

Nota biográfica

*Pnina G. Abir-Am es profesora en visita de la NSF (National Science Foundation) en la Universidad de California, Berkeley. Email: pgabiram@socrates.berkeley.edu. También coordina un proyecto sobre la divulgación de la ciencia utilizando técnicas teatrales, en colaboración con el Departamento de Pedagogía de la Ciencia, de la Universidad Hebrea de Jerusalén. Su publicación más reciente es *Commemorative Practices in Science: Historical Perspectives on the Politics of Collective Memory*, Clark Elliott, 1999.*

La biología molecular en el contexto de las culturas del Reino Unido, Francia y Estados Unidos

Pnina Geraldine Abir-Am*

Introducción

La biología molecular, o estudio de los problemas biológicos a nivel macro/molecular (por oposición a otros niveles de orden biológico, como el orgánico o el celular) es una ciencia fundamental del siglo XX. Como megadisciplina nueva, integradora, interdisciplinaria e internacional, con un impacto sobre la sociedad de gran alcance y en continuo crecimiento, la biología molecular se ha desarrollado históricamente en tres grandes etapas, cada una de ellas bajo la influencia fundamental de una de las ciencias exactas: la química, la física y las matemáticas (Abir-Am 1992/3,1997; Morange 1998; De Chadarevian y Kamminga (eds.) 1998).

Durante el primer tercio del siglo XX y, en cierta medida, hasta el final de la Segunda Guerra Mundial, la química fue la disciplina que más influyó en la biología molecular. A la vez poderosa y temida debido a los resultados de su notable rendimiento durante la Primera Guerra mundial en la producción industrial de municiones y alimentación a escala nacional, fundamentalmente en Gran Bretaña y Alemania, la química proporcionó a la biología una metodología de investigación que ya había demostrado su gran éxito en la química orgánica. También definió como hegemónica la problemática de la estructura, función y reacciones metabólicas de los compuestos biológicos, sobre todo las versátiles enzimas y otras proteínas (Holmes, 1991, 1993; Kornberg 1989; Kohler 1982; Fruton 1972). Esta etapa de la molecularización de la biología es más conocida como "bioquímica", término que fue favorecido en el Reino Unido. Variantes como "química fisiológica" o "química biológica" también fueron usadas respectivamente en Alemania y Estados Unidos. En Francia se utilizó ambas *biochimie* y *chimie biologique* (bioquímica y química biológica). El aislamiento de numerosas enzimas y el descubrimiento de vías del metabolismo intermedio fueron los logros más notables de esta etapa.

De manera similar, durante el segundo tercio del siglo XX, pero especialmente desde el final de la Segunda Guerra mundial hasta finales de los años sesenta, la física superó a la química como

fuerza hegemónica en la metodología de la investigación y en aspectos científicos problemáticos. Las tecnologías de la física, fundamentalmente la cristalografía de rayos X, transformaron la problemática de estructura-función, que se había centrado anteriormente en la versatilidad fisiológica y bioquímica de las proteínas, en una perspectiva centrada en la capacidad de los ácidos nucleicos de codificar la información biológica. El descubrimiento de la estructura del ADN a comienzos de los años cincuenta, el modelo operón de la regulación genética y el código genético a comienzos de los años sesenta, se encuentran entre los logros más notables de esta etapa.

Finalmente, en el último tercio del siglo XX, especialmente después de la moratoria de investigación en ingeniería genética y biotecnología, declarada en la conferencia de Asilomar en 1975, la ciencia informática y las matemáticas aplicadas y la bioinformática superaron a la física en la definición de la frontera de la biología molecular. En esta etapa, que llega hasta la actualidad, la principal metodología de investigación se centró en las tecnologías de *software* y en las bases de datos automatizadas a gran escala. Se transformó la problemática informacional, que anteriormente se había centrado en la capacidad única de los ácidos nucleicos para codificar proteínas en una problemática estructural-funcional centrada en la solución del problema de la secuenciación del genoma completo de organismos modelo, incluyendo el ser humano, la secuenciación de genes y, más recientemente, la genómica estructural o el diseño predictivo de drogas basándose en la forma de las proteínas. Al mismo tiempo, se fundó en la genómica funcional que había constituido la fase inicial del proyecto Genoma Humano y que había alcanzado un "borrador final" a mediados de 2000. El descubrimiento de genes de diversas enfermedades hereditarias en los años ochenta y noventa y la producción de fármacos de ingeniería genética como la insulina, se cuentan entre los logros más notables de esta etapa, más conocida como biología molecular aplicada, o como biotecnología (Kevles y Hood (eds.)1992; Wright 1994; Rabinow 1999).

Una vez definidas estas etapas en el desarrollo de la biología molecular, la pregunta sigue siendo qué papel (si lo hubo) desempeñó la cultura nacional en el auge de la biología molecular, desde los proyectos marginales de investigación en los años treinta al estatus de disciplina de primer orden en el siglo XXI. La investigación historiográfica desde mediados de los años ochenta sostiene que tres países desempeñaron un papel fundamental en el auge de la biología molecular, y que cada país actuó como vanguardia científica en diferentes decenios. El Reino Unido apoyó los primeros pasos de la biología molecular en los años treinta; Estados Unidos se integró con nuevos programas de investigación en los años cuarenta y Francia surgió en los años cincuenta como la síntesis teórica de las contribuciones fundamentalmente estructurales de los británicos y del esfuerzo de Estados Unidos, sobre todo en el campo de la información (Abir-Am 1992, sobre la etapa del Reino Unido; Abir-Am 1998, sobre la etapa de Estados Unidos; Abir-Am 1999 y Morange y 1998, sobre la etapa de Francia, incluye comparaciones con la etapa de Estados Unidos).

Este artículo analiza como cada cultura nacional influyó en el auge de la biología molecular. El impacto de la cultura nacional en esta nueva disciplina estuvo mediatizado en cada país por las escuelas de investigación o por formaciones sociales transitorias que funcionaban en torno a conocidos científicos que llegaron a encarnar tanto el legado científico de cada escuela como los valores de la cultura nacional en que había surgido esa determinada escuela. (Abir-Am 1992/3, 1997, 1999). Estas escuelas de investigación inicialmente llevaron a cabo estrategias de

investigación innovadoras pero marginales en los límites de la ciencia disciplinaria establecida, si bien con el tiempo fueron capaces de integrarse a tendencias interdisciplinarias favorables de la política científica, tanto antes como después de la Segunda Guerra Mundial y, con el tiempo, alcanzaron un lugar destacado en sus respectivas comunidades científicas nacionales.

Por ejemplo, reflexionemos sobre el papel de la cultura británica en los comienzos de la biología molecular en el Reino Unido en los años treinta. Queremos explicar por qué la cultura de Estados Unidos estaba especialmente dispuesta a apoyar nuevas disciplinas como la biología molecular en los años cuarenta. Y destacamos el papel de la cultura francesa, que allanó el camino a logros excepcionales en biología molecular en Francia en los años cincuenta. También analizamos si estos períodos específicos de influencia de una cultura nacional en la biología molecular aún son posibles en el contexto de una profunda mundialización a partir de los años noventa.

También surge la pregunta de si la influencia de una cultura nacional en una ciencia nueva proviene fundamentalmente de su cultura política o si también emana de la cultura, o más bien subcultura, de intelectuales, especialmente los intelectuales públicos. Si así es, ¿cómo se definen los intelectuales públicos en general y los científicos, especialmente los biólogos moleculares, en estos tres países en cuestiones de asuntos públicos clave en el siglo XX? Ejemplos de estos problemas son el auge del comunismo de Estado en los años veinte, el surgimiento del fascismo de Estado en los años treinta, la gran migración intelectual desde los años treinta; la Segunda Guerra Mundial, la Guerra Fría, especialmente los años cincuenta; los movimientos de liberación raciales y de género en los años sesenta; las revueltas de estudiantes y obreros en mayo del '68; el auge del Tercer Mundo hasta alcanzar un protagonismo internacional de primer rango, especialmente con la guerra de Vietnam y la revolución cultural en China; y, finalmente, la mundialización aún en curso.

Además del impacto de la cultura política, la cultura institucional de la ciencia en cada uno de estos países influyó en la formación de los futuros dirigentes y miembros de las escuelas de investigación en biología molecular. En el Reino Unido, la cultura distintiva de las antiguas universidades, y de escuelas y laboratorios específicos en dichas universidades, tuvieron una influencia decisiva en los fundadores de la biología molecular. En Francia, o mejor dicho, en París, las culturas contrastantes de los *sorbonnards* y los *pasteuriens* se entrecruzaron en el auge de la biología molecular. En Estados Unidos, las culturas regionales desempeñaron un cierto papel, especialmente las instituciones que reflejaban especificidades regionales, como las regiones del Atlántico, el Medio oeste y el Pacífico.

Ciertos descubrimientos parecen haber dependido de un contexto cultural específico en el sentido de que no era probable que se produjeran en otra parte, por ejemplo, la solución de las primeras estructuras de proteínas mediante la cristalografía de rayos X en Gran Bretaña, el descubrimiento de la lisogenia en Francia y la decodificación bioquímica del código genético en Estados Unidos. Por el contrario, otros descubrimientos parecen haber requerido un contexto transnacional y, por ende transcultural. También debe explicarse la interacción de las culturas del Reino Unido, Francia y Estados Unidos en la construcción de grandes descubrimientos en biología molecular. Así, la doble hélice fue una colaboración de británicos y estadounidenses; el experimento *pa-ja-ama* y la teoría del alostérico es producto de la colaboración de franceses y estadounidenses, mientras que el descubrimiento del ARN mensajero fue fruto de una colaboración entre franceses, británicos y estadounidenses.

La cultura del Reino Unido y el auge de la biología molecular en los años treinta

El papel pionero de la cultura británica como catalizadora del auge de la biología molecular en los años treinta tenía tres aspectos: (a) *el político*, o el hecho de que un gobierno de unidad nacional a comienzos de los años treinta señalara un espectro considerable de nuevas opciones políticas; (b) *el ideológico*, o el hecho de que los científicos desempeñaran un papel importante al adoptar posiciones socialistas, comunistas y antifascistas, con lo cual adquirieron la autoridad cultural de los intelectuales públicos; (c) *el institucional*, o el hecho de que los principales laboratorios que gozaban de reputación internacional, sobre todo el Instituto Cavendish en física, el Instituto Dunn en bioquímica, y el Instituto Molteno en biología y parasitología, todos de la Universidad de Cambridge; así como laboratorios más pequeños en otras universidades, fundamentalmente en Leeds y Oxford, atrayeran y luego acogieran a la vez a destacados futuros biólogos moleculares y a las inversiones de las instituciones filantrópicas de Estados Unidos.

La cultura política y la política científica en las postrimerías del imperio británico

La política cultural en el Reino Unido en los años treinta demostró ser una fuente de inspiración para los científicos innovadores en biología molecular, puesto que proporcionó una atmósfera propicia a la búsqueda de soluciones a los problemas sociales, económicos y científicos. La crisis económica de 1929, que condujo a la Depresión, trajo consigo el colapso del patrón oro, las marchas del hambre, el "malestar social" y la caída del segundo gobierno laborista. Se estableció un gobierno de unidad nacional que señaló la aparición de nuevas oportunidades en la vida social y política en un país que también funcionaba como la cabeza de un gran imperio. A pesar de las grandes pérdidas en vidas humanas durante la Primera Guerra Mundial, el Reino Unido surgió como el principal vencedor, sobre todo porque su territorio no había sufrido la destrucción y porque su imperio siguió creciendo con las posesiones coloniales de los países vencidos. Esta ventajosa posición se vio magnificada por el hecho de que Estados Unidos, que surgió de la Primera Guerra mundial como el principal acreedor, se abstuvo de ejercer un papel activo en Europa debido a su ideología aislacionista.

Sin embargo, con el auge del fascismo en Europa central y, posteriormente, en España, no tardó en producirse un viraje de la atención política hacia los asuntos externos y los problemas del rearme. Una vez más, se debatió un amplio espectro político de opciones, desde la acogida de los refugiados de Europa central, a la participación en la guerra civil española y las crisis abiertas en la política exterior, fundamentalmente la conferencia de Munich en noviembre de 1938. Durante este decenio políticamente cargado, la cultura política osciló entre la pacificación y el rearme, a la vez que proyectaba la gravedad de la situación política en todos los países. Estas causas globales movilizaron a una gran parte de la población, y los científicos fueron especialmente activos al contribuir con lo suyo en el campo de la defensa y la alimentación de la población civil.

Esta viva cultura política, tan receptiva a la participación de diversos tipos de científicos concientizados políticamente, como queda bien ilustrado por la vida y carrera de J. Desmond Bernal, 1901-1971, el fundador de la escuela inglesa de biología molecular, así como destacado portavoz de organizaciones simpatizantes de o dirigidas por comunistas, como la Association of Scientific Workers (Hodgkin 1980; Abir-Am 1992; Swann y Apprahamian (eds.) 1999). Bernal

siguió su carrera en Cambridge y Londres. Después de licenciarse por la Universidad de Cambridge en 1923, vivió una parte decisiva de su carrera en aquella casa durante el período 1927-1937, como profesor y luego como presidente del Structural Crystallography Laboratory (trasladado de Mineralogía al laboratorio de Física del Instituto Cavendish). En Londres trabajó como ayudante de investigación de Sir William Henry Bragg (1860-1943) en la Royal Institution desde 1923 hasta 1927, y desde 1938 fue catedrático de física en el Birbeck College. Bernal emprendió estudios innovadores sobre la estructura de los compuestos biológicos, de los esteroides a las proteínas, los virus y los ácidos nucleicos, todos objetos clave de la investigación en biología molecular en Gran Bretaña (Abir-Am 1992).

Después de casi veinte años de innovadoras investigaciones en cristalografía de rayos X, instrumentación y biología molecular, Bernal volvió cada vez más su atención hacia los problemas sociales y políticos, con cierta inclinación por los proyectos utópicos, tanto en el terreno de la ciencia como de lo social. Su obra maestra, *The Social Function of Science*, publicada en enero de 1939, combinaba su inquietud de aquel entonces con el papel más destacado que la ciencia podía desempeñar en una sociedad dispuesta a beneficiarse de su capacidad para generar progreso social. En aquella época, en los días dramáticos que siguieron a las ponencias soviéticas en el II Congreso Internacional de Historia de la Ciencia, celebrado en Londres en 1931 (Abir-Am, 1985; Swann y Apprahamian 1999), Bernal creía que el marxismo era la única ideología social y política que reconocía el papel decisivo de la ciencia en la sociedad. Junto con otros científicos británicos de izquierda, viajó a menudo a la Unión Soviética, en aquel entonces considerado el único país que llevaba a la práctica la ideología marxista.

A comienzos de la Segunda Guerra mundial, el amplio horizonte de la cultura política en el Reino Unido permitió a Bernal, junto a otros colegas científicos de ideas similares, convertirse en consejeros científicos del Ministerio del Interior. Allí utilizó sus conocimientos, adquiridos inicialmente en el marco de un activismo en pro del rearme en nombre de la Association of Scientific Workers, para medir el impacto de los bombardeos en los edificios. En 1943, Bernal fue nombrado consejero científico del Jefe del Comando de Operaciones Conjuntas, Lord Mountbatten de Burma, y desempeñó un papel en la utilización de la ciencia para estudiar las playas de Normandía donde se proyectaba el desembarco aliado el Día-D, entre otras numerosas operaciones planeadas o ejecutadas durante la guerra (Swann y Apprahamian (eds.), 1999).

Solo a finales de los años cuarenta, el efecto combinado de la Guerra Fría y de la British Society for Freedom of Science, fundada por John Baker y Michael Polanyi, consiguieron aislar a Bernal e impedirle desempeñar un papel en el panorama de la ciencia en el Reino Unido. En aquel entonces, él y algunos colegas, fundamentalmente su antigua alumna y laureada con el premio Nobel, Dorothy Hodgkin, 1910-1994, llegaron a desempeñar un importante papel en el mantenimiento de los contactos científicos entre Este y Oeste, contactos concebidos como puente para la paz mundial, y que incluyeron numerosas visitas a la Unión Soviética (donde Bernal recibió el premio Lenin en 1953 y se convirtió en una figura próxima a Nikita Krushev), a China, Vietnam, pero también a Europa y Estados Unidos (donde las visas les fueron negadas a comienzos de los años cincuenta, si bien les fueron otorgadas para participar en congresos científicos en América del Norte).

La subcultura ideológica de los científicos como intelectuales públicos antifascistas

Otro aspecto de la cultura inglesa que influyó en el auge de campos interdisciplinarios como la biología molecular fue el papel de los científicos como intelectuales públicos antifascistas, sobre todo en el campo de la ayuda a científicos provenientes de la Alemania nazi. Incluso figuras conservadoras como Lord Rutheford, director del laboratorio Cavendish, presidieron el Aid Committee for the Defence of Learning. Esta posición estimuló aún más a los refugiados científicos a permanecer en el Reino Unido, incluyendo a futuros premios Nobel en la ciencia biomolecular como Hans Krebs y Max Perutz. Esto fue importante para el futuro de la biología molecular, puesto que después de que Bernal dejó la Universidad de Cambridge en 1938, y hasta 1947, cuando el MRC creó en el laboratorio Cavendish una pequeña unidad para la "estructura molecular de los compuestos biológicos", Perutz, un alumno austríaco dedicado a la investigación que se declaró refugiado en 1938 con la anexión de Austria, pero cuyo trabajo sobre la estructura de la hemoglobina o "pulmón molecular" se convirtió en uno de los paradigmas de la biología molecular, siguió siendo la única persona activa en biología molecular. El éxito de Perutz al conseguir que el profesor de Cavendish, Sir Lawrence Bragg, se interesara por su cristalografía de rayos X, aseguró el futuro de la biología molecular en Cambridge.

La cultura institucional de la ciencia en el Reino Unido en los años treinta

El clima favorable a la biología molecular en el Reino Unido en los años treinta también dependió de diversos laboratorios de renombre internacional, que atrajeron el talento, tanto local como extranjero, y recabaron el apoyo de instituciones privadas del Reino Unido y Estados Unidos. La nueva estrategia de inversión de la fundación Rockefeller desde su reorganización en el período 1928-1932 (Abir-Am 1982, 2000), puso de relieve no sólo la excelencia, como en los años veinte, sino fundamentalmente la transferencia de técnicas físico-químicas a la biología. A partir de entonces, los proyectos del Instituto Dunn de Bioquímica o del Instituto Molteno de Biología y Parasitología, ambos de la universidad de Cambridge, recibieron tratamiento de prioridad con las inversiones de la FR. Se otorgó una prioridad similar a los proyectos de investigación biomolecular de las universidades de Leeds y Oxford.

Esta infraestructura institucional facilitó el reclutamiento de ayudantes de investigación y la compra de nuevos equipos, con lo cual se produjo un crecimiento fluido de la fuerza laboral científica y de sus instrumentos de producción. Mientras el Instituto Dunn de Bioquímica recibía apoyo de las instituciones locales y de Estados Unidos, del MRC y de la Universidad, el Cavendish tenía el apoyo del DSIR y de la Universidad, así como de la industria, como el caso del I.C.I. De la misma manera, el Instituto Molteno de Biología contaba con el apoyo de instituciones locales y de Estados Unidos, así como de la universidad.

La subcultura científica de cada laboratorio demostró ser favorable al auge de la biología molecular, especialmente porque la perspectiva interdisciplinaria de directores como los premios Nobel Frederic Gowland Hopkins, PRS, del instituto Dunn desde la Primera Guerra mundial, Sir Lawrence Bragg, del Instituto Cavendish desde 1938 y David Keilin del Instituto Molteno, también desde la Primera Guerra mundial proporcionaron no sólo facilidades a los primeros biólogos moleculares del futuro en estos laboratorios durante los años treinta, sino también propiciaron la unión de sus capacidades para obtener el apoyo del gobierno en 1947. La cultura de caballeros que imperaba en aquel entonces era garantía de que una reunión en el Atheneum

Club entre Bragg (que actuaba respondiendo a la sugerencia de Keilin, que era miembro activo en numerosos comités de instituciones científicas y consejero de ministerios del gobierno) y Sir Edward Mellanby, secretario del MRC, fue suficiente para crear una nueva unidad.

A este acto siguieron, en una escala más amplia y con más trámites burocráticos, los respectivos sucesores, Max Perutz y Sir Harold Himsworth, que ampliaron la unidad de 1947 y la convirtieron en un gran laboratorio que sería conocido como el MRC Laboratory of Molecular Biology a lo largo de los años cincuenta. En 1962, la Reina inauguró este laboratorio poco antes de que tres de sus miembros, Perutz, John Kendrew (1916-1997) y Francis Crick (1917-) recibieran el premio Nobel, el primer premio otorgado por trabajos en biología molecular en la solución de las primeras estructuras de proteínas y ácidos nucleicos.

Los trabajos en biología molecular también comenzaron en los años treinta en la Universidad de Leeds en el laboratorio del físico William T. Astbury (1898-1961) especializado en cristalografía de rayos X y en microscópica electrónica de proteínas fibrosas y ácidos nucleicos; (Olby 1974; Abir Am 1982); en el laboratorio de la química Dorothy Crowfoot Hodgkin (1910-1994) en la universidad de Oxford, especialmente sobre proteínas y esteroides; así como en el Mathematical Institute de la Universidad de Oxford donde la matemática Dorothy Wrinch (1894-1976) desarrolló la primera teoría de la estructura de las proteínas, una teoría que centró los trabajos internacionales en biología molecular en los años treinta (Abir Am 1987a, b).

La amplitud de la cultura política del Reino Unido en los años treinta, la cultura ideológica de la movilización antifascista de los intelectuales públicos, entre ellos numerosos científicos, y las subculturas específicas de grandes laboratorios en bioquímica, física, biología, química y matemáticas, fueron factores clave para producir un contexto cultural que propiciara el auge de la biología molecular en el Reino Unido en los años treinta, así como una posición de liderazgo hasta comienzos de los años sesenta.

Con el estallido de la Segunda Guerra Mundial, la investigación científica en biología molecular se vio gravemente limitada en el Reino Unido cuando Bernal, la principal figura en este campo, fue movilizado durante toda la guerra, mientras que su laboratorio en Birkbeck College fue bombardeado y destruido durante la batalla de Inglaterra. Sus alumnos, sus colegas de investigación y sus equipos fueron trasladados al laboratorio de Dorothy Hodgkin en la universidad de Oxford en un lugar apartado al abrigo de las hostilidades donde, no obstante, las exigencias de la guerra requerían que se dedicara la mayor parte del esfuerzo a la solución de la estructura de la penicilina. Este compuesto bioorgánico tuvo una gran relevancia médica y su solución se convirtió en un hito en la aceptación de la cristalografía de rayos X por parte de los químicos orgánicos, pero no incluyó los trabajos en el nivel macromolecular que habrían de convertirse en el gran hito de la biología molecular. Los trabajos relacionados con las proteínas y los virus se limitaron a terminar proyectos de antes de la guerra como una tesis doctoral sobre la estructura de la lactoglobulina, una de las proteínas antes analizadas por Bernal y su equipo a finales de los años treinta, y un artículo inconcluso sobre la estructura del virus del mosaico del tabaco, también iniciado por Bernal y su equipo a mediados de los años treinta (Abir-Am 1992).

Los trabajos sobre proteínas con cristalografía de rayos X en la Universidad de Cambridge también se vio limitado por la reclusión de Max Perutz como extranjero enemigo y por su posterior reclutamiento para el esfuerzo de guerra. El laboratorio de Bernal en Londres fue

reconstruido después de la guerra y volvió a abrir sus puertas en 1948. El laboratorio de Hodgkin creció moderada pero sostenidamente, mientras se inauguraban nuevas unidades para el estudio de las estructuras biomoleculares en King's College, Londres, y en el laboratorio Cavendish en Cambridge (estos dos últimos serían los protagonistas del descubrimiento de la estructura del ADN y de las primeras proteínas, trabajos por los que se otorgaron los primeros premios Nobel de biología molecular en 1962). Sin embargo, el crecimiento más rápido de la biología molecular en los años cuarenta se dio en Estados Unidos. El contexto de la cultura en Estados Unidos mantuvo formas de biología molecular diferentes de la cristalografía de rayos X de las proteínas de la que nació esta disciplina en el Reino Unido en los años treinta. Estas formas están vinculadas a la química cuántica por un lado y, por otro, a la genética de fagos.

La cultura en Estados Unidos y la biología molecular en los años cuarenta

De forma muy similar a como sucedió con el impacto de la cultura del Reino Unido en la biología molecular en los años treinta, la cultura de Estados Unidos en los años cuarenta se puede ver en tres dimensiones: la cultura política en general de una superpotencia emergente y su política científica resultante, incluyendo la creación de la National Science Foundation (NSF); la subcultura ideológica de los intelectuales públicos, entre ellos, especialmente los científicos; y la cultura institucional de la ciencia en una época de grandes reestructuraciones, debido al papel destacado de la ciencia en proyectos estratégicos y civiles durante y después de la guerra.

La cultura política y la política científica en Estados Unidos, primera superpotencia nuclear

Científicos de Estados Unidos como Irving Langmuir, Max Bergmann, Linus Pauling, Carl Niemann y David Harker participaron en los trabajos de biología molecular en los años treinta, especialmente al centrarse en la primera teoría de la estructura de las proteínas. Si bien coincidían con los científicos británicos en que la estructura de las proteínas era el problema más importante por resolver, algunos de los estadounidenses, especialmente Pauling y Niemann, no estaban de acuerdo con el enfoque de los británicos de realizar esto experimentalmente, el denominado "método directo" liderado por Bernal y su equipo, que pretendía solucionar todos los reflejos en los modelos de difracción de las proteínas obtenidas por cristalografía de rayos X. También mostraban su desacuerdo con el enfoque teórico y matemático sostenido por el matemático inglés Wrinch, que destacaba el papel de la simetría y la geometría en las soluciones estructurales. En su lugar, se inclinaban por un "método indirecto" basado en principios de la química cuántica para solucionar la estructura de los aminoácidos, unidad estructural de las proteínas, así como de los lazos entre ellos.

A pesar de que estos trabajos comenzaron a finales de los años treinta, se ampliaron considerablemente en los años cuarenta, debido al éxito que tuvo Pauling captando apoyo gubernamental, industrial y filantrópico a gran escala para las supuestas aplicaciones médicas de dichos trabajos, especialmente en el campo de los anticuerpos artificiales. A pesar de que este proyecto fue escasamente valorado por una comisión de expertos al final de la Segunda Guerra Mundial, sus recursos a gran escala permitieron a Pauling adelantar los trabajos sobre la estructura de las proteínas y, con el tiempo, descubrir a finales de los años cuarenta el hélice alfa, una estructura tridimensional observada en numerosas proteínas. El triunfo de Pauling, publicado en 1951, a la vez que reemplazaba a anteriores modelos de la estructura de las proteínas presentado en 1950 por el equipo inglés de Bragg, Perutz y Kendrew, señalaba la eficacia de la

cultura estadounidense en su apoyo a la ciencia innovadora en los años cuarenta, de una manera similar a la conquista a gran escala de las fronteras del oeste, tan típico de la cultura de Estados Unidos.

Ya sea durante la Segunda Guerra mundial, cuando la escala de las investigaciones sobre inmunoquímica de Pauling se intensificó en el marco de un proyecto relacionado con la guerra, o ya sea después de la conflagración, cuando la incipiente Guerra Fría propició un apoyo a gran escala a la ciencia en Estados Unidos, que por entonces gozaba de su condición de primera y única superpotencia nuclear, la biología molecular se convirtió en uno de los grandes beneficiarios de la política científica de Estados Unidos. Pauling buscó y obtuvo fondos de investigación cercanos al millón de dólares. Reflejando la nueva posición de Estados Unidos como la vanguardia nuclear del mundo, esta política científica fue parte esencial de una cultura política que veía en la estrategia y el poder global basado en la ciencia (como lo demostraba la bomba atómica), la piedra angular de su política nacional e internacional (Abir-Am 1992/3, 1997). La biología molecular, a menudo denominada biofísica, se volvió atractiva para los físicos no sólo como un nuevo territorio por colonizar con las tecnologías de la física, sino también como un resultado de su capacidad de "redimir" los pecados de los físicos que habían facilitado la detonación de las bombas atómicas poniendo sus competencias al servicio de iniciativas para salvar vidas humanas.

Sin embargo, la cultura política de Estados Unidos tenía otra dimensión que demostró ser decisiva en el auge de la biología molecular en ese país. Ésta era la capacidad de Estados Unidos de integrar rápidamente a los científicos refugiados. En efecto, otro enfoque de la biología molecular en Estados Unidos, un enfoque centrado en el estudio de la genética de fagos, fue posibilitado por la asociación, durante la guerra, entre Salvador Luria y Max Delbruck, dos recientes refugiados de Italia y Alemania respectivamente, dos científicos estadounidenses, Alfred Hershey y Thomas Anderson, y un científico emigrado, Milislav Demerec. Durante la Segunda Guerra Mundial, los cinco aunaron sus esfuerzos colaborando en la genética de fagos mientras se sentaban las fundaciones del llamado grupo de fagos. Este grupo informal se amplió considerablemente después de 1945, cuando se produjo un reclutamiento activo de científicos estadounidenses y emigrados en el marco de las escuelas de verano en el laboratorio de Cold Spring Harbor, en Long Island, Nueva York (Abir-Am 1998,1999).

La inspiración ideológica de los científicos estadounidenses como intelectuales públicos

Además de la cultura política favorable de los años cuarenta, ya se expresara directamente en fondos destinados a la política científica, o indirectamente, gracias a las oportunidades de rápida integración para los científicos refugiados y emigrados, el auge de la biología molecular en Estados Unidos también se benefició de la relación de sus científicos con diversas causas públicas que proyectaron un importante aura ideológica de conciencia social. Por ejemplo, Leo Szilard, uno de los arquitectos del proyecto Manhattan, que comenzó a estudiar biología molecular después de la guerra, fue uno de los fundadores del Bulletin of Atomic Scientists y de la Division for Social Responsibility of Scientists of the American Association (AAAS), y a menudo se pronunció en contra de la utilización de la bomba atómica. Al mismo tiempo, Szilard trabajaba como asesor gubernamental en el Ministerio de Defensa, que dependía de la ciencia, la Office for Naval Research y muchos otros organismos relacionados, todos lidiando con la nueva necesidad de contar con una política científica. Sin embargo, en Nueva York el confinamiento de

la figura del intelectual público a personajes literarios y artísticos, hizo que los científicos estadounidenses comenzaran a actuar como intelectuales públicos sólo durante los años del macartismo, cuando su propia libertad se vio limitada por una caza de brujas ideológica de fuerte componente anticomunista.

En efecto, la biología molecular en Estados Unidos se vio perjudicada por la obsesión ideológica del gobierno de ese país durante la era McCarthy. Se denegaron visas a científicos sospechosos de inclinaciones izquierdistas, fundamentalmente a aquellos que adoptaron una posición pública contra el juramento exigido en aquellos días que obligaba a los miembros de la facultad a jurar que no eran comunistas. Bajo este mismo clima, la negación de visas a Salvador Luria y Linus Pauling para asistir a reuniones científicas en el Reino Unido a comienzos de los años cincuenta, les impidieron conocer nuevos datos científicos en relación al papel y la estructura del ADN, y el resultado fue que ninguno de los dos pudo conocer adelantos decisivos. De la misma manera, la denegación de visas en Estados Unidos a importantes biólogos moleculares del Reino Unido, sobre todo a J.D. Bernal y Dorothy Hodgkin, y al francés Jacques Monod, otra destacada figura de la biología molecular, impidió que se celebraran intercambios científicos mutuamente provechosos.

La cultura institucional de la ciencia-molecular en Estados Unidos durante los años cuarenta

El auge de la biología molecular en Estados Unidos en los años cuarenta también se apoyó en culturas institucionales específicas, especialmente en el Cold Spring Harbor Laboratory, en Long Island, Nueva York, donde la colaboración inicial entre los fundadores del Grupo de fagos se produjo en el ambiente relajado de un laboratorio regional interuniversitario, algo parecido a la informalidad de las estaciones biológicas marinas, mientras se atendía a la doble necesidad de ciencia y esparcimiento de la comunidad atlántica. Esta es también la institución que contribuyó a reclutar a la nueva generación de estudiosos de la genética de fagos en el período posterior a 1945. Queda más allá del alcance de este artículo un estudio más acabado sobre las instituciones científicas relevantes en el auge de la biología molecular en Estados Unidos, especialmente en la costa oeste y en el medio oeste (fundamentalmente en el triángulo de Chicago), o los núcleos institucionales en California del Norte y del Sur (Abir-Am 1998).

Para resumir, el auge de la biología molecular en Estados Unidos en los años cuarenta, ya sea bajo la forma de la química estructural ampliándose hacia la biología, como en el descubrimiento del hélice alfa, o bajo la forma de la genética de fagos, como en el experimento Hershey-Chase sobre los respectivos papeles de las proteínas y del ADN en la multiplicación de fagos, así como a los trabajos de Benzer sobre la fina estructura de los genes, se beneficiaron de tres factores culturales. Éstos eran una cultura política que reflejaba el surgimiento de Estados Unidos como la única superpotencia nuclear; una cultura ideológica que reflejaba la función pública de los biólogos moleculares en la lucha contra la fobia anticomunista, y una cultura institucional de fluidez, sobre todo la informalidad y la hospitalidad de una institución clave, el Cold Spring Harbor Laboratory. Esta convergencia dio una creciente ventaja a los científicos estadounidenses, que aumentó en el período posterior al lanzamiento del Sputnik, con el resultado de que, a partir de finales de los años sesenta, la mayoría de los premios Nobel en biología molecular fueron otorgados a científicos estadounidenses.

Sin embargo, entre 1962, cuando cuatro de cinco premios Nobel en biología molecular fueron otorgados a científicos británicos, y 1968, cuando se comenzó a sentir un dominio estadounidense en este campo, también es necesario reconocer la importancia de los franceses. En 1965, los tres premios Nobel de biología molecular fueron otorgados a científicos franceses. En la siguiente sección, analizamos cómo el contexto cultural en Francia puede haber contribuido al lugar destacado de la biología molecular en Francia durante los años cincuenta.

La cultura francesa y la biología molecular de los años cincuenta

Como en los ejemplos de la cultura del Reino Unido y de Estados Unidos, el impacto de la cultura francesa en la biología molecular en Francia durante los años cincuenta puede describirse en tres dimensiones. En primer lugar, existía una cultura política de una IV República inestable enfrentada a diversas crisis coloniales en medio de una prosperidad relativa debido al Plan Marshall y a los acuerdos del GATT. A pesar de que era incapaz de implementar su propio ideario innovador para la política científica, la República al menos dio un amplio margen para que los científicos emprendedores buscaran financiación en otros lugares, normalmente entre instituciones u organismos gubernamentales de Estados Unidos. En segundo lugar, la subcultura ideológica de intelectuales públicos, que tenía un papel destacado en Francia desde el asunto Dreyfus y el manifiesto *Yo acuso*, firmado por Émile Zola en 1898, acogió a los científicos, entre ellos a los biólogos moleculares. Finalmente, la cultura institucional de la ciencia, sobre todo la gloriosa tradición del instituto Pasteur, permitieron a los biólogos moleculares desarrollarse fuera de las rígidas estructuras universitarias, que fueron reformadas sólo después de los acontecimientos de mayo del '68.

Los biólogos moleculares en Francia y sus colegas extranjeros establecen que el comienzo de la biología molecular en Francia se remonta a 1921, año en que el decano de los tres científicos ganadores del premio Nobel en 1965, André Lwoff (1902-1994) se integró al Instituto Pasteur en París, donde posteriormente creó un departamento de fisiología microbiana, la unidad donde comenzó a desarrollarse la biología molecular en Francia. Sin embargo, el periodo de entreguerras en Francia es históricamente importante sólo como un capítulo en la biografía de Lwoff, especialmente su libre colaboración con Jacques Monod, que comenzó en los años treinta. Se adoptaron importantes medidas a favor del surgimiento de la biología molecular como disciplina después de la Segunda Guerra Mundial, cuando Lwoff, gracias a la creación de un organismo de gobierno de apoyo a la investigación, el CNRS (Centre National pour la Recherche Scientifique), tuvo facultades para disponer de un equipo clave en su laboratorio de forma permanente. Jacques Monod (1910-1976) fue nombrado Chef de Laboratoire en 1945. Elie Wolman (1917-) y François Jacob (1920-) se integraron como alumnos de posgrado en 1947 y 1950 respectivamente, y muchos otros científicos franceses y extranjeros acudieron al laboratorio de Lwoff durante el mismo período (Lwoff y Ullmann 1979, Abir-Am 1999).

En efecto, el descubrimiento de Lwoff de la lisogenia en 1950 proporcionó al grupo francés su primer gran logro, que anunciaba más de un decenio de excelentes trabajos que culminaron con el modelo operón de la regulación genética de la expresión de las proteínas, una gran construcción teórica de la biología molecular. (Morange 1998; Abir-Am 1998, 1999). ¿Cómo se relacionaron la cultura política en Francia de aquella época, la subcultura ideológica de los intelectuales públicos franceses y la cultura institucional del instituto Pasteur, para estimular la creatividad de la escuela francesa de biología molecular?

La cultura política y la política científica de una inestable IV República

La cultura política de la IV República, entre 1945 y 1959, cuando Charles De Gaulle asumió la presidencia de la V República, inaugurando así un régimen estable hasta finales de este siglo y más allá, giraba en torno a la crónica inestabilidad del gobierno, en gran parte, aunque no completamente, debido a fracasos en los asuntos extranjeros y coloniales, especialmente en Indochina y en el norte de África. En el plano nacional, el manejo judicial inconcluso de la colaboración con los ocupantes nazis durante el régimen de Vichy marginó numerosos asuntos del discurso público, y hasta finales de los años ochenta prevaleció la actitud de que todos habían pertenecido a la resistencia. Con el comienzo de la Guerra Fría, Francia empezó a descartar a los comunistas (que fueron mayoría en las filas de la resistencia) de los altos cargos del Estado. Por ejemplo, el premio Nobel Frédéric Joliot-Curie, yerno de la legendaria Marie Curie, fue destituido del cargo de Alto Comisionado de la Energía Atómica en 1950. También se manifestó el temor a la "amenaza roja" en las negociaciones de los científicos franceses con las instituciones filantrópicas de Estados Unidos a comienzos de los años cincuenta, puesto que éstas sospechaban que el propio CNRS era vulnerable al control de los comunistas (Abir-Am 2000).

Al mismo tiempo, durante este período surgieron notables hombres de Estado (Pierre Mendès-France, Maurice Schuman, Jean Monet), y se produjo un espectacular proceso democrático. En lo que concierne a la política científica, se manifestó una inquietud creciente con la actualización de la infraestructura científica en Francia, como queda de manifiesto en el Coloquio de Caen, una conferencia de figuras gubernamentales y consejeros científicos que se pronunciaron sobre una serie de propuestas para reformar la base científica y tecnológica en Francia. Si bien esta inquietud creciente con el papel de la ciencia en la modernización del país condujo a la ampliación del CNRS, la inestabilidad del gobierno dificultó la implementación de reformas de gran alcance o a gran escala.

Sin embargo, este volátil contexto estimuló una conducta empresarial entre los científicos ante las fuentes externas de financiación, que en la práctica eran los organismos gubernamentales de las ciencias médicas y biomédicas de Estados Unidos, la NSF y el N.I.H. (National Institute of Health), así como fundaciones privadas establecidas en Estados Unidos, especialmente la Fundación Rockefeller y la National Foundation for Infantile Paralysis. La financiación proveniente de Estados Unidos facilitó, a su vez, la modernización de los equipos de los laboratorios franceses y la acogida de numerosos científicos estadounidenses como visitantes del instituto Pasteur. La amplia red de contactos de colaboración en Estados Unidos que mantuvieron los dirigentes de la escuela francesa de biología molecular les proporcionó posteriores invitaciones para ejercer la docencia, lo cual les permitía mantenerse informados de las fronteras científicas en continuo cambio.

Esta situación fue muy beneficiosa para la escuela francesa de biología molecular, cuyos trabajos comenzaron a ser bastante conocidos en Estados Unidos. La gran acogida que tuvieron los descubrimientos franceses a lo largo de los años cincuenta, sobre todo en Estados Unidos, allanaron el camino al triple premio Nobel a los biólogos moleculares franceses en 1965, el primer galardón de este tipo otorgado a científicos franceses en los últimos treinta años. Además de los incentivos indirectos que la cultura política francesa proporcionó durante los años

cincuenta para estimular estrechos lazos con la ciencia y los científicos de Estados Unidos, el auge de la biología molecular también se vio influido por la subcultura ideológica de los intelectuales públicos franceses de aquella época.

La subcultura ideológica de los científicos franceses como intelectuales públicos.

La principal oportunidad para que los científicos franceses asumieran el codiciado papel de intelectuales públicos se produjo en 1948 con el asunto Lysenko. La denuncia de la genética clásica por parte de Lysenko y sus partidarios en el Partido Comunista Soviético obligó a los científicos franceses a adoptar una posición. Mientras algunos estalinistas acérrimos se pronunciaron a favor del grupo de Lysenko, entre ellos comunistas leales a la Unión Soviética, otros científicos, entre los cuales Jacques Monod, manifestaron en público y en la prensa su disconformidad con la intervención del Partido Comunista Soviético en la ciencia en general y en la genética en particular.

Aún habría de producirse otra oportunidad para adoptar una posición como intelectual público. Sucedió en 1952, cuando Jacques Monod, junto a la mayoría de los científicos franceses, protestó por la sentencia de muerte contra los Rosenberg en Estados Unidos, acusados de espionaje a favor de la Unión Soviética. Tanto Monod como Lwoff se inclinaban por las ideas de Camus en su debate con Sartre, y sostenían que las preferencias ideológicas de los científicos eran diferentes de las de los filósofos y de los intelectuales literatos, que normalmente se habían identificado con el tipo de existencialismo socialista y activismo político de Sartre y de Beauvoir, contra el liberalismo de Camus y Raymond Aron. La participación de varios biólogos moleculares en el Coloquio de Caen fue una manifestación más de su voluntad de moldear el discurso cívico sobre el lugar de la ciencia en la sociedad. Sin embargo, otro aspecto cultural que influyó en el auge de la biología molecular en Francia está relacionado con la cultura institucional del Instituto Pasteur, una institución privada creada con donaciones públicas, y considerada un patrimonio nacional.

La cultura institucional de la ciencia: El legado especial del Instituto Pasteur

El estatus especial del Instituto Pasteur, independiente de la burocracia estatal y capaz de generar sus propios ingresos mediante la producción de sueros y vacunas, explica el relativo grado de libertad de que gozan sus científicos, sobre todo en la búsqueda de fuentes externas de financiación. Además del prestigio del instituto como el legado de una figura legendaria que actuó como héroe para su país en diversas ocasiones en materia de salud pública y de industrias clave (la cerveza, el vino y la seda), este estatus proporcionó a los biólogos moleculares una flexibilidad muy necesaria que se echaba en falta en los laboratorios y universidades, más burocráticas, del gobierno.

Aún así, hacia mediados de los años sesenta, se rebelaron contra la concentración del poder de decisión en manos de unos cuantos directores cercanos a la familia Pasteur y formados en la medicina, mientras se redactaba una nueva constitución para el instituto. Lo más interesante, con la llegada de Monod y Wollman como Director y Director Adjunto a comienzos de los años setenta, es que los antiguos biólogos moleculares marginales comenzaron a dirigir el Instituto Pasteur, y cambiaron su imagen pública de institución con una orientación predominantemente médica y de monopolio en la producción de vacunas, a ser más conocido como instituto de

investigación de renombre internacional. El deseo de transformar el Instituto Pasteur, de un centro de ciencia aplicada a un instituto de ciencia básica, inspiró gran parte del *gai savoir* durante los años cincuenta, con un clima siempre descrito como estímulo de creatividad, profesionalismo e innovación.

Conclusiones

Este artículo sostiene que las culturas del Reino Unido, Estados Unidos y Francia influyeron sucesivamente en el auge de la biología molecular en el periodo 1930-1960. Esto se ha explicado por la cultura política y la política científica resultante, la figuración ideológica de los científicos como intelectuales públicos, y la cultura institucional (es decir, social y material) que prevaleció en lugares donde floreció la biología molecular. Con el proceso de mundialización científica que comenzó en los años sesenta (Abir-Am 1992/3, 1997), el papel de la cultura, ya sea nacional, política, ideológica o institucional en sus dimensiones social y material, en la estimulación de la innovación científica, se ha vuelto más difícil de evaluar. Esto queda demostrado por la creación del Laboratorio Europeo de Biología Molecular (EMBL), que fue concebido a comienzos de los sesenta y se hizo operativo a mediados de los años setenta. Se trata de unas instalaciones supranacionales que no se encuentran ni en Francia ni en el Reino Unido, los dos países pioneros en biología molecular en Europa, sino en Heidelberg, Alemania.

A pesar de que la cultura institucional cosmopolita de laboratorios internacionales como el CERN o el EMBL estimula los intercambios científicos y la colaboración más allá de barreras nacionales, políticas, lingüísticas o culturales, sigue siendo materia de conjetura saber si desaparecerán totalmente los contextos culturales estimulantes que antiguamente sostenían el legado diverso de esta disciplina cada vez más influyente. En el futuro, aún queda por surgir un nuevo equilibrio entre el contexto lingüísticamente sostenido de la ciencia y el emergente multiculturalismo de formaciones políticas a gran escala que encuentran eco creciente en las conciencias políticas del siglo XXI. Esto se desarrollará en planos que no son los del Estado nación, por ejemplo, en las regiones, las instituciones o los laboratorios supranacionales.

Traducido del inglés

Nota

* Agradezco sinceramente la hospitalidad del Departamento de Pedagogía de la Ciencia, de la Universidad Hebrea de Jerusalén y de la Unidad de Acogida para la Historia de la Medicina, en la Universidad de Oxford, que fueron esenciales para la redacción de este artículo en el verano de 2000.

Referencias

ABIR-AM, P.G., 2000. "The Rockefeller Foundation and Refugee Biologists: European and American Careers of Leading RF Grantees from England, France, Germany, and Italy", *En*: G. Gemelli. (ed.). *The "Unacceptables". American Foundations and Refugee Scholars between the Two World Wars*. Bruselas: Presses Interuniversitaires Européenes, 217-240.

ABIR-AM P.G., 1999. "The First American and French Commemorations in Molecular Biology: From Collective Memory to Comparative History", *En: Abir-Am P.G. y C.A. Elliott. eds. Commemorative Practices, En: Science: Historical Perspectives on the Politics of Collective Memory*. Chicago: Chicago University Press, 324-70.

ABIR-AM, P.G., 1998 (ed) *La Mise en Memoire de la Science: Pour une Ethnographie Historique des Rites Commemoratifs*. París: Editions des Archives Contemporaines/ Gordon & Breach Publishers.

ABIR-AM, P.G., 1997. "The molecular revolution in 20th Century biology: Three eras of post-war transdisciplinary stability" *En: J. Krige y D. Pestre, (eds.). Science in the 20th Century*. Londres: Harwood, 495-520.

ABIR-AM, P.G., 1992/3. "From multi-disciplinary collaboration to transnational objectivity: International space as constitutive of molecular biology, 1930-1970", *En: E. Crawford, T. Shinn y S. Sorlin (eds.), Denationalizing Science: The International Context of Scientific Practice*, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 153-186.

ABIR-AM, P.G., 1992. "A historical ethnography of a scientific anniversary in molecular biology: The first protein X-ray photo (1984, 1934)", *Social Epistemology*, vol. 6, 1992, 323-354; 363-364; 371-372; 380-387.

ABIR-AM, P.G., 1987a. The Biotheoretical Gathering, transdisciplinary authority and the incipient legitimation of molecular biology in the 1930s", *History of Science*, 25: 1-70.

ABIR-AM, P.G., 1987b. "Synergy or clash: Disciplinary and marital strategies in the career of the mathematical biologist Dorothy M. Wrinch", *En: P.G., Abir-Am & D. Outram (eds.). 1987. 1989. Uneasy careers and intimate lives, Women in Science, 1789-1979*. New Brunswick N.J. y Londres: Rutgers University Press, 338-94.

ABIR-AM, P.G., 1985. "Recasting the disciplinary order in science: A deconstruction of rhetoric on 'biology and physics' at two International Congresses in 1931", *Humanity and Society*, 9 (noviembre, 1985), 388-427.

ABIR-AM, P.G., 1982. "The discourse on physical power and biological knowledge in the 1930s: A reappraisal of the Rockefeller Foundation's 'policy' in molecular biology", *Social Studies of Science*, 12: 341-82.

DE CHADAREVIAN, S.; H. KAMMINGA (eds.) 1998. *Molecularizing Biology and Medicine, 1910s-1970s* (Londres: Gordon and Breach).

FRUTON, J.S. 1972. *Molecules and Life*. New Haven: Yale University Press.

HODGKIN, D., 1980. "J.D. Bernal, 1901-1971", *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society*, 1-80.

HOLMES, F.L. 1991 (vol. 1) y 1993 (vol. 2). *Hans Krebs and the fine structure of discovery*. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.

JUDSON, H.F., 1979 (reeditado 1993). *The Eighth Day of Creation, The Makers of the Revolution in Biology*. Nueva York: Simon and Schuster.

KOHLER, R.E. Jr., 1982. *The Rise of Biochemistry: The Making of a Biomedical Discipline*. Nueva York: Cambridge University Press.

KORNBERG, A. 1989. *For the Love of Enzymes*. Cambridge Mass.: Harvard University Press.

LWOFF, A.; A. ULLMANN (eds.), 1979. *Origins of Molecular Biology. A Tribute to Jacques Monod*. Nueva York: Academic Press.

MORANGE, M. 1998. *A History of Molecular Biology..* Cambridge MA.: Harvard University Press.

OLBY, R.C. 1974 (reeditado, 1994). *The Path to the Double Helix*. Londres: McMillan.

RABINOW, P. 1999. *French DNA*. Chicago: University of Chicago Press.

RASMUSSEN, N. 1997. "The mid-century biophysics bubble: Hiroshima and the biological revolution in America, revisited", *History of Science*, 35, 245-296.

SARKAR, S. 1998. *Genetics and Reductionism*, Nueva York: Cambridge University Press.

SWANN, B.; F. APPRAHAMIAN (eds.), 1999. *J.D. Bernal: A Life in Science and /Politics* Londres: Verso.

WRIGHT, S. 1994. *Molecular Politics*. Chicago: University of Chicago Press.