho

antes de que se convirtiera en una realidad social e institucional en los 60, debido a su capacidad de acción simbólica múltiple y ambigua ¹⁷.

El título inicial de la propuesta del grupo británico, «morfología matemático-físico-química», se basó en circunstancias locales clave como las raíces del esfuerzo del grupo británico en morfología o embriología teórica, filosófica, topológica y bioquímica; la procedencia multidisciplinar de los cinco participantes en la propuesta, los cuales fueron cada uno educados en una u otra de las disciplinas básicas, y el espíritu participativo e igualitario del grupo, lo que exigía que todos estuvieran representados en el título propuesto (que se convirtió en algo incómodo especialmente para su circulación fuera de su propio contexto inmediato de significación de un grupo igualitario de recursos multidisciplinarios) ¹⁸.

En contraste con esas circunstancias concretas, contingentes, contextuales, locales y nacionales de la propuesta del colectivo británico, el contexto internacional de la actividad de la FR hizo a sus empleados acortar la terminología británica de forma que pudiera cubrir mejor similares proyectos de la FR en otros países, proyectos que tenían que reflejar, para ser aprobada la ayuda, un uso similar de la tecnología física y de la colaboración interdisciplinar entre físicos y biólogos. El contexto internacional del naciente discurso de la biología molecular a finales de los años 30 fue agudamente manipulado por los empleados de la FR, no sólo a través de sus impresionantes viajes de promoción internacionales sino especialmente como consecuencia del amenazador resultado del proceso de revisión de proyectos, que fracasó en su objetivo de producir consenso para validar esos nuevos temas, potencialmente polémicos, de investigación y que produjeron intentos de incluir al presidente de la FR en un proceso de toma de decisiones que creció más allá del control de la propia FR ¹⁹.

Otros factores clave en la reducción del respaldo a la muy discutida propuesta británica de la «biología molecular» en el informe anual de la FR de 1938 incluían la necesidad de la RF de conseguir comunicación internacional a corto plazo y especialmente durante el cambio científico que tenía lugar en el período 1935-1938. Con la preparación del plan

del primer grupo de inversiones a largo plazo, para el Comité de Valoración se hizo obvio que el núcleo del progreso en biología entre los especialistas de la FR no estaba basado en la mera respuesta al inicial énfasis positivista de la FR en el intercambio de tecnología de las ciencias exactas a la biología (presumiblemente la tecnología era el único legado permanente de la clásica ciencia física una vez que sus bases teóricas fueran debilitadas por las revoluciones relativas y cuantitativas). Más bien el suceso clave fue el desplazamiento hacia un nivel molecular más básico de organización biológica, (macro) molecular o sub-celular, nivel que resultó identificado con la estructura de proteínas²⁰.

La inherente dimensión internacional del discurso basado en estructura de proteínas de los años 30 fue más evidente en la serie de sucesos internacionales que dieron lugar a la consolidación de un programa de investigación en proteínas por cristalografía de rayos X, programa sin el cual la biología molecular hubiera sido inconcebible en cualquiera de sus fases de proteína, ADN, o proteína-ADN²¹.

El programa de cristalografía de rayos X comenzó en 1934, cuando Bernal, miembro de la Reunión Bioteórica, obtuvo la primera fotografía de rayos X de la pepsina, una proteína cristalina, globular y biológicamente activa como enzima digestivo. La radiografía de 1934, que demostró la solubilidad de la estructura de las proteínas, además de ser el inicio de un acercamiento molecular a la función biológica, también figuraba en la propuesta de la Unión de 1935 a la FR²². La habilidad de Bernal, junto con su estudiante de doctorado Dorothy Crowfoot (más tarde Hodgkin, y que obtuvo en 1964 ella sola el premio Nobel de química), para hacer y clasificar la radiografía de una proteína identificable, dependía de la obtención de pepsina cristalina en un baño de sus aguas madres. Previamente, la pepsina seca había producido sólo fotografías borrosas, siendo el agua parte integrante de la estructura cristalina. El tubo incluyendo pepsina en sus aguas madres lo recibió Bernal, por aquel entonces en la Universidad de Cambridge en Gran Bretaña, del americano Glen Millikan, hijo del presidente de Caltech, el físico Nobel Robert A. Millikan, que lo llevó de Suecia²³.

Allí, en el famoso laboratorio de física química de Theodor Svedberg y el centro de estudios de ultracentrifugado de la Universidad de Uppsala, Glen Millikan conoció a John Philpot, un químico británico formado en Oxford que llegó a Uppsala gracias a una beca de la FR. Philpot descubrió que se habían formado grandes cristales de pepsina en los tubos que había dejado en el refrigerador mientras estaba de vacaciones esquiando. Philpot entregó varios de estos cristales a Millikan, quien afirmó que conocía a un hombre en Cambridge (Bernal) que daría su vida por esos cristales maravillosos y biológicamente activos ²⁴.

La presencia de Philpot en Uppsala fue, por sí misma, testimonio del valor crucial de los contactos internacionales en la ciencia, ya que su decisión de ir a Uppsala fue tomada en el laboratorio de química de proteínas de Ernest Waldschmidt-Leitz en la Universidad Técnica de Praga. Philpot llegó a Praga procedente del Instituto Nacional de Investigaciones Médicas en Londres y provisto de una beca de la FR. Como lo recordó en abril de 1984, en el 50 aniversario de la primera radiografía de proteínas, Philpot conoció en Praga a una atractiva química-física sueca colaboradora del novel Svedberg, Inga Brita Eriksson. Fue en su busca, más que en la de la ultracentrífuga, por lo que Philpot llegó a Uppsala ²⁵.

A pesar de que la estancia de Philpot en Suecia hizo historia debido a Bernal y a la cristalografía de los rayos X de la proteína más que para él mismo (Inga Brita finalmente se casó con un químico-físico sueco y se instaló en Suecia como Sra. Eriksson-Quensel), su trayectoria en Gran Bretaña, Checoslovaquia y Suecia refleja el amplio tráfico internacional de especialistas en proteínas en los años 30. Otras colaboraciones clave en el campo de la estructura de proteínas incluían a aquéllas entre el cristalógrafo británico y antiguo colega de Bernal, W. T. Astbury, de la Universidad de Leeds, experto en proteínas fibrosas, y el embriólogo americano Ross Harrison; y entre la bióloga teórica y molecular, antes matemática, Dorothy M. Wrinch, y el Nobel en física química americano Irving Langmuir ²⁶.

Del mismo modo, los densos intercambios entre estos dos últimos y Felix Haurowitz en Praga, Kaj Linderstrom-Lang en Copenhague, Svedberg en Uppsala, Max Bergmann

en Nueva York, Linus Pauling en California, J. D. Bernal y W. H. Bragg en Londres, reflejan la intensidad de tráfico internacional de ideas sobre la estructura de proteínas en los años 30²⁷. La Discusión de la Real Sociedad británica sobre la Molécula de Proteína, celebrada en Londres en 1938, y el gran simposium de Cold Spring Harbor sobre química de proteínas celebrado en Nueva York, también en 1938, incluyeron participantes de varios países²⁸.

Los colaboradores de Bernal en cristalografía de rayos X de proteínas globulares procedían en su mayor parte de fuentes internacionales. Incluían al americano Isidor Fan-kuchen, al australiano Max Perutz y al sudafricano Aaron Klug. El laboratorio de Bernal fue conocido tanto por su ambiente como por su ideología internacionales, esto último era una interpretación científica del marxismo que coincidía con el propio espíritu internacional de la ciencia, y que empujó a Bernal al activismo en las sociedades científicas internacionales, aparentemente inspiradas en la orientación internacional del Comintern. En 1939, con la publicación de *The Social Function of Science*, Bernal fue pionero de los estudios de política científica incluyendo también un capítulo sobre la ciencia internacional²⁹.

Finalmente, fue el estudiante de investigación de Bernal, Perutz, asentado en Gran Bretaña tras la anexión de Austria a Alemania, quien se convirtió en el principal especialista en cristalografía de rayos X de proteínas en Cambridge, tras la marcha de Bernal a Londres en 1938. Además de su principal trabajo de investigación en la resolución de la compleja estructura de la hemoglobina, el «pulmón molecular», por el que recibió el premio Nobel en 1962, otras de las funciones clave de Perutz dentro del desarrollo de la biología molecular incluyen haber sido el mentor de Francis Crick, y el auge del laboratorio de biología molecular del MRC en Cambridge bajo su dirección, uno de los laboratorios internacionalmente reconocidos.

Otro tema de importancia para la consolidación de la biología molecular, y sobre el que se celebraron varias reuniones internacionales, tanto formales como informales, fue la mecánica de los cromosomas y la estructura de los genes. Las sucesivas reuniones en Francia, Estados Unidos y Gran Bretaña en 1937, 1938 y 1939, respectivamente, reflejaban

la actualidad internacional del tema, que proporcionó información clave para el surgir de la biología molecular.

La Réunion Internationale de Physique-Chimie-Biologie, en el Palais du Congrès de la Decouverte, Paris, en Octubre de 1937, reunió a 13 conferenciantes físicos de Holanda, Gran Bretaña, India, Dinamarca y Francia; 10 conferenciantes químicos de Francia, Estados Unidos, Alemania, Gran Bretaña, Italia, Suiza; y 14 conferenciantes biólogos de 4 países aparte de los del país anfitrión (Bawden, J. B. S. Haldane, Keilin, Needham, Pirie, Waddington y Wrinch de Gran Bretaña; Holtfreter, Kuhn, Timofeef-Ressovsky y Warburg de Alemania; Muller y Northrop de Estados Unidos; y Brachet de Bélgica). En las dos sesiones sobre biología, los temas relacionados con enfoques físicos o químicos de problemas biológicos incluyeron metabolismo y morfogénesis, los efectos biológicos de la radiación, la estructura del gen, y su mecanismo de acción ³¹.

El Séptimo Congreso Internacional de Genética de Edimburgo en agosto-septiembre de 1939, interrumpido por el comienzo de la Segunda Guerra Mundial, lo que llevó al abandono del congreso a varias delegaciones extranjeras, también tuvo varias sesiones y charlas individuales que reflejaban el naciente discurso internacional en biología molecular. La sesión más representativa del discurso de la biología molecular se tituló «Estudios de proteínas y virus en relación con el problema del gen». Presidida por J. B. S. Haldane de Gran Bretaña, la sesión contó con trece conferenciantes de cinco países (tres de Gran Bretaña: Astbury, Wrinch y Crowfoot; cinco americanos: Gulick, McKinney, Gowenn, Mazia y Jaeger; un sueco: Caspersson; un alemán: Kausche, y dos franceses: L'Heritier y Teissier). El número total de registrados (comparado con el número de participantes reales) fue de 657, de 54 países diferentes. Los cinco países representados en la sesión de biología molecular fueron Gran Bretaña, Estados Unidos, Francia, Alemania y Suecia ³².

El tamaño y la composición de los discursos de los temas que constituían un preludio de la biología molecular en el Séptimo Congreso de Genética se parecieron a los de la reunión informal de doce físicos, bioquímicos y citogenetistas celebrado en Klampenborg, Dinamarca, en abril de 1938, con el apoyo

de la FR. Esta reunión produjo la primera discusión de carácter internacional sobre aspectos estructurales moleculares de la genética, especialmente de los problemas citogenéticos, entre genetistas, físicos y bioquímicos³³.

Tal como uno de los participantes, Waddington, sugirió en 1969, el orden del día y las ponencias de Klampenborg en 1938 incluyeron todos excepto uno de los aspectos de las investigaciones de 1953 sobre la doble hélice y las implicaciones genéticas de su estructura. Como la doble hélice, que reflejaba una colaboración entre un cristalógrafo de rayos X de proteínas y un genetista del fago combinando la solución de la estructura del ADN por cristalografía de rayos X con la solución del mecanismo de la duplicación genética en términos moleculares, los participantes en Klampenborg incluyeron cristalógrafos de rayos X (Astbury y Bernal), y genetistas (Ephrussi, Timofeef-Ressovsky, Darlington y Bauer), aunque en aquellos momentos todos los participantes creían en la primacía genética de las proteínas. Sin embargo, las oportunidades de colaboración en los últimos años 30 fueron más breves que los dos años concedidos a Watson y Crick a comienzos de los 50, cuando los intercambios científicos internacionales a largo plazo se hicieron parte de la política científica del gobierno (véase más abajo).

La reunión de Klampenborg, organizada por Boris Ephrussi y Nikolai Timofeef-Ressovsky, ambos perfectos ejemplos de internacionalidad por ser científicos de nacionalidad rusa formados en Francia y Alemania, respectivamente, con ayuda de la Oficina europea de la FR, reunió a 12 participantes, la mitad de ellos biólogos y la otra mitad físicos y químicos, de cuatro países diferentes (Gran Bretaña, Francia, Alemania y Dinamarca).

Los participantes en Klampenborg estaban implicados en colaboraciones interdisciplinarias e internacionales. Así, mientras Bernal y Astbury participaban en los intercambios arriba mencionados entre estudiosos de estructura de proteínas, Waddington había colaborado con científicos de media docena de países en morfología químico-física —el más notable, Jean Brachet, de Bélgica— y realizaría en 1938 un viaje a los Estados Unidos con el fin de visitar centros de embriología y genética en Columbia, Cold Spring Harbor

y Caltech, entre otros. Ephrussi, como Waddington, era un embriólogo experimental que se convirtió en genetista fisiológico, en el Instituto de Biología Físico-Química de París. Había colaborado con el genetista americano George W. Beadle en Pasadena (1934 y 1936) y en París (1935). Timofeef-Ressovsky, genetista ruso que trabajó en el Instituto Kaiser Wilhelm en Berlín durante el período 1925-1945, colaboró con los físicos alemanes Karl Zimmer y Max Delbrück, y mantuvo constantes contactos con el genetista americano H. J. Muller, que trabajó en la Unión Soviética y Escocia, además de con otros genetistas americanos y británicos ³⁴.

Quizás el más internacional de los participantes en Klampenborg fue Louis Rapkine, un ruso nacido en Canadá que pertenecía al Instituto de Biología Química Física de París a mediados de los años 20. Hasta su temprana muerte a los 44 años, Rapkine desarrolló una excepcional carrera internacional en ciencias y en política científica. En los años 30 colaboró con los bioquímicos británicos Joseph y Dorothy Needham, así como con el embriólogo experimental belga Jean Brachet ³⁵. Durante la Segunda Guerra Mundial Rapkine surgió como un líder político internacional, ya que representaba los intereses de los científicos y del gobierno francés en el exilio en círculos británicos y americanos. Fundador del Bureau Scientifique de la France Libre en Nueva York, dirigió una serie de importantes operaciones incluyendo la organización de la huida de la Francia ocupada de treinta y cinco científicos franceses y sus familias, organizando a científicos franceses refugiados para que formasen parte de las Fuerzas Libres Francesas, y también facilitando la participación de científicos franceses en operaciones de investigación y otros proyectos aliados. Tras la guerra, Rapkine se ocupó de conseguir fondos americanos para reponer el equipamiento de los laboratorios franceses ³⁶.

La importancia de Rapkine en el futuro discurso de la biología molecular deriva de dos fuentes principales: su posición como informador informal y consejero de confianza de la FR, posición que obtuvo a mediados de los años 20, y su especial influencia intelectual y moral sobre el joven Jaques Monod, futuro líder intelectual y una personalidad internacional en biología molecular ³⁷.

2. 1945-1960: de la «Guerra Fría» a la doble hélice y el ARN mensajero

Tras la Segunda Guerra Mundial hubo un fuerte incremento en el número de reuniones internacionales (y nacionales) importantes para el desarrollo de la biología molecular, en parte para solucionar el abandono impuesto por la guerra, y en parte a causa del comienzo de la Guerra Fría y la era atómica en la estrategia política global, que puso en marcha amplias iniciativas en política científica en todos los países, pero especialmente en superpotencias de primer y segundo orden como Estados Unidos, la URSS y Gran Bretaña. Estas iniciativas de política científica, aunque centradas en el refuerzo de la ciencia como un activo estratégico nacional, culminando a finales de los 50 con la creación de las nuevas oficinas del consejero presidencial de ciencias y su comité en EE.UU., también incluyeron ayudas de viaje y becas de intercambios de larga duración que aumentaron el tráfico de científicos ³⁸.

Esta nueva situación fue de una especial importancia para un campo transdisciplinario como la biología molecular, que dependía de una continua permeabilidad de barreras o límites disciplinarios, institucionales y nacionales. Las reuniones internacionales claves en la postguerra para la consolidación de la biología molecular incluyeron el Simposium de Microorganismos en Cold Spring Harbor en 1946, el cual, aun contando tan sólo con 13 científicos extranjeros dentro de los 118 americanos, fijó las bases para los contactos duraderos entre microbiólogos bioquímicos franceses (en especial Andre Lwoff y Jacques Monod) y americanos, muchos de los cuales se convirtieron más tarde en biólogos moleculares. Otros encuentros claves incluyeron el Congreso Internacional de Microbiología en Copenhague en 1947, al que Jacob atribuyó su vuelta a la investigación en fisiología microbiana; y el primer Congreso Internacional de Bioquímica en Cambridge en 1949, donde Chargaff presentó sus famosos resultados sobre la proporción de bases del ADN, dentro de un número cada vez mayor de encuentros internacionales, tanto ocasionales como periódicos, hasta el punto de que Chargaff comentó irónicamente que los biólogos moleculares serían encontrados más fácilmente «en una isla

griega o en lo alto de una montaña italiana» que en cualquier otro sitio ³⁹.

Serían de especial importancia para la consolidación de la biología molecular las dos reuniones celebradas en París sobre «partículas biológicas dotadas de continuidad genética» en 1948 y sobre «bacteriofago and lisogenia» en 1952, y dos reuniones celebradas en Cold Spring Harbor sobre «herencia en microorganismos» en 1951 y «virus» en 1953. Mientras que las reuniones de París incluyeron sólo dos o tres docenas de científicos, el simposium de Cold Spring Harbor de 1951 reunió a 305 participantes, 26 procedían de fuera de los Estados Unidos, de 13 países, y el celebrado en 1953 contó con 234 participantes, incluyendo 17 extranjeros de siete países diferentes. En estas reuniones, muchos de los futuros líderes en biología molecular, especialmente los franceses y americanos, intercambiaban puntos de vista sobre sus diversos enfoques en problemas de fisiología microbiana, bioquímica y genética. Los participantes establecieron una relación de complementariedad más que de competitividad, que dio lugar a numerosas visitas mutuas durante los años 50, cuando muchos de los futuros biólogos moleculares americanos comenzaron a «peregrinar» a la División de Fisiología microbiana del Instituto Pasteur ⁴⁰. Como veremos más adelante, este clima de continuo tráfico internacional constituyó el contexto social que dio lugar a la colaboración transnacional en descubrimientos clave en biología molecular; los más notables de ellos, los dos grupos de experimentos sobre el ARN mensajero.

Dentro de los muchos visitantes americanos a esa División estuvieron Seymour Cohen, pionero de la bioquímica del fago y el primero en llegar en 1947 gracias a una beca Guggenheim; David Hogness de Stanford, que colaboró con Jacques Monod en la cinética de la síntesis enzimática inducida; Arthur Pardee, de la Universidad de California en Berkeley, quien colaboró con Jacob y Monod en el experimento PAJAMA, que dio lugar a la hipótesis del ARN mensajero; Irving Zabin de UCLA que colaboró con Adam Kepes y George Cohen en transporte enzimático; Seymour Benzer de Caltech que colaboró con Francois Jacob y Elie Wolman en genética del fago; y Roger Stanier, un bacteriólogo canadiense de la Universidad de California en Berkeley, quien con el tiempo

sustituiría a Lwoff como jefe del Departamento de Fisiología microbiana. Quizás la «estrella» incuestionable de entre los visitantes americanos a Francia fue Melvin Cohn, entonces de la Universidad de Nueva York, quien permaneció en Francia durante 6 años (1949-55) «siendo un maestro en el arte de obtener becas de investigación americanas». La colaboración de Cohn con Jacques Monod y la italiana Annamaria Torriani en investigaciones sobre las propiedades inmunológicas y cinéticas de la adaptación enzimática, fue decisiva para transformar ese programa de investigación en lanzamiento del modelo clave de la biología molecular de la regulación celular de la expresión genética, el «operón»⁴¹.

Desde la parte francesa, visitas a América incluyeron las realizadas por André Lwoff y Jacques Monod al Simposium de Cold Spring Harbor en 1946, seguidas de varias visitas, incluida una estancia de seis meses de Lwoff a Caltech, y varios itinerarios de costa a costa de Monod; las visitas de François Jacob y Elie Wolman al Simposium sobre «Virus» en Cold Spring Harbor en 1953, seguidos por otras visitas cortas, pero cruciales, de Jacob, especialmente el viaje para pronunciar la Conferencia «Harvey» en la ciudad de Nueva York, de la cual nació su idea de «switch», y la estancia de un mes en Caltech durante la que colaboró en los experimentos sobre el ARN mensajero. Investigadores del Instituto Pasteur estuvieron durante largas temporadas en instituciones americanas, ése es el caso del pionero genetista de microbios Elie Wolman, que estuvo dos años en Caltech (1948-1950) y dos en Berkeley (1958-60); y Georges Cohen, un bioquímico de microbios tras cuya estancia en los laboratorios de los NIH de Bethesda a finales de los 50 recibió una invitación para asentarse permanentemente en los Estados Unidos, oferta que Monod pudo contrarrestar proponiendo nuevas acciones a la agencia francesa de política científica, CNRS, y cuyo efecto fue la creación de un Laboratorio de Enzimología para Georges Cohen en Gif-Sur-Ivette. Una generación de biólogos moleculares más jóvenes que habían pasado largas temporadas en laboratorios americanos incluyó a los estudiantes de Monod, Jean-Pierre Changeaux, que llegó a la Universidad de California en Berkeley y a la Universidad de Columbia gracias a una beca postdoctoral, visita que le hizo abandonar la biología

molecular por la neurobiología; Michel Goldberg, que fue a Stanford; y Maxime Schwarz, desde 1988 el director (más joven) del Instituto Pasteur, que estuvo varias veces en la Escuela de Medicina de Harvard haciendo investigaciones en colaboración ⁴².

Estos amplios antecedentes de intercambios internacionales empiezan a sugerir cómo estos contactos internacionales, tanto reuniones formales como informales, fortuitas y necesarias, resultaron constitutivas de todos los descubrimientos claves en biología molecular, más notablemente la hélice doble y el ARN mensajero. De hecho, la decisión de James D. Watson de cambiar su beca de investigación postdoctoral desde el laboratorio de Kalckar en Copenhague, al que llegó con la intención de estudiar los ácidos nucleicos, al laboratorio MRC de Cambridge, donde colaboró con Ole Maaloe en la replicación de fagos, fue tomada porque tuvo la oportunidad de observar una radiografía del ADN en una reunión internacional sobre «la estructura submicroscópica del protoplasma», celebrada en Nápoles, Italia, en mayo de 1951 ⁴³.

Del mismo modo, la negativa del Departamento de Estado Norteamericano a la concesión de visado a Linus Pauling, quien había propuesto la estructura de hélice alfa de proteínas, para acudir al Congreso de la Real Sociedad sobre estructura de proteínas, hizo que éste no pudiera observar las más recientes radiografías del ADN, tomadas en Londres por Rosalind Franklin y Maurice Wilkins. Estos trabajos, entonces aún no publicados, reemplazaron los trabajos publicados de W. T. Astbury de los años 1947 y 1938, lo que dio lugar a la imposibilidad de construir ningún modelo de ADN sin estos nuevos datos. El resultado de esa decisión del Departamento de Estado en el curso del progreso científico, tomada en el nombre de una extremada preocupación por la seguridad nacional durante los días más sensibles de la guerra fría, hizo que el modelo del ADN de Pauling de principios de 1953 fuera tristemente desestimado. Al mismo tiempo, la entrada de Pauling en el campo del ADN cambió también las caballerizas reglas de competencia entre las instituciones británicas, ya que éstas no se aplicaban a los extranjeros. Más tarde, la prohibición de acceso a los trabajos sobre el ADN en Cambridge, a la que estaban sujetos Watson y Crick, por el director de Cavendish, Sir

Lawrence Bragg (que llegó a un acuerdo territorial sobre la partición de ADN y proteínas entre las Unidades del MRC de biología molecular en Londres y Cambridge), fue retirada permitiéndose a Watson y a Crick introducirse en el campo de la estructura del ADN ⁴⁴.

Así mismo, la denegación de la visa por el Departamento de Estado al que fue director de la tesis doctoral de Watson, Salvador Luria, entonces en la Universidad de Illinois y políticamente activo, con inclinaciones izquierdistas, para presentar su trabajo ante la Reunión Internacional de la Sociedad Británica de Microbiología en 1952, no sólo negó la oportunidad a Luria de aprender más directamente los desarrollos europeos clave, sino que también hizo posible que Watson pasara por alto los trabajos de Luria y presentara en vez de ellos los resultados, entonces aun no publicados, de Hershey y Chase, demostrando que el ADN, y no las proteínas, era el componente del fago que se introducía y se replicaba en la bacteria ⁴⁵.

A parte del obvio carácter internacional del descubrimiento de la hélice doble (gracias a investigaciones realizadas por los co-autores, de distintas nacionalidades), otros aspectos propiamente internacionales, aparte de las ya mencionadas decisiones de un Departamento de Estado obsesionado por la Guerra Fría, incluyen los continuos viajes de Watson por varios laboratorios y congresos británicos, daneses, suizos, franceses e italianos, en busca de información además de toda la obtenida en las Universidades de Chicago, Indiana, Caltech y Cold Spring Harbor. También son de gran importancia la continua presencia de visitantes extranjeros al Cavendish, lugar de estancia de Watson cuando no se encontraba a la búsqueda de información dentro o fuera de las Islas Británicas (especialmente las visitas del americano Jack Donohue y del centro-europeo emigrado a los Estados Unidos, Erwin Chargaff, ya que ambos mantuvieron cruciales entrevistas con Watson y Crick durante sus visitas a los laboratorios ingleses gracias a la entonces creciente cantidad de becas de investigación existentes).

Esta extensa cantidad de datos sobre la hélice doble explica por qué la mayoría de los otros científicos carecieron de la oportunidad de hacer este descubrimiento de tipo rompecabezas, ya que casi ninguno de ellos tuvo una pa-

recida oportunidad de mantener la enorme cantidad de contactos entre laboratorios europeos y americanos, en unos tiempos en que sólo una pequeña sospecha era suficiente para evitar la salida o entrada de los Estados Unidos de científicos mayores y más experimentados. El hecho de que las únicas personas capaces de recolectar la información existente dispersa entre los países, con el fin de sacar conclusiones y corroborar la doble hélice fueran americanos de 23 a 25 años, que reunieron frenéticamente información inteligente de varios lugares y personas de la lentamente recuperada Europa, ilustra el profundo espacio internacional en el que se inscribe el descubrimiento de la doble hélice como impulso único y como legado del clima de la Guerra Fría en las relaciones internacionales.

De forma similar, el descubrimiento del ARN-mensajero en 1959 por dos equipos internacionales, uno compuesto por el británico Sydney Brenner, el francés François Jacob y el americano Mathew Meselson, y el otro formado por los franceses François y Françoise Gros, el suizo Alfred Tissière y los americanos James Watson y Walter Gilbert, refleja también la importancia crucial de las redes internacionales de trabajo en el crecimiento y la consolidación de la biología molecular. Más aún, la saga ARN desarrollada en una serie de reuniones formales e informales, no fue algo sin importancia en el desarrollo del descubrimiento. Inicialmente Jacob presentó la hipótesis del m-ARN (inicialmente como una deducción hipotética a partir de los resultados de los experimentos PAJAMA realizados por él en el Instituto Pasteur con Arthur Pardee, el último visitante durante el año académico 1957-58 de la Universidad de California en Berkeley), en el Congreso sobre genética microbiana organizado por Ole Maaloe, en Copenhague en Septiembre de 1959. Jacob y Pardee también hablaron sobre diferentes aspectos de sus experimentos compartidos en una reunión sobre citogenética en Bruselas, en la primavera de 1959. En el Congreso de Copenhague, al que también acudieron los británicos Francis Crick y Sidney Brenner, los americanos James Watson y Seymour Benzer, Maaloe y Niels Bohr, del propio país del congreso, Dinamarca, ninguno demostró tener ningún tipo de interés en la presentación de Jacob sobre sus trabajos de París.

Ocho meses más tarde, en abril de 1960, un grupo similar se reunió en las habitaciones de Sydney Brenner en el Kings College de Cambridge, como continuación a una reunión mantenida en la Sociedad Británica de Microbiología en Londres. Las únicas personas que asistieron a las dos reuniones fueron Jacob, Brenner, Crick y Maaloe. Fue en la reunión de Cambridge cuando se aclaró la posibilidad de «materializar» la hipótesis antes ignorada de un ARN intermediario inestable, especialmente cuando Brenner y Jacob cayeron en la cuenta de que habían recibido invitaciones para acudir en Junio de 1960 a Caltech. Así, ambos, junto con el americano Matt Meselson, realizaron en California un experimento que pudo demostrar la existencia del m-ARN. Matt Meselson (el proyectado anfitrión de Brenner) había desarrollado la técnica de centrifugación por gradiente de densidad, necesaria para el experimento planeado por Brenner y Jacob en Cambridge y capaz de probar una hipótesis nacida en París y, más tarde, desarrollada en encuentros intelectuales en Copenhague, Bruselas, y Cambridge.

Aunque la noción de un intermediario inestable del ARN llevaba algún tiempo planeando en los últimos años 50 (como se demostró en parte con la realización de un experimento paralelo por otro equipo internacional, con base en Harvard e incluyendo franceses, suizos y americanos), fue la notable internacionalización de su comportamiento o la más frecuente capacidad de movimiento e interacción en el área internacional, así como la capacidad de movilizar colaboradores para un experimento internacional y multidisciplinar, lo que dio a Brenner y Jacob (o a Gros, Tissière y Watson) la capacidad de estar en cabeza en la realización de los experimentos del ARN-mensajero ⁴⁶. De forma similar, fue la existencia intercontinental errante de Leo Szilard, como resultado de los violentos cambios políticos de la guerra, a través de Hungría, Alemania, Gran Bretaña y Estados Unidos, unida a su sólida experiencia profesional, lo que convenció a Jacques Monod de la posibilidad de la existencia de un mecanismo represor que operase en la inducción enzimática, durante una de las repetidas visitas de Szilard a París tras la Segunda Guerra Mundial. Esta idea se convirtió en un paso clave en la concepción de la hipótesis

del ARN-mensajero. Como profeta de la posibilidad de las reacciones en cadena del átomo con propósitos tanto para la paz como para la guerra, convertido en consejero científico, cuya conciencia sobre la bomba post-atómica le hizo destinar su inigualable imaginación y energía a la biología, y más tarde crear instituciones clave de políticas científicas internacionales en física y biología molecular, como CERN y EMBO, respectivamente (véase a continuación); Szilard personificaba muy bien esta extensa, como también ingeniosa y a veces invisible, unión entre la estrategia política internacional de la Guerra fría y el crecimiento de la biología molecular en un nuevo espacio internacional.

3. Los años 60: el post-Sputnik, bonanza multilateral en política científica

Tras las circunstancias creadas como consecuencia del Sputnik y hasta finales de los 60, el contexto nacional e internacional en los Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia, a la vez que en otros países, tuvo varios planes bi-y multi-laterales de cooperación científica. En los Estados Unidos el presupuesto del NSF experimentó un gran aumento y se firmaron varios acuerdos bilaterales con otros países para la promoción de reuniones internacionales en biología molecular, como, por ejemplo, el acuerdo con Italia en la reunión sobre biofísica y biología molecular en Nápoles⁴⁸.

En Gran Bretaña, un grupo de trabajo en biología molecular dirigido por John Kendrew (importante cristalógrafo de rayos X de proteína, de Cambridge, quien compartió el premio Nobel de química con Perutz por su contribución a la solución de la estructura de la mioglobina), recibió un encargo del gobierno para realizar un estudio sobre la situación de la biología molecular en ese país, especialmente a la vista del aumento de la «fuga de cerebros» de aquellos tiempos, un fenómeno que el grupo describió como un intento de disputar a Gran Bretaña su posición de liderazgo mundial en biología molecular (cuatro de los cinco premios Nobel en 1962 por los trabajos en la estructura de la proteína fueron a parar a científicos británicos). La recomendación del grupo incluía la sugerencia de establecer «centros de

excelencia» en biología molecular y la reforma de las universidades para acomodarse a estas necesidades interdisciplinarias ⁴⁹.

En Francia, el establecimiento de la Quinta República en 1958 dio lugar a un esfuerzo gubernamental para ayudar al progreso científico, como activo estratégico clave en la búsqueda de una posición independiente en el área internacional. Se creó una nueva agencia llamada *Délégation Générale pour la Recherche Scientifique et Technique* (de ahora en adelante DGRST) con el consentimiento de la oficina del Primer Ministro. Incluía un comité en biología molecular que afectó enormemente a la consolidación de ese campo a través del reclutamiento de recursos humanos prometedores en las augustas Grandes Ecoles, mediante la distribución de becas de investigación y la organización de intercambios internacionales para combatir el provincialismo de muchas instituciones francesas. Hasta 1973, momento en el que las iniciativas del DGRST fueron absorbidas por el CNRS, su comité de biología molecular presidido por el veterano biofísico René Wurmser y más tarde por el nobel Jacques Monod, distribuyó un número creciente de becas y reclutó a una nueva generación de biólogos moleculares, incluyendo el actual director del Instituto Pasteur, el politécnico Maxime Schwarz ⁵⁰.

Además de fenómenos internacionales como el Sputnik, la «fuga de cerebros» transatlántica y la desaparición del colonialismo francés en el norte de África, acelerando la aparición de nuevas iniciativas nacionales en política científica en los Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia, respectivamente, el único suceso internacional de importancia en biología molecular fue el establecimiento de la Organización Europea de Biología Molecular (de ahora en adelante EMBO) en 1963, como una organización no lucrativa, registrada en Ginebra bajo el artículo 60 del Código Civil Suizo. El fundamento de la promoción de la biología molecular por medio de la colaboración internacional resonó con la política de la Comunidad Europea de mantener un equilibrio estratégico del capital científico frente a los Estados Unidos logrando esto mediante la obtención de recursos de su gran cantidad de pequeños estados, dentro de la línea del Centro Europeo para la Investigación Nuclear

(de ahora en adelante CERN) establecido a las afueras de Ginebra en 1954, para permitir a los Estados Europeos mantener las enormes necesidades de las investigaciones en física de altas energías. La razón fundamental para el EMBO fue determinada por sus primeros creadores con el fin de evitar la «fuga de cerebros», y a la vez como respuesta a la suposición de un cese próximo de los fondos americanos para la ciencia europea ⁵¹.

Irónicamente tres de los cuatro científicos que iniciaron el proceso de establecimiento de EMBO (Leo Szilard, Victor Weiskopf, el director del CERN; James Watson y John Kendrew) eran ciudadanos americanos, aunque dos de ellos habían sido emigrantes europeos. Realmente, la presencia de Szilard en Ginebra en aquel momento se explica por otro suceso internacional, la crisis de misiles cubanos, que él creía que daría lugar a una Tercera Guerra Mundial. En una conversación mantenida entre los cuatro (que tuvo lugar durante la visita de Kendrew y Watson al CERN en su regreso de la ceremonia de entrega de los premios Nobel en Estocolmo en diciembre de 1962), se planteó la legitimación de una nueva fase de la política científica en sus poco corrientes carreras, Szilard sugirió que los biólogos moleculares europeos formaran una institución similar al CERN.

Esta idea fue seguida por dos docenas de biólogos moleculares, la mayoría europeos, en la Reunión de la Sociedad Física Italiana en septiembre de 1963. Un consejo provisional, encabezado por Perutz, quien compartió el Nobel en 1962 con Kendrew y el científico más veterano en Cambridge, se reunió en el CERN en febrero de 1964 y nombró miembros a 140 biólogos moleculares de 12 países diferentes ⁵².

Tras una discusión sobre posibles alianzas institucionales con otras organizaciones europeas como el CERN, el Centro Mundial de Investigación sobre la Salud, aún en proyecto dentro de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Comunidad de Energía Atómica Europea (Euratom), el consejo provisional decidió, a partir de lo ya convenido seis meses antes también en el CERN, aprobar la constitución de EMBO, registrarla en Suiza (cuyo gobierno federal también estuvo de acuerdo en comenzar una iniciativa diplomática «vis-a-vis» con otros gobiernos europeos), y solicitar fondos de otras fundaciones privadas europeas. El primer

secretario general del EMBO, Jeffries Wyman (un científico americano asentado en París, entonces asociado a la Universidad de Roma, y que colaboraba con Monod y Changeux en el modelo de alosterismo en la estructura y la función de las proteínas, el llamado «segundo secreto de la vida»), fue fundamental para dirigir varios de los esfuerzos diplomáticos que rodearon a la iniciativa ⁵³.

Otros biólogos moleculares que se convirtieron en importantes científicos internacionales en el proceso de establecimiento de la EMBO fueron el suizo Edward Kellenberger, un pionero en los estudios estructurales de fagos con el microscopio electrónico, y Alfred Tissière (del equipo internacional del m-ARN, anteriormente comentado); el israelita Aaron Katzir, un biofísico de polímeros y el jefe del Consejo Nacional para la Investigación y el Desarrollo en Israel; y el danés Maaloe. En 1970, muchos gobiernos europeos (incluidos los de Suiza, Francia, Alemania-Oeste, Holanda, Noruega, Suecia, Gran Bretaña, Austria, Dinamarca, Grecia, Italia, España e Israel; Irlanda, Finlandia e Islandia se unieron a finales de los 70) ratificaron el acuerdo intergubernamental planteado por el Consejo de EMBO ⁵⁴.

Uno de los pasos más importantes en la consolidación de la EMBO como principal organización internacional fue la decisión de elegir el emplazamiento del Laboratorio Europeo de Biología Molecular Europea (de ahora en adelante EMBL). Una posibilidad, Niza, fue ofrecida por el gobierno francés y fuertemente apoyada por Jacques Monod, y tres fueron ofrecidas por el Gobierno de Alemania Occidental en Munich y Heidelberg. Finalmente, fue Heidelberg la elegida para el establecimiento del EMBL en mayo de 1978. Una biblioteca del EMBL en honor a Leo Szilard, muerto en 1963, en el año 1979 conmemora el hecho de que fuera él quien primero propuso la idea. El último proyecto de la EMBO-EMBL ha sido *The EMBO Journal* (desde 1980), iniciativa dirigida a poner la comunicación científica, área dominada hasta ahora por revistas americanas, en manos europeas ⁵⁵.

Las actividades de la EMBO, definidas y redefinidas desde mediados de los 60 por los biólogos moleculares convertidos en autoridades científicas internacionales, y espe-

cialmente por John Kendrew, primer director general del EMBL (1975-1982), consideraron varios programas: becas de intercambio de corto y largo plazo; reuniones y cursos de aprendizaje; un laboratorio europeo; y un programa de becas de investigación. En 1963, 13 gobiernos europeos acordaron establecer una organización inter-gubernamental, la Confederación Europea de Biología Molecular (de ahora en adelante CEBM) para ofrecer ayuda a largo plazo a los programas de la EMBO. Un acuerdo de 1970 proporcionó fondos para los siguientes cinco años y desde entonces ha sido renovado y prolongado varias veces.

La EMBO reconoce haber promovido un gran número de proyectos de colaboración internacional, preparado a muchos jóvenes europeos, extendido nuevas ideas, técnicas y sistemas experimentales y aumentado la movilidad de jóvenes científicos. Además, la EMBO celebra cada año un simposium que permite a los jóvenes científicos conocer a líderes mundiales en su campo de investigación. En 1984, el EMBL, que es, desde sus comienzos en 1974, el centro institucional de la EMBO, contaba en su plantilla con 250 trabajadores ⁵⁶.

Dada la compleja implicación de los biólogos moleculares en el gobierno de la ciencia internacional desde los años 60, es interesante reconstruir sus propios argumentos en el contexto del internacionalismo de la ciencia en general, y de la biología molecular en particular, argumentos ofrecidos en un Simposio Internacional sobre «la función e importancia de la cooperación internacional en las ciencias biomédicas» celebrado en el Centro Internacional Fogarty de los Institutos Nacionales de la Salud de Estados Unidos (NIH) en 1983 ⁵⁷.

Un contraste interesante entre el discurso de los científicos participantes y el de los administradores y líderes internacionales de la ciencia, puede detectarse en las diversas contribuciones del Simposio Fogarty, provocadas por la percepción del declive en los intercambios internacionales mientras se referían a las ciencias biomédicas más intensamente moleculares. Aparte de la vaga alusión a la presumiblemente inherente y universalmente beneficiosa internacionalidad de la ciencia, compartida por todos los participantes, el discurso de los científicos giraba alrededor

de la enumeración de secuencias de resultados internacionales de científicos clave en varios temas científicos, que incluían la hemoglobina (Edsall), lisozima (Phillips), estructura de anticuerpos (Porter), inmunología celular, y la enfermedad de tiroides, como si esas secuencias explicaran por sí mismas la necesidad o el impacto de la colaboración internacional en la ciencia ⁵⁸.

Del mismo modo un cierto número de participantes destacó el creciente estatus internacional de varios laboratorios, especialmente en los años 50 y 60, que los transformó en «pasos obligados» en algunas disciplinas, especialmente en la formación posdoctoral, como por ejemplo, el Laboratorio Carlsberg de Química de la Proteína en Copenhague, el laboratorio del MRC de Biología Molecular en Cambridge, el Instituto Pasteur en París, el Instituto Weizmann en Rehovoth, o los laboratorios biomédicos de los NIH en Bethesda. Sin embargo, los científicos no expresaron claramente si el impacto de estos renombrados laboratorios se derivaba de la presencia en éstos de una alta concentración de modelos de líderes científicos, al ser éstos depositarios de tradición, en el sentido de saberes tecnológicos y de conocimiento tácito; en el sentido socio-profesional de estar expuestos al folclore, a aspiraciones, a redes de colaboración; en el sentido cultural de exponerse a otras lenguas y culturas o en otros sentidos ⁵⁹.

Tampoco el discurso de los científicos aclaró si las frecuentes alusiones al internacionalismo, como rasgo inherente e inalienable de la ciencia, reflejaban su crucial y pragmática función en la comunicación científica, y por tanto en la creatividad científica, fuente de progreso científico, o si el internacionalismo es un valor por sí mismo, presumiblemente una forma de ideología básica para mantener la autonomía política de la ciencia, una forma de protegerse del control de las élites políticas nacionales, democráticas o «autoritarias», en los países en desarrollo o desarrollados. Las únicas áreas de requerida colaboración internacional, por definición, serían aquellas que tienen que ver con expediciones, como los estudios sobre respiración y altitud, o la navegación en el Amazonas para estudios de la hemoglobina en especies de peces tropicales; o fenómenos como epidemias, que no reconocen las fronteras nacionales ⁶⁰.

En contraste con la búsqueda científica de razones para el internacionalismo en la ciencia, los gestores científicos, entre ellos Henry Danielsson, secretario general del Concilio de Investigación Médica Sueco; James Wyngaarden, director del NIH; David Evered, director de la Fundación Ciba en Londres, Charles Kidd del AAAS, pero especialmente Lennart Phillipson, de la Universidad de Uppsala y segundo director general del EMBL, se centraron en escurridizas razones para la existencia de instalaciones internacionales compartidas en las ciencias biomédicas. Admitiendo que el coste de la efectividad de tales instalaciones compartidas, más concretamente el EMBL, no es un argumento tan crucial en las ciencias biomédicas como lo había sido para el CERN en la física de las partículas (ya que los recursos están disponibles en los estados individuales), Phillipson sugirió que la principal justificación del EMBL era proporcionar acceso a instrumentación avanzada, como por ejemplo la radiación «syncrotron» en el DESY en Hamburgo, los haces de neutrones del Instituto Laue-Langevin en Grenoble, o el microscopio cryoelectrónico de Heidelberg⁶¹.

El que tal proximidad a las fuentes de energía avanzadas nunca había sido percibida como una razón suficiente para establecer una posibilidad compartida internacional, es evidente si se tiene en cuenta la revelación de Phillipson de una constante búsqueda de nuevos usos del EMBL, entre ellos como lugar para el banco europeo de datos sobre el ADN, para formar más profesionales en los niveles posdoctoral y de posgrado en un contexto más amplio, y para lograr la independencia de la investigación básica de la presión comercial, evitando convenios exclusivos con la industria privada. Otros objetivos dirigidos a mejorar la progresiva justificación del EMBL como centro internacional o inter-europeo científicamente relevante, más que meramente útil políticamente, incluían un énfasis en el carácter interdisciplinar de los temas seleccionados que no solapaban con los de los laboratorios nacionales, en la comunicación con centros comparables de los Estados Unidos, y en la instrumentación avanzada disponible, desde sistemas de detección de rayos X y microscopios electrónicos hasta difracción de neutrones.

Parece pues, de la intersección de los discursos de los científicos y de los administradores científicos, que la colaboración internacional en biología molecular estaba continuamente fundamentada en una estrategia destinada a obtener retornos político-económico crecientes en inversiones en ciencia; por ejemplo, para una autosuficiencia económica regional en tiempos de recesión global o de crisis políticamente inducida en los 80, o para combatir la agitación social de los años 30. Aún persiste la cuestión de por qué los científicos prefieren esquivas afirmaciones como las de «las ciencias naturales son inherentemente internacionales»⁶², antes de reconocer que el internacionalismo de las ciencias ha sido siempre una derivación directa de las realidades globales político-económicas, tanto como ha sido una característica innata de la comunicación y de la innovación en la empresa científica. Sólo queda por descifrar cómo precisamente estas dos fuentes de internacionalismo, una externa y otra interna, convierten tan suavemente restricciones políticas en una necesidad científica.

4. Conclusión: escuelas de investigación como «operadores» de la objetividad transnacional en la biología molecular

Dadas las variadas dimensiones del internacionalismo en la ciencia reveladas en los discursos citados o en los análisis históricos previos de los sucesos claves en el surgir de la biología molecular desde los años 30, persiste la cuestión referente a los orígenes y al impacto de las prácticas internacionalistas en la innovación que supuso la colaboración en biología molecular, dado el predominio de la condición de co-autoría internacional en todos los descubrimientos principales (la doble hélice, el ARN mensajero, el alosterismo), y la paralela e influyente participación de los biólogos moleculares en la política y diplomacia internacionales.

El espacio internacional en que ha estado operando la biología molecular desde sus comienzos, no sólo ayudó a la constitución de un nuevo campo, dotándolo de libertad frente al control social y a la resistencia internacional, sino

que también proporcionó una fuente de objetividad transnacional o una manera de escapar al chovinismo insular o a las excesivas tradiciones patrióticas de determinados países. La colaboración internacional reforzó la posición en sus países de aquellos científicos que estaban comprometidos en ello, dotándoles de acceso a recursos científicos nuevos, y de poder real (a través de alianzas transnacionales científicamente relevantes), y aparente (mediante la asociación con prestigiosas instituciones de otros países) ⁶³.

La transición de dependencia local y nacional de contextos específicos relaciones entre conocimiento y poder a la objetividad transnacional en la revolución asociada al surgir de la biología molecular, es sobre todo evidente en la función mediadora de las escuelas de investigación. Estas entidades sociales, intelectuales y políticas autodefinidas funcionan como niveles intermedios de interacción social, combinando instituciones locales y tradiciones y prácticas nacionales con oportunidades de contactos y colaboraciones prolongadas con visitantes de otros países, quienes aportan su propio y diferente sentido de localidad y contextualidad disciplinarias.

Por ejemplo, la escuela británica de biología molecular, situada en el laboratorio del MCR de Cambridge y centrada completamente en estudios empíricos de cristalografía proteínica por rayos X bajo la dirección de Bernal, W. L. Bragg, y Perutz sucesivamente, recibió la influencia de otra tradición, la de la genética de fagos, introducida por el americano en formación posdoctoral J. D. Watson durante los dos años de estancia en su centro. La consiguiente colaboración entre Watson y Crick, los miembros profesionales más jóvenes de sus respectivas escuelas, les permitió a ambos distanciarse de los limitados legados de ambas. Dio como resultado el descubrimiento de la doble hélice que trascendió a los legados de las dos escuelas de investigación, uno ideológicamente limitado a lo empírico, los estudios de los rayos X en el problema de la estructura de la proteína carente de datos genéticos; y el otro ideológicamente limitado a la genética clásica de fagos, carente de datos moleculares. Mientras que hay acuerdo en que el descubrimiento de la doble hélice no hubiera sido posible sin uno de sus dos co-autores, o por cualquier otro miembro de sus respectivas

escuelas en solitario, la función de estas escuelas de investigación en la posterior recepción del descubrimiento en el espacio internacional y su concreción en forma de icono de la biología molecular se comprende mucho menos. Irónicamente, como ambos legados debieron ser trascendidos para que se produjera el descubrimiento, al mismo tiempo el capital de las dos escuelas, tanto el científico como el social, fue crucial para que ese descubrimiento emergiera como decisivo para la biología molecular porque llevaba sobre sí una objetividad transnacional.

Del mismo modo, la triple colaboración transnacional en el caso del ARN mensajero combinaba los legados locales e internacionales de tres escuelas de investigación y trascendía sus respectivas limitaciones: el colaborador del laboratorio MCR de Biología Molecular en Cambridge Sidney Brenner, portador británico de conocimientos sobre manipulación de fagos mutantes para romper el código genético; el colaborador François Jacob de la División de Fisiología Microbiana del Instituto Pasteur de París, quien aportó los últimos resultados experimentales y teóricos de la escuela francesa de biología molecular sobre regulación celular de la expresión genética; mientras el colaborador Mathew Meselson del Caltech aportó la experiencia local de una escuela americana de biología molecular en la separación de moléculas grandes mediante sofisticados instrumentos como monitores de pulso radiactivo, y ultracentrífugas de gradiente de cesio. Las pruebas de que el ARN m era un intermediario del mensaje genético inestable, de corta vida, de importancia universal para la comprensión tanto de la síntesis de la proteína como del funcionamiento del código genético, obviamente a la vez requerían y trascendían los legados locales de las respectivas tradiciones y prácticas nacionales e internacionales de cada uno de los tres participantes.

El hecho de que éste y otros descubrimientos, modelos y experimentos claves en biología molecular no se hicieran y no pudieran haberse hecho fuera del contexto transnacional sugiere que se necesitaba un espacio internacional para acabar con el control conceptual de tradiciones locales y nacionales con preocupaciones y recursos experimentales específicos, mientras se permitían medios alternativos, in-

terinstitucionales y transnacionales para la legitimación conceptual, social y política de nuevas construcciones teóricas y empíricas como el ARNm. Como había ocurrido antes con la doble hélice, la intersección conceptual, social y política de las tres escuelas dieron credibilidad al ARN mensajero, objetivizándolo y asegurando una recepción favorable a pesar de la resistencia lógica y experimental fuera de las escuelas.

En este sentido, la intersección de los legados de varias escuelas en un espacio internacional como resultado de las acciones de miembros que apoyaban la internacionalización dio lugar a la objetividad transnacional, suspendiendo las aparentemente absolutas restricciones impuestas por la presencia rutinaria, aplastante y autoritaria de las «tendencias culturales» locales o prejuicios institucionalmente inducidos que denigraban fuentes disciplinarias supuestamente «rivales», como, por ejemplo, la absurda depreciación de la bioquímica por genetistas clásicos del fago, o la de la química cuántica por los cristalógrafos de rayos X de proteínas, o de la genética por los químicos del ADN; o la exclusión de las redes de contacto, no digamos de la colaboración, a individuos de ciertos rangos, orígenes disciplinarios, sexo, raza, etnia, o edad. De este modo, el espacio internacional posibilita el proceso de construcción, confirmación y formación de autoridad de objetividades transnacionales mediante la creación de condiciones sociales que suprimen las limitaciones de la serie de recursos humanos y materiales disponibles dentro de una subcultura de costumbres de investigación y prácticas nacionales dadas.

En conclusión, el espacio internacional dentro del cual se han inscrito siempre los descubrimientos de la biología molecular, desde sus contingentes comienzos en programas de investigación de progreso científico sociopolíticamente relevantes en los años 30, hasta su objetivación en los sistemas de investigación en expansión nacional e internacional durante los años 60, tienen una dimensión dual, pragmática y legitimadora. La resultante objetividad transnacional de nuevas realidades teóricas y empíricas, como la doble hélice, el ARN mensajero o los enzimas alostéricos, entre otros muchos nuevos objetos de la biología molecular, dependieron así de una serie de oportunidades, moduladas por la política

científica, de acceso estable y rutinario a tradiciones disciplinares externas, de presuposiciones teóricas y prácticas disciplinares diferentes y posiblemente contradictorias, de resultados tácitos y de confianza en un nuevo mundo de profesionales interdisciplinarios socialmente internacionalizados.

En ese creciente «mundo feliz» de continua erosión de fronteras disciplinares y nacionales, que desde entonces ha incluido tanto nuevas empresas internacionales en biología molecular aplicada, por ejemplo, la biotecnología y el proyecto genoma humano, como nuevas fronteras internacionales o estratégicas (una vez que Rusia y los países de la Europa del Este pidieran formar parte de la OTAN); hay una gran cantidad de significados en continuo cambio: las moléculas ya no son meras moléculas, sino mensajes de información biológica; los virus ya no son simples virus, sino uniones biológicas de capas de proteínas y núcleos de ácidos nucleicos; los genes ya no son meros genes sino extensiones del ADN, capaces de unirse artificialmente mediante enzimas de restricción listos para actuar por encima de fronteras no ya meramente internacionales sino evolutivas.

Agradecimientos

Estoy en deuda con los organizadores de la reunión Absiko en Mayo de 1991, por la oportunidad que me ofreció de replantearme y reorganizar las dimensiones internacionales de mi estudio comparado de las escuelas de investigación de biología molecular en los Estados Unidos, Gran Bretaña y Francia desde 1930 a 1970 (financiado por la beca NSFDIR-8922152 de la National Science Foundation), en la estimulante vecindad del círculo polar, donde una versión previa de este trabajo se benefició de los comentarios de Elisabeth Crawford, Aant Elzinga, Paul Hoch, Andrew Jamison, Everett Mendelsohn, Jennifer Platt, Thomas Schott, Terry Shinn y Sverker Sörlin. Yaron Ezrahi y Daryl Chubin también motivaron varios aspectos de este estudio, aunque en latitudes más convencionales. Sólo la autora es responsable de los puntos de vista aquí expuestos.

Notas

¹ Véanse numerosas referencias en los orígenes de la biología molecular en ABIR-AM, P. G.: «Themes, genres and orders of legitimation in the consolidation of new disciplines: Deconstructing the historiography of molecular biology», *History of Science*, 1985, 23: 73-117, que también incluye un detallado repaso a los tres libros disponibles hasta hora sobre la historia de la biología molecular: OLBY, R. C.: *The Path to the Double Helix* (Macmillan, Londres, 1974); SAJET, H.: *L'essor de la biologie moléculaire 1950-1965* (CNRS, Paris, 1978); JUDSON, H. F.: *The Eighth Day of Creation: The Makers of the Revolution in Biology* (Basic Books, New York, 1979). Este tema está actualizado en OLBY, R. C.: «The molecular revolution in biology», en OLBY, R. C.; CANTOR, G. C.; CHRISTIE, J. R. R. y HODGE, M. J. S. (eds.): *A Companion to History of Science* (Routledge, Londres y Nueva York, 1990), pp. 503-520; y ABIR-AM, P. G.: «Noblesse oblige: Lives of molecular biologists», *Isis*, 1991, 82: 326-343.

² Para los puntos de vista colectivos de miembros de escuelas de investigación de biología molecular véase CAIRNS, J.; STENT, G. S. y WATSON, J. D.: *Phage and the Origins of Molecular Biology* (Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbour, Nueva York, 1966); RICH, A. y DAVIDSON, N.: *Structural Chemistry and Molecular Biology* (Freeman, San Francisco, 1968); MONOD, J. and BOREK, E. (eds.): *Of Microbes and Life* (Cornell University Press, Ithaca, 1971); LWOLF, A. y ULLMANN, A.: *Origins of Molecular Biology: A Tribute to Jacques Monod* (Academic Press, Nueva York, 1979). Para una relación comparativa de escuelas de investigación por medio de una base de datos correlativa véase «Research schools of molecular biology in the US, UK and France, 1930-1970» de Abir-Am, Work-in-Progress Reports al NFS, 1986-1990 (próxima publicación).

³ El aparato teórico utilizado para articular la interdependencia de las dimensiones conceptual, social y política del cambio científico en general y su utilidad en el problema del origen de la biología en particular ha sido discutido en ABIR-AM, Pnina G.: «The Biotheoretical Gathering, transdisciplinary authority and the incipient legitimation of molecular biology in the 1930s: New perspective in the historical sociology of science», *History of Science*, 1987, 25: 1-70, versión reducida de ABIR-AM: «The Biotheoretical Gathering in England, 1932-1938 and the origins of molecular biology: An essay on the construction, legitimation and authority of transdisciplinary knowledge in a historical context» (Tesis doctoral, Universidad de Montreal, 1983/4), 600 pp.

⁴ Para detalles véase ABIR-AM, P. G.: «Recasting the disciplinary order in science: A deconstruction on rhetoric on 'biology and physics' at two International Congresses in 1931», *Humanity and Society*, 1985, 9: 388-427.

⁵ Para una perspectiva general del problema de la investigación de la proteína en los años 30 véase SRINIVASAN, P. R.; FRUTON, J. S. y EDSALL, J. T. eds.: *The Origins of Biochemistry, a Retrospect on Proteins* (The New York Academy of Sciences Press, Nueva York, 1979); véase también el ensayo crítico de revisión de esa colección por ABIR-AM, P. G. en *British Journal for the History of Science*, 1982, 15: 301-305.

⁶ En la conexión entre la ciencia y el Imperio Británico con un énfasis especial en la función de la Asociación Británica para el Progreso

de la Ciencia véase WORBOYS, M.: «The British Association and Empire: Science and social imperialism» en MACLEOD, R. y COLLINS, P. eds., *The Parliament of Science: The British Association for the Advancement of Science, 1831-1981* (Science Reviews Ltd., Londres, 1981), pp. 170-187, y PANCALDI, G.: «Scientific internationalism and The British Association», *ibidem*, pp. 145-169. Sobre ciencias e imperio ideológico Soviético véase JORAVSKY, D.: *The Lisenko Affair* (University of Chicago Press, Chicago y Londres, 1970, 1986); sobre el despliegue soviético de científicos comunistas radicales, pero especialmente en Gran Bretaña, véase WERSKEY, G. D.: «The Visible College» (Allen Lane, Londres, 1978). Sobre ciencia y despliegue financiero americano de fundaciones filantrópicas véase KOHLER, R. E.: *Partners in Science: Foundations and Natural Scientists, 1990-1945* (Chicago University Press, Chicago y Londres, 1991).

⁷ Véase nota 3; también ABIR-AM, P. G.: «The discourse on physical and biological knowledge in the 1930s: A reappraisal of the Rockefeller Foundation's policy in molecular biology», *Social Studies of Science*, 1982, 12: 341-382; *ibidem*, 1984, 14: 252-263; *idem*, «The assesment of interdisciplinary research in the 1930s: The Rockefeller Foundation and physico-chemical morphology», *Minerva*, 1988, 26: 153-176.

⁸ Véase BUKHARIN, N. I.: *Science at the Cross-Roads* (Kniga, Londres, 1931, Segunda edición, Londres: Science for the people, 1971).

⁹ *Ibidem*. Véase especialmente HESSEN, B.: «The socio-economic roots of Newton's Principia». Véase también la discusión del impacto de los conferenciantes soviéticos en WERSKEY: *The Visible College*, capítulo 3.

¹⁰ Véase detalles en ABIR-AM, «Recasting», pp. 402-407.

¹¹ Véase nota 3.

¹² En la perspectiva científica y social de Hopkins, véase HOPKINS, H. G.: «Some chemical aspects of life» (Presidential address), *Annual Reports of the British Association for the Advancement of Science* (1933), pp. 1-24; NEEDHAM, J. y BALDWIN, J. eds.: *Hopkins and Biochemistry* (Cambridge University Press, Cambridge, 1949); sobre las relaciones de Hopkins con la Fundación Rockefeller como representante de la Unión Biotéorica véase Abir-Am, «The assesment», pp. 153-176.

¹³ Sobre el profundo impacto de Hopkins en jóvenes científicos, especialmente sobre aquellos trabajando en las ciencias de la vida molecular en Cambridge, véase NEEDHAM, J.: «Frederick Gowland Hopkins, 1860-1947», *Perspectives in Biology and Medicine*, 1962, 6: 2-46 y capítulo 6 en ABIR-AM, P. G.: «The Biotheoretical Gathering in England». Véase también nota 7.

¹⁴ Para más detalles y referencias adicionales véase ABIR-AM: «The discourse», e *idem*, «The assesment»; véase también KOHLER, 1991, nota 6.

¹⁵ Véase detalles en ABIR-AM: «The 50th anniversary of the first protein x-ray photo and the origins of molecular biology», *Proceedings of the Anglo-american Conference in the History of Science*, Manchester, julio 1988, pp. 110-117; *idem*, «A historical ethnography of a scientific anniversary in molecular biology: The first protein x-ray photo, 1934», *Social Epistemology*, 1992, 6 (próxima edición especial). Véase también EDSALL, J. T.: «Proteins as macromolecules: An essay on the development of the macromolecule concept and some of its vicissitudes», *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1962, 1: (Supl.) 12-20; SERVOS, J.: *Physical Chemistry from Ostwald to Pauling* (Princeton University Press, Princeton, 1990), y «Discussion on the protein molecule», *Procee-*

dings of the Royal Society, 170A, (1938), pp. 40-56; *Cold Spring Harbor Symposium on Protein Chemistry*, (Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring Harbor, Nueva York, 1938). Véase también nota 5.

¹⁶ Véase detalles en ABIR-AM, «The assessment»; para los antecedentes internacionales de las operaciones de la Fundación Rockefeller véase también WEINDLING, P.: «The Rockefeller Foundation and German biomedical sciences, 1920-1940: From educational philanthropy to international science policy», en RUPKE, N. A. ed., *Science, Politics and the Public Good* (MacMillan, Londres, 1988), pp. 119-140.

¹⁷ Para más detalles sobre metáforas y construcción del significado transdisciplinar en la biología molecular, véase ABIR-AM: «The Biotheoretical Gathering in England». Véase también ABIR-AM, 1987: también en la nota 3.

¹⁸ *Ibidem.*

¹⁹ Para detalles sobre los libros sobre viajes de los empleados de la FR véase ABIR-AM: «The discourse», *Social Studies of Science*, 1982; sobre las circunstancias que rodeaban al presidente de la FR véase *idem*, «The assessment», p. 175.

²⁰ El naciente énfasis en estructura de proteína como el problema de la biología molecular en los años 30, se amplió con la primera teoría de la estructura de la proteína propuesta por Dorothy Wrinch, miembro de la Unión Bioteórica, a finales de los años 30, la cual enfocó y dio coherencia a los diversos proyectos de la FR con el efecto de su incorporación dentro del Informe Anual interno de la FR, e incluso en sus ocasionales ataques a la literatura popular científica; véase por ejemplo ABIR-AM, P. G.: «Synergy or clash: Disciplinary and marital strategies in the career of mathematical biologist Dorothy M. Wrinch», en ABIR-AM y OUTRAM, D.: *Uneasy Careers and Intimate Lives: Women in Science, 1789-1979* (Rutgers University Press, New Brunswick, NJ y Londres, 1987, 1989), pp. 338-394, y WEAVER, W.: «Protein structure studies», *Scientific Monthly*, 1951, 73: 387-390.

²¹ Sobre los puntos de vista comparados de la biología molecular originados en la cristalografía de los rayos X de proteínas o en genética del fago convertida en molecular, véase KENDREW, J. C.: «How molecular biology started?», *Scientific American*, 1967, 217: 141-143; *idem.*, «Some remarks on the history of molecular biology», *Biochemical Society Symposium*, 1970, 30: 5-10; STENT, G. S.: «That was molecular biology that was», *Science*, 1968, 160: 390-395, para un análisis en este debate véase ABIR-AM, «Themes», pp. 88-94. Véase también nota 39, a continuación.

²² BERNAL, J. D. y CROWFOOT, D.: «X-ray photographs of crystalline pepsin», *Nature*, 1934, 133: 794-795; HODKIN, D. C. y RILEY, D. P.: «Some ancient history of protein X-ray analysis», en RICH y DAVIDSON, eds., *Structural Chemistry*, nota 2, pp. 15-28; PHILLIPS, D.: «Development of concepts of protein structure», *Perspectives in Biology and Medicine*, 1986, 29: S124-S131; *Social Epistemology*, 1992, 6(4) (próximamente).

²³ *Idem.*

²⁴ *Idem.*

²⁵ ABIR-AM: «The first protein X-ray photo».

²⁶ Véase ASTBURY, W. T.: «Aventures in molecular biology», *The Harvey Lectures* (Thomas, Springfield/ Illinois, 1951), pp. 3-44. Sobre Wrinch y Langmuir véase ABIR-AM, «Synergy or clash: Disciplinary and marital strategies in the career of mathematical biologist Dorothy M. Wrinch», nota 20.

²⁷ Véase SRINIVASAN: *The Origins*, nota 5.

²⁸ Véase la lista de participantes y sus afiliaciones en las actas del *Cold Spring Harbor Symposium on Protein Chemistry* (1938), *op. cit.*, nota 15.

²⁹ BERNAL, J. D.: *The Social Function of Science* (Routledge, Londres, 1939), capítulo 8, el cual trata de la ciencia en varios países, ciencias y características nacionales, ciencia y fascismo, y ciencia y socialismo. Véase también WERSKEY: *The Visible College* y SINCLAIR, A.: *The Red and the Blue: Cambridge, Treason and Intelligence* (Little Brown, Boston, 1986).

³⁰ En el trabajo de Perutz véase sus *Novel Lectures*, en *Novel Lectures in Chemistry* (Elsevier, Amsterdam, 1964); *idem*, «Origins of molecular biology», *New Scientist*, 1980, (31 de Enero), pp. 326-329; *idem*, *Is Science Necessary?: Essays on Science and Scientists* (Barrie y Jenkins, Londres, 1989).

³¹ *Réunion Internationale du Palais de la Decouverte*, 1937, (Actas) (Herman y Cie, Paris, 1938).

³² «Proceedings of the 7th International Congress of Genetics», *Journal of Heredity*, 1940, pp. 3-37.

³³ Para más detalles véase WADDINGTON, C. H.: «Some European contributions to the prehistory of molecular biology», *Nature*, 1969, 221: 318-321; véanse también las notas y el escrito de Waddington de la reunión en el archivo de Waddington, Biblioteca de la Universidad de Edinburgo. Para más detalles véanse las actas de becas de estas personas en el Centro de archivos Rockefeller, North Tarrytown, NY, también citado en ABIR-AM, «The discourse», véase también el archivo de Astbury en la biblioteca de la Universidad de Leeds: Bernal's archive in the Manuscript Room of the Cambridge University Library.

³⁴ Sobre Ephirusi véase BURIAN, R. M.; GAYON, M. y ZALLEN, D. T.: «Boris Ephirusi and the synthesis of genetics and embriology», en GILBERT, S. (eds.), *A Conceptual History of Modern Embriology* (Plenum Press, Nueva York, 1991), pp. 207-228; sobre Timofeeff-Ressovsky véanse varios archivos en el archivo de H. J. Muller, Biblioteca Lilly, Universidad de Indiana y en el archivo Max Delbrück, Biblioteca Millikan, Caltech. Véase también KUCHMENT, M.: «The rehabilitation of Timofeeff-Ressovsky during Perestoyka in the Soviet Union», Conferencia en el Coloquio sobre Historia de la Ciencia del Siglo XX, Universidad Harvard, 1988; véase también PAUL, D. B. y KRIMBAS, C. B.: «Nicolai V. Timofeeff-Ressovsky», *Scientific American*, 1992, 226: 86-92

³⁵ Ediciones KARP, V. y B.; RAPKINE, Louis, 1904-1948 (The Orpheus Press, North Bennington, Vermont, 1988); véanse los capítulos de NEEDHAM, Joseph y BRACHET, Jean; véase también ZALLEN, D. T.: «Louis Rapkine and the restauration of French science after WW2», *French Historical Studies*, 1991, 17: 5-37.

³⁶ *Idem*.

³⁷ Véase ABIR-AM: «How Scientist View Their Heroes» (ensayo sobre el volumen en memoria de Jacques Monod), *Journal of the History of Biology*, 1982, 15: 281-315.

³⁸ Sobre la política científica de los Estados Unidos tras la Segunda Guerra Mundial, véase SMITH, B.: *American Science Policy after 1945* (Brookings Institutions Press, Washington DC, 1990); GOLDEN, W. T. (eds.): *Science and Technology Advice to the President, Congress and*

the Judiciary (Pergamon Press, Elmsford, Nueva York, 1988); *idem*, *World-wide Science and Technology Advice to the Highest Levels of Government* (Pergamon Press, Elmsford, Nueva York, 1991); véase también KEUREN, D. van y RENGOLD, N. (eds.): *Science and the Federal Patron: post WWII Government Support of American Science* (Smithsonian Institution Press, Washington DC, in press), especialmente los ensayos de T. Appel sobre ayudas a la biología del NSF y J. Hall en la ayuda del AEC a la biología y la medicina. Sobre políticas científicas importantes para el desarrollo de la biología molecular en Gran Bretaña véase LANDSBOURGH THOMSON, A.: *Half a Century of Medical Research*, Vol 1: *Origins and Policy of the Medical Research Council*; Vol 2: *The Programme of the Medical Research Council* (HMSO, Londres, 1973, 1975); KENDREW, J. C. (Director): *Report of the Working Group on Molecular Biology* (HMSO, Londres, 1968); PHILLIPS, D.: «The role of the Advisory Board of Research Councils in the UK, exposición en una conferencia sobre política científica, Queen's College, Oxford, Julio 1986; sobre política científica relevante al desarrollo de la biología molecular en Francia véase ABIR-AM, P. G. y CALLON, M.: «Science policy toward molecular biology from the 1930s to the Fifth Republic», en el Centennial Meeting en el Instituto Pasteur, Paris, 10 de Junio, 1988; POLANCO, X.: «Le CNRS, la DGRST et la biologie moleculaire en France» en *Cahiers pour l'Histoire de CNRS* (Editions du CNRS, Paris, 1990), 7: 49-90; PAUL, H.: «Le CNRS, moyen d'une politique de la science», *idem*, 5: 31-41; GAUDILLIÈRE, J. P.: «La biochemie au CNRS», *idem*, 7: 91-147; *idem*, «Un espace Institutionnel pour la biologie moléculaire: Les actions concertées de la DGRST», en «Biologie moléculaire et biologistes dans les années soixante: La naissance d'une discipline: Le cas Français» (Ph. D. tesis, Université de Paris VII, 1991), pp. 70-103. Véase también PICARD, J. F.: *La république des savants: La recherche française et le CNRS* (Flammarion, Paris, 1990).

³⁹ Véase CHARGAFF, E.: *Heraclitean Fire, Sketches of a Life before Nature* (Rockefeller University Press., Nueva York, 1978); ABIR-AM: «From biochemistry to molecular biology: DNA and the acculturated journey of the critic of science Erwin Chargaff», *History and Philosophy of Life Sciences*, 1980, 2: 3-60.

⁴⁰ Véase *Cold Spring Harbor Symposium on Heredity and Variation in Microorganisms*, *Cold Spring Harbour Symposium on Viruses* (Cold Spring Laboratory Press., Cold Spring Harbor, Nueva York, 1951; 1953, respectivamente). Véase también ABIR-AM: «How Scientist View Their Heroes»; SAPP, J.: *Beyond the Gene: Cytoplasmic Inheritance and the Struggle for Authority in Genetics* (Oxford University Press, Oxford, 1987), especialmente el capítulo 5; BURIAN, R.; GAYON, J. y ZALLEN, D.: «The singular fate of genetics in the history of french biology, 1900-1940», *Journal of the History of Biology*, 1988, 21: 357-402; Gaudillière, *Biologie moleculaire*, véase nota 38.

⁴¹ Véase LWOFF y ULLMANN, eds.: *Origins*; MONOD y BOREK, eds.: *Microbes and Life*, ABIR-AM: «How scientists view their heroes»; *idem*, «Research schools of molecular biology in the US, UK, and France».

⁴² Véase COHEN, G.: «Four decades of Franco-American collaboration in biochemistry and molecular biology», *Perspectives in Biology and Medicine*, 1986, 29: S141-S148; JACOB, F.: *The Statue Within, An Autobiography* (New American Library, Nueva York, 1968); OLBY: *The Path to the Double Helix*, Sección V.

⁴⁴ Sobre este episodio véase WATSON: *The Double Helix*; OLBY: *The Path of the Double Helix*; JUDSON: *The Eighth Day of Creation*; SERAFINI, A.: *Linus Pauling, A Man and his Science* (Paragon Books, Nueva York, 1989); PAULING, L.: «My troubles with the State Department in the 50's», History of Science Society Annual Meeting, 29 de Octubre, 1990; también las respuestas a las preguntas de la audiencia incluyendo una de P. G. Abir-Am de si sus dificultades con el pasaporte afectaron adversamente a sus trabajos científicos (referente a una especulación previa de los editores del número biográfico de *Daedalus* de 1970 sobre que la imposibilidad de Pauling de acceder a los datos británicos le impidió descubrir la doble hélice). Véase también KEVLES, D.: «Cold war and hot physics: science, security, and the American State», *Historical Studies in the Physical and Biological Sciences*, 1990, 20: 239-264.

⁴⁵ *Idem.*

⁴⁶ Sobre el ARN mensajero véase JACOB: *The Statue Within*; GROS, Francois: «The messenger», en LWOFF y ULLMANN (eds.): *Origins*, pp. 117-125; JUDSON, *The Eighth Day of Creation*, Sección II.

⁴⁷ Véase LWOFF, A.: «Jacques Lucien Monod, 1910-1976», en LWOFF y ULLMANN: *Origins*; MONOD, J.: Introduction to *Leo Szilard: Collected Works, Vol I*, pp. 1-23, FELD, E. y WEISS SZILARD, G. (eds.), (MIT Press, Cambridge, MA, 1972). Véase también LANOETTE, W.: *Genius in the Shadows: A Biography of Leo Szilard* (Scribner's, Nueva York, 1992).

⁴⁸ «Bilateral agreement between the US and Italy», *Science*, 1967, 158: 813; véase también MERTON, E. J.: «Investing in universities: Genesis of the NSF's institutional programs, 1958-1963», *Journal of Policy History*, 1990, 2: 131-156; *idem*, *A Patron for Pure Science: National Science Foundation's Formative Years* (NSF, Washington DC, 1982). Véase también APPEL y HALL en VAN KEUREN y REINGOLD (eds): *Science and the Federal Patron*, *op. cit.*, nota 38 y ABIR-AM: «The politics of macromolecules: molecular biologist, biochemist and Rhetoric», *Osiris*, 1992, 7: 210-237.

⁴⁹ KENDREW, J. (director): *Report of the working Group on Molecular Biology* (HMSO, Londres, 1968, n.º 3752). Véase también ABIR-AM: «The politics», nota 48.

⁵⁰ Véase la parte sobre Francia en la nota 38.

⁵¹ KENDREW, J.: «European Molecular Biology Organization», *Nature*, 1968, 218: 840-842; [Special Correspondent], «The EMBO question debated», *Nature*, 1969, 224: 406-407; TOOZE, J.: «A brief history of the European Molecular Biology Organization (EMBO)», *The EMBO Journal*, 1981, 2: 1-6; *idem*: «The role of European Molecular Biology Organization (EMBO) and European Molecular Biology Conference (EMBC) in european molecular biology (1970-1983)», *Perspectives in Biology and Medicine*, 1986, 29: S38-S46; PHILLIPSON: «The European Molecular Biology Laboratory: An international Collaborative effort», *Perspectives in Biology and Medicine*, 1986, 29: S96-S106.

⁵² *Idem.*

⁵³ Véase EDSALL, J. T.: «Jeffries Wyman and myself: A study of two interacting lives», en SEMENZA, G. (ed.), *Selected Topics in the History of Biochemistry, Personal Recollections*, (Comprehensive Biochemistry, vol. 36) (Elsevier, Amsterdam, 1985), pp. 99-195. Véase también DEBRU, C.: *Philosophie Moléculaire: Monod, Wyman, Changeux* (Vrin, Paris, 1987).

⁵⁴ Kellenberger y Maaloe tenían estrechas relaciones con miembros de la Escuela de Investigación en genética del fago; véase, por ejemplo,

su contribución a Cairns, Stent y Watson (eds.), *Phage and the Origins of Molecular Biology*, nota 2; Tissiére fue un colaborador de Watson en los experimentos de ARN mensajero (véase más arriba) mientras que Katzir se basó en el internacionalmente renovado Weizman Institute; sobre éste véase KATCHALSKY-KATZIR, E.: «From high-molecular-weight protein models to enzyme engineering: Research at the Weizman Institute of Science», *Perspectives of Biology and Medicine*, 1986, 29: S73-S86.

⁵⁵ Véase nota 51.

⁵⁶ *Idem*.

⁵⁷ Véase *Perspectives in Biology and Medicine*, 1986, 29: (Supplement) S16-S217.

⁵⁸ Véase por ejemplo EDSALL, J. T.: «Understanding blood and haemoglobin: An example of international relations in science», *Perspectives in Biology and Medicine*, 1986, 29: S107-S123; PHILLIPS, «Development of concepts of protein structure», *ibid* pp. S124-130, PORTER, R. R.: «Antibody structure and the antibody workshop, 1958-1965», *ibid*, S:161-S165; NOSSAL, G. J. V.: «Turning points in cellular immunology: The skein untangled through a global invisible college», *ibid*, S166-S177; BENACE-RAFF, B.: «The glorious days of cellular immunology; New York University years and beyond, and international experience», *ibid*, S178-S183; STANBURY, J. B.: «A case report on international cooperation in the study of thyroid disease», *ibid*, S205-S213.

⁵⁹ Véase especialmente ANFINSEN, C. B.: «The international influence of the Carlsberg Laboratory of protein chemistry», *ibid*, S87-S221; ANDREOLI, Mario: «The role and significance of international cooperation in the biomedical sciences: Endocrinology research at the University of Rome», *ibid*, S218-S221; STEINZ, J. A.: «Shaping research in gene expression: Role of the Cambridge MCR Laboratory of Molecular Biology», *ibid*, S90-95.

⁶⁰ Véase EDSALL: «Understanding blood and haemoglobin»; BRUNONI, M. y WYMAN, J.: «The alpha-helix expedition in the Amazon: A special case for international collaboration», *ibid*, S138-S140.

⁶¹ DANIELSSON, H.: «Collaboration and mobility in biomedical research: Role of the European Medical Research Councils», *ibid*, S47-S56; WYNGAARDEN, J.: «The evolving role of governmental and private American organizations in support of international cooperation in biomedical sciences», *ibid*, S8-S20; EVERED, D.: «Current policies and research organization relating to international scientific collaboration», S34-S37; KIDD, C. V.: «International mobility of bioscientist: Trends and perceptions, country by country», S21-S33; PHILLIPSON: «The European Molecular Biology Laboratory».

⁶² PHILLIPSON: «The European Molecular Biology Laboratory», pp. S98-S101.

⁶³ Para un marco histórico que estimuló la noción de este estudio de un «espacio internacional» como constitutivo de la biología molecular véase CRAWFORD, E.: «The universe of international science, 1880-1939», en FRÄNGSMYR, T. (ed.), *Solomon's House Revisited: The Organisation and Institutionalisation of Science*, (Science History Publications, Canton, MA, 1990), pp. 251-269. Véase también BOURDIEU, P.: «Social space and symbolic power», *Sociological Theory*, 1989, 7: 18-26.