



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Filosofía y Letras
Colegio de Historia

**Exposición y crítica del artículo “Biología es
biotecnología: la revolución que nos dio
bioartefactos fue molecular”**

Informe académico de investigación
que para obtener el título de

Licenciada en Historia

presenta

Estefanía Blancas García

Asesor

Dr. Rafael Guevara Fefer



Ciudad Universitaria, CDMX, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimientos

La investigación de la que se derivó este informe fue realizada gracias a una beca del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT) de la DGAPA-UNAM IN403613 *Bioartefactos: problemas filosóficos, consecuencias sociales y ambientales*, bajo la dirección del Dr. Jorge Linares Salgado. También fue posible gracias a una beca de estímulos a la titulación otorgada por Palabra de Clío A.C. mediante Fundación UNAM. La misma investigación estuvo enmarcada en el PAPIIT de la DGAPA-UNAM IN400516 *El quehacer histórico en la construcción de las disciplinas científicas en México*, bajo la dirección del Dr. Rafael Guevara Fefer.

Este informe existe gracias a la labor y el apoyo de los trabajadores de la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, dentro y fuera de sus aulas. La Dra. Adriana Álvarez Sánchez, coordinadora del Colegio de Historia, ayudó a eliminar potenciales obstáculos administrativos. Agradezco a los miembros del sínodo, comenzando por el Mtro. Luis Enrique Aragón Mijangos, secretario técnico del Colegio de Historia y profesor, quien además de orientarme a lo largo de la ruta de titulación, invirtió su valioso tiempo en leer y comentar a fondo este informe. Al Dr. Juan Humberto Urquiza García, por su participación. Gracias al Dr. Jorge Enrique Linares Salgado, principal responsable de que el artículo del que se deriva este informe haya sido publicado en primer lugar. Agradezco a la Dra. Leonor García Millé, con cuya guía formulé las primeras preguntas que me llevaron a la historia de las ciencias biológicas. En lo que respecta a mi mentor y asesor, el Dr. Rafael Guevara Fefer, los agradecimientos se merecen un apéndice.

Claro que es costumbre mencionar que un informe como este cobró forma y existe gracias a quienes hicieron más llevadero el camino que me trajo aquí, de Cuernavaca a East Lansing, de vuelta a Ciudad Universitaria. También gracias a quienes lo hicieron complicado. Aquí no caben sus nombres. Gracias a todos.

Στον Δημήτρη, τον κρητικό αίγαγρο που μου έδειξε την έξοδο από την άβυσσο

Índice

Presentación	p. 4
Introducción	p. 8
El proyecto Bioartefectos	p. 12
Exposición y crítica del artículo “Biología es biotecnología: la revolución que nos dio bioartefectos fue molecular”	p. 23
Otras perspectivas historiográficas para estudiar la historia de la biotecnología	p. 32
Estudiar la historiografía de la biotecnología	p. 35
Bibliografía	p. 38
Anexo: Artículo publicado	

Presentación

Mucho ha cambiado en el mundo desde que el libro colectivo *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad* se publicó en 2016.¹ Pienso que es sobresaliente la manera en la que la pandemia de covid, que está provocando el peor shock social y económico de la historia humana reciente, es un tema tan cortado a la medida para la bioética y para los académicos que pasan el tiempo pensando en bioartefectos, definidos como “organismos modificados técnicamente con una función específica asignada por los agentes humanos, como objetos técnicos *biológicos* o de origen, estructura y consistencia biológica”.² Para retomar los temas que ocuparon al grupo del proyecto Bioartefectos hace más de cinco años quiero comenzar por proponer que nuestra experiencia con covid y la manera en la que la pandemia se ha desenvuelto nos demuestra, o al menos me parece así, que el problema principal quizás no radica en el análisis de la evaluación y contención de riesgos como un concepto de teoría social que es deseable aplicar en políticas públicas por su potencial para mitigar daños no intencionados. Tal vez tampoco radica en hacer disquisiciones sobre un concepto tan misterioso e inefable como el principio precautorio. La médula del asunto posiblemente yace en las complicaciones concretas que surgen en medio del ruido mediático y la confusión propia de enfrentar problemas emergentes con la mejor información disponible, pero *no necesariamente con el fin de hacer el menor daño posible* a la salud de los humanos, porque hay mercados y economías que proteger, hay oportunidades de inversión que hay que aprovechar, hay ambigüedades que las masas no están en condiciones de comprender, así que hay ideas que hay que censurar.³ Lo que estamos observando desde

¹ Jorge Linares y Elena Arriaga (coords.) *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2016, 452 p.

² *Ibid.*, pp. 7-8.

³ El fenómeno llamado “infodemia” y la circulación en internet de contenidos que proponen estrategias inefectivas o dañinas para tratar una infección por covid llevaron a la creación de advertencias que sugieren que lo que uno está leyendo es potencialmente “desinformación”. Esto encubre el hecho de que cosas que se consideraron desinformación o incluso conspiranoia, resultaron tener más crédito del que se les otorgó originalmente. Es el caso del llamado a investigar el origen de covid en los laboratorios de coronavirus de Wuhan, que pese a ser razonable, rápidamente fue descartado como una teoría conspiratoria por un grupo de científicos que publicó una carta en la revista *The Lancet* el 19 de febrero de 2020. Un aspecto que no se resaltó en ese momento es que el autor de esa carta, Peter Daszak, es un científico que no confesó su conflicto de interés por tener nexos con investigaciones con coronavirus llevadas a cabo en el Instituto de Virología de Wuhan. Para conocer más, léase el controversial artículo del periodista Nicholas Wade publicado en el *Boletín de los Científicos Atómicos*: “The origin of COVID: Did people or nature open Pandora’s box at Wuhan?” publicado el 5 de mayo de 2021. En el caso de la curaduría de “contenido confiable” en redes sociales, destacadamente Twitter, encontramos la práctica de poner etiquetas preventivas en cualquier contenido publicado que haga referencia a covid, las cuales invitan a los usuarios a aprender más sobre covid 19. Estas etiquetas redirigen a la página de la Organización Mundial de la Salud, la cual desde luego no revela sus propios conflictos de interés. Adicionalmente,

que la pandemia comenzó y que es de suma pertinencia para la bioética actual y para cómo pensamos en los bioartefectos está completamente relacionado con la naturaleza de la comunicación propia de nuestros tiempos: la manera en la cual la información que orienta las decisiones de las personas es presentada y distribuida. La proyección mediática de investigaciones presentadas como relevantes, experimentos promovidos como prometedores, personalidades de las ciencias que se publicitan como innovadores, determina lo que llega a nuestros oídos y por lo tanto moldea, lo más importante, nuestras decisiones como consumidores y espectadores, pero también nuestra visión de los temas que recogemos y estudiamos e incluso las narrativas que favorecemos al momento de conceptualizar cosas tan difusas y amplias como la filosofía de la ciencia o la historia de la ciencia.

La historia de la biotecnología y las fuentes disponibles para contarla nos muestran cómo las publicaciones producidas en Estados Unidos, periódicas y académicas, influyen de manera profunda en la visión que tenemos de las ciencias contemporáneas. Y por igual nos nublan la vista o nos enceguecen, nos confunden y distraen de las cuestiones clave. Lo que empuja a la biotecnología no es el deseo de modificar entes biológicos para la solución de problemas, ni siquiera la empuja producir medicamentos o terapias efectivas, que son objetivos que no ha satisfecho de manera significativa. Como los conocedores de este sector saben bien, aunque lo disimulen porque su trabajo es atraer inversiones, los resultados están lejos de empatar con las expectativas.⁴ Lo que empuja a la biotecnología es lo mismo que empuja a cualquier esquema de capital riesgo: la especulación financiera y el control deliberado de la percepción pública de un producto que se lanza al mercado, ejercer una influencia hasta en la conversación académica y entre expertos en temas relacionados con ciencias biológicas, incluidos los bioeticistas y los humanistas propios de un proyecto como el de Bioartefectos. Lo que estamos observando en medios día tras día durante la pandemia

en medio de la guerra en Ucrania, surgió una curiosa creación que depende del Departamento de Seguridad Nacional de los Estados Unidos: su nombre es Junta de Gobernanza de la Desinformación. El gobierno de Estados Unidos ha demostrado que una de sus finalidades, en un mundo en el que billones de personas usan internet, es la curaduría de lo que se consideran hechos y datos, de lo que es verdadero y falso.

⁴ Las cáusticas acusaciones del historiador Philip Mirowski sobre el esquema de negocios del sector biotecnológico -para él es un esquema piramidal- serán abordadas a lo largo de este informe. Mirowski ha articulado su argumento sobre la insostenibilidad del modelo biotecnológico al menos desde 2011, pero una vez más la pandemia de covid nos revela fenómenos preexistentes llevados al extremo, como el frenesí por invertir en firmas biotecnológicas en 2021 en medio del entusiasmo por ganar dinero produciendo vacunas y tratamientos. Para dar una perspectiva sobre el estado actual de las cosas en el mercado biotecnológico, basta con observar artículos publicados en 2022 que apuntan a un colapso que sucedió al entusiasmo, como “‘The music stopped’: Biotech rout leaves drug startups grounded as demand slumps for IPOs” publicado en Biopharma Dive, “Investors are moving away from biotech stocks as COVID wanes”, un artículo de Fortune. Los asesores de inversión con la mira en biotecnología, pese a todo, se mantienen optimistas. Ver por ejemplo el análisis “Surviving Biotech’s Longest and Steepest Bear Market Ever” en *PharmExec.com*.

de covid es una especie de laboratorio en tiempo real para estudiar cómo la conversación pública sobre temas de ciencia y tecnología está dominada por representantes de gobiernos y corporaciones en conjunción con medios estimados como confiables o prestigiosos, instituciones valoradas como públicas o sin fines de lucro, como las universidades Ivy League. Simultáneamente, los expertos en ciencias biológicas y de la salud, especializados en áreas como inmunología y virología, han tenido una oportunidad excepcional para brillar en redes sociales y otros medios masivos planteando análisis a título personal, presentando resultados originales obtenidos a partir de experimentos o modelos estadísticos, incluso se han vuelto predictores del futuro, y desde luego ha habido ocasión para de paso empujar sus agendas políticas aprovechando la confusión, el temor por la crisis económica y sanitaria. Los gobiernos nacionales, las organizaciones mundiales lideradas por Estados Unidos, las corporaciones, los expertos *influencers* y los medios le han dado forma a la percepción pública de la pandemia y de la enfermedad. Pareciera que invocar el artificio de la comunidad científica sigue siendo efectivo para transmitir la ilusión de consenso entre las personas cuya opinión, nos dicen, merece tener prioridad, mientras los medios, que incluyen las plataformas más populares de redes sociales, censuran a las voces disidentes que tienen puntos de vista divergentes del canon aprobado por la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) sobre las vacunas, el origen de covid, la efectividad de las medidas preventivas, bajo el pretexto de combatir la desinformación.

La experiencia reciente de la pandemia nos demuestra que lo que creemos saber sobre temas especializados existe en una esfera de aparente libertad de expresión a la que tenemos acceso a través de la página de resultados de Google, con todo y sus resultados destacados, es decir, en lo que nos dice Wikipedia, *Nature*, *The New York Times*, incluso los verificadores de hechos o *fact-checkers* de servicios como Snopes, las publicaciones que encontramos en Google Académico, y un largo etcétera. El posicionamiento político respecto a cosas como las vacunas y los transgénicos está determinado por el clima mediático al que nos exponemos, los canales de YouTube a los que estamos suscritos y las columnas de opinión que preferimos leer, o es más, en los libros que se nos presentan como textos académicos pero son en realidad folletos publicitarios que buscan moldear nuestra percepción sobre un sector industrial o sobre la confiabilidad de ciertos productos. Para muestra de ello véase *Biology is Technology* de Robert H. Carlson, el libro publicado por Harvard University Press que inspiró el título del artículo “Biotecnología es biología: la revolución que nos dio bioartefactos fue molecular,” texto que publiqué en conjunto con mi mentor en 2016 y que es

el motivo por el cual escribo este informe.⁵

En 1949, se publicó *A Sand County Almanac*, libro del ecólogo y ambientalista estadounidense Aldo Leopold (1887-1948), texto traducido al español como *Una ética de la tierra*, referente crucial de ecologistas en el mundo y de influencia comparable con la de *Primavera silenciosa* de Rachel Carson, un conocido libro de denuncia sobre los efectos nocivos de los pesticidas.⁶ Leopold escribió hace más de 70 años que abusamos de la tierra porque la vemos como una mercancía que nos pertenece y que esta visión, la tierra como mercancía en lugar de una comunidad a la que nosotros mismos pertenecemos, es incompatible con el conservacionismo.⁷ Para Leopold, el precepto ético de tratar a los miembros de nuestra comunidad con respeto debía incluir no solo a los humanos sino al resto de los seres vivos, además de que tenía que ir más allá de los animales y plantas para incluir también los suelos y las aguas. En el año de 2022, en nuestros tiempos pandémicos y de zozobra por el cambio climático e incluso un renovado temor por la aniquilación nuclear, las mercancías que extraemos de la tierra ni siquiera tienen que ser tangibles para poder comprarse y venderse, hoy traficamos hasta con información y con productos imaginarios.

En tiempos de covid y del abuso de “innovaciones” que cobran relevancia gracias a las burbujas económicas y la especulación, lo que complica las cosas es que de manera concomitante a estas tendencias económicas, la cultura guiada por los medios sigue una tendencia que destruye las alternativas y las vuelve inviables, muchas veces porque alguna organización se las apropia sin revelar sus conflictos de interés. Las personas que anhelan un cambio son cooptadas por falsos movimientos de base y de manera inadvertida cooperan con corporaciones e instituciones que vuelven de la mano de obra no remunerada un concepto romántico. Un ejemplo perfecto de este tipo de triquiñuela es la llamada ciencia abierta o ciencia ciudadana, que pese a que sus promotores lo consideran un movimiento de democratización del conocimiento, bien puede ser visto como un esquema de negocios que usa estrategias publicitarias muy similares a las que usan los impulsores de startups biotecnológicas, que está basado en la subcontratación o tercerización de actividades con el fin de reducir costos de producción. La ciencia abierta, particularmente el movimiento de los *biohackers*, fue el tema que me acercó al grupo de trabajo del proyecto Bioartefactos hace casi 10 años y es uno de los temas que trato en la crítica del artículo publicado en 2016. Esta crítica me parece el aporte más valioso de todo el informe.

⁵ Robert H. Carlson, *Biology is Technology: The Promise, Peril, and New Business of Engineering Life*, Cambridge, Harvard University Press, 2011, 288 p.

⁶ Rachel L. Carson, *Silent Spring*, Cambridge, Houghton Mifflin Company Boston, 1962, 368 p.

⁷ Aldo Leopold, *A Sand County Almanac*, Nueva York, Oxford University Press, 1949, p. viii.

Introducción

Entre los años de 2014 y 2016, al concluir mis créditos de la Licenciatura en Historia en la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, entablé una colaboración continua con los integrantes del proyecto *Bioartefactos: problemas filosóficos, consecuencias sociales y ambientales* (PAPIIT clave IN403613), primero como participante en seminarios y más tarde como becaria en ruta de titulación. Durante el tiempo en el que formé parte de este grupo de trabajo, principalmente compuesto por filósofos e historiadores vinculados con el Posgrado en Filosofía de la Ciencia de la UNAM, mi contribución más significativa fue la preparación conjunta de un artículo sobre historia e historiografía de la biotecnología, titulado “Biotecnología es biología: la revolución que nos dio bioartefactos fue molecular”, publicado en 2016 dentro del libro colectivo *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*.⁸

En el año de 2012, en mi intento por encontrar un problema de investigación para emprender la escritura de una tesis, comencé a indagar en la historia de las ciencias biológicas contemporáneas, que es un campo de estudio dominado por las tecnologías que han empujado descubrimientos e innovaciones en la manera en la que comprendemos ciertos entes y fenómenos biológicos, con el propósito principal de modificarlos con fines utilitarios. Los escenarios en los que se desenvuelve esta historia contemporánea son instituciones de diversa índole, universidades principalmente, ubicadas en Estados Unidos.

Una gran parte de las fuentes que documentan la historia de las tecnologías que han dominado la investigación en ciencias biológicas, así como los descubrimientos asociados con ellas, se producen en Estados Unidos y están escritas en inglés. El tema que elegí al momento de prepararme para escribir una tesis fue un tema muy contemporáneo, muy estadounidense y por lo tanto, muy dado al alboroto mediático. Yo quería contar la historia de los *biohackers*, biólogos admiradores de la cultura ciberpunk, que aseguran querer liberar a la biología del dominio de instituciones académicas y corporaciones para ponerla en manos de las masas, en nombre de la democracia y de la igualdad.⁹ Me tardé mucho tiempo en entender

⁸ Rafael Guevara Fefer y Estefanía Blancas García, “Biotecnología es biología. La revolución que nos dio bioartefactos fue molecular” en Jorge Linares y Elena Arriaga (coords.) *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 157-179.

⁹ “El resultado de este proceso es una nueva cultura de la ciencia abierta relacionada con transformaciones en la manera en la que la investigación biomédica se conduce, se comparte y se apropia. Los biólogos que he presentado aquí no son meramente promotores del libre acceso y del código abierto. Mi propuesta es que hay que considerar esta mezcla entre el ethos Mertoniano de los científicos del siglo veinte y la ética de los hackers como un nuevo fenómeno que no solo encarna

que ese movimiento biohacker que yo pretendía estudiar bien puede ser visto como un *stunt* publicitario, como un síntoma de los tiempos en los que vivimos, en los que jóvenes privilegiados de países ricos buscan causas llamadas de “justicia social” a las cuales afiliarse, usualmente enfocadas en política identitaria y al margen de temas escabrosos que atañen a todos independientemente de su origen e identidad, tales como la supresión de sindicatos, el predominio del modelo de subcontratación y la creciente precarización laboral. Aunque esto es solo parcialmente cierto, pues hay que decir que el mismo profesor Alessandro Delfanti, que publicó uno de los primeros libros exhaustivos sobre los biohackers, ha escrito recientemente en un tono menos alegre sobre los inhumanos mecanismos de control a los que Amazon sujeta a sus empleados.¹⁰ La ciencia abierta, la biología sintética, el biohacking y la ingeniería genética son fenómenos relacionados entre sí que implican una transformación en el financiamiento y la organización de la producción científica. Cada uno de estos temas se puede analizar a partir de su relación con la comercialización de las ciencias, por la manera en la que el trabajo científico y sus promesas están retratados en los medios de comunicación y por los cambios institucionales que han reescrito las reglas sobre en qué consiste ser científico y cuáles son los perfiles y las actividades que se premian con financiamientos y buena publicidad. Cuando hablamos de medios en nuestros tiempos no se trata exclusivamente de contenidos compartidos en plataformas, publicados con el fin de influir en la opinión pública. Nos referimos también a cómo los negocios centrados en la producción, distribución y análisis de datos se han vuelto ubicuos y han modificado la manera en la que pensamos el trabajo de cualquier índole, incluyendo el científico.

El problema principal que identifiqué en la manera en la que conceptualicé la historia de la biotecnología al momento de emprender mi investigación radica en no haber dado preponderancia a la ciencia pensada como una actividad económica financiada, regulada y promovida por instituciones públicas y privadas, es decir, en cómo las decisiones de inversión moldean lo que las ciencias producen y los discursos mediáticos en torno a lo que los científicos hacen y deben hacer. El muy complejo problema de explicar de dónde sale el

elementos relacionados con la apertura y el intercambio, sino que es más bien una recombinación más compleja en la cual otras características emergen de manera conjunta: una rebelión antiburocrática, metáforas informacionales extremas, crítica institucional, autonomía, independencia, un rechazo radical de interferencias externas y también de las instituciones científicas mismas, hedonismo y finalmente una intensa relación con los medios. Esta cultura expresa la reemergencia de un elemento antiguo y recurrente en la historia de la ciencia, a saber, la pelea entre apertura y cierre.” Alessandro Delfanti, *Biohackers: The Politics of Open Science*, Londres, Pluto Press, 2013, 158 p.

¹⁰ *vid.* Delfanti, *The Warehouse: Workers and Robots at Amazon*, Nueva York Pluto Press, 2021, 192 p.

dinero que paga las ciencias, cómo se gasta y legítima era tal vez lo que mi mentor quería que yo entendiera cuando me previno que aunque mi tema era, en sus palabras, encantador, conllevaba implicaciones políticas que eran difíciles de asentar por tratarse de un tema tan contemporáneo. Sin embargo, en lugar de ocuparme de un tema con más arraigo en la Facultad, elegí uno cuyas fuentes principales no estaban siquiera escritas en español. Es más, ni siquiera estaban publicadas todavía. Pese a esos factores en mi contra, mi profesor me dio la libertad de proceder con el proyecto y me vinculó con un grupo de trabajo adscrito al Posgrado en Filosofía de la Ciencia, a cargo del Dr. Jorge Linares Salgado, entonces director del Programa Universitario de Bioética.

Me integré de manera no oficial a las actividades del proyecto Bioartefactos en noviembre de 2013, con mi asistencia al coloquio “Bioartefactos: historia, ontología, ética y axiología”, celebrado en el Campus Morelos de la UNAM. Ahí escuché por primera vez los comentarios del Dr. David Romero Camarena sobre la conferencia de Asilomar de 1975, una reunión celebrada en California en medio de una controversia en torno a una moratoria impuesta a experimentos basados en una tecnología novedosa y desconocida, que se consideraron riesgosos por su potencial de propagar patógenos e incluso desencadenar una pandemia. En esta conferencia, que se convirtió en un referente de la autorregulación de científicos que en su quehacer se enfrentan a riesgos que afectan al público, si no es que a la humanidad entera, un grupo compuesto principalmente de biólogos moleculares trató de sopesar los riesgos de modificar genéticamente a la bacteria *E. coli* para hacer investigación biológica. La conclusión fue que dieron luz verde a los experimentos considerados de bajo riesgo y la moratoria se levantó, pese a que las inquietudes expresadas por grupos que velaban por intereses distintos de los de los investigadores y de los inversionistas fueron pasadas por alto.

En el momento en el que me integré al proyecto, ya había establecido que el tema que me interesaba era el de la historia de la biología sintética, un área de investigación -es algo desatinado llamarla disciplina- asociada con lo que conocemos de manera general como “biotecnología” y diseñada para la instrumentalización de procesos biológicos y su comercialización. Desde mi perspectiva en 2013, esa historia debía partir de la década de 1970, cuando se crearon las primeras moléculas genéticamente modificadas, de ADN recombinante, las mismas que ocasionaron la controversia que se mitigó en Asilomar. Poco después, comencé a asistir a las sesiones de seminario de Bioartefactos de manera oficial en agosto de 2014 y más tarde me desempeñé como tesista, por lo cual recibí una beca a través del proyecto. Me ocupé de investigar temas relacionados con la historia de la biotecnología,

de la biología molecular y también profundicé en la historia de los eventos que desembocaron en Asilomar.¹¹ Trabajé con temas de historia de Estados Unidos, principalmente. Las sesiones de seminario estaban enfocadas en la preparación de un libro colectivo y fui eventualmente invitada a contribuir con un artículo original en esta publicación. Se consideró como una versión preliminar de mi tesis, aunque la tesis nunca fue concluida.

“Biotecnología es biología: la revolución que nos dio bioartefectos fue molecular” fue concebido como un breve panorama sobre ciertas problemáticas relacionadas con la historiografía de la biotecnología y su relación con la historia de la biología molecular. La influencia más evidente en el texto es la de la historia de la cultura material de las ciencias, de los cambios que influyen en el desarrollo del conocimiento científico, en el espíritu de la llamada epistemología de lo concreto propuesta por el filósofo de la ciencia alemán Hans-Jörg Rheinberger.¹² El objetivo general fue demostrar que existen distintas maneras de plantear la historia de la biotecnología, dependiendo de cómo se defina este tipo de tecnología. La propuesta fue fijar el encuadre en la historia de la tecnología de ADN recombinante y los cambios que suscitó, que fueron múltiples, pero en el artículo el énfasis recayó en los aspectos epistemológicos. Desde 2013 comencé a estudiar fuentes primarias sobre la conferencia de Asilomar, todas disponibles en internet, y poco a poco mis temas fueron confluyendo con los temas del seminario del proyecto Bioartefectos, principalmente el intento por proponer una definición de “bioartefacto” basada en las características de la tecnología de ADN recombinante. La escritura del artículo tomó alrededor de un mes.

En este informe académico de investigación explicaré cuáles fueron las inquietudes que inspiraron las actividades enmarcadas en este proyecto, cuáles fueron mis contribuciones en general y qué caracteriza al artículo publicado. Han pasado casi 5 años desde entonces y algunas de mis experiencias más recientes me han otorgado una perspectiva bastante distinta sobre los problemas que me ocuparon al momento en el que el artículo cobró forma.

¹¹ Un producto de esa revisión documental fue un artículo publicado en la revista *Diacronías de Palabra de Clío* A.C. Estefanía Blancas García, “Algunas vías para rastrear la genealogía de la conferencia de Asilomar de 1975”, *Diacronías: Revista de Divulgación Histórica*, Ciudad de México, año 9, n. 15, junio de 2016, pp. 127-37.

¹² *vid.* Hans-Jörg Rheinberger, *An Epistemology of the Concrete: Twentieth-Century Histories of Life*, Durham, Duke University Press, 2010, 352 p.

El proyecto Bioartefectos

Los colaboradores del proyecto Bioartefectos provinieron principalmente de disciplinas humanísticas como la filosofía y la historia, algunos preocupados por entender cómo existen los bioartefectos contrapuestos a los organismos vivos, los límites entre lo natural y lo artefactual, así como las implicaciones éticas y políticas del transhumanismo, de los cultivos genéticamente modificados y de otras maneras de introducir elementos artificiales en el medio ambiente. La ruta que yo recorrí para proponer una definición de bioartefectos fue la que me era más familiar, es decir, la de la historia de las disciplinas científicas, enfoque en el cual fui formada durante los cursos de historia de las ciencias a cargo de mi mentor, el doctor Rafael Guevara Fefer. Fue por esa razón que, a partir de mi interés por el movimiento biohacker investigué sobre la historia de la biología sintética (que bien puede ser vista como ingeniería genética con un nuevo empaque) y poco después la de la ingeniería genética, la cual se traslapa con la historia de la biotecnología (principalmente la que se deriva de la investigación biológica a nivel subcelular) y de la biología molecular, la biología de las macromoléculas.

Para describir el proyecto Bioartefectos y el contexto en el que se inscribió, es necesario hablar un poco sobre la importancia que la bioética ha cobrado en la filosofía mexicana reciente. De manera general, la tarea de los bioeticistas desde la década de 1970 se ha enfocado en discutir lo referente a la defensa de la salud y el bienestar públicos, de los derechos de los usuarios y consumidores de bienes y servicios, siempre reiterando la importancia de actuar desde el precepto de causar el menor daño posible a humanos, seres vivos y el medio ambiente. Actualmente la bioética es estudiada y practicada por personas de múltiples ocupaciones y nacionalidades. En cada país tiene sus instituciones y sus personalidades destacadas con agendas que orientan su trabajo. La filósofa Juliana González, pionera de la bioética de la UNAM, ha ocupado gran parte de su vida en pensar en cómo los humanos discernimos el bien del mal y esos temas la llevaron eventualmente a ocuparse de la bioética. Pese a que los mismos bioeticistas no alcanzan un consenso al momento de definir qué es bioética, de manera general identifiqué que en México predominan dos vertientes que confluyen en ciertos puntos, se separan en otros y tienen orígenes distintos.

La primera vertiente se deriva de la ética médica y tiene su inspiración en la defensa de los derechos humanos, particularmente los derechos de los pacientes en el ámbito de los cuidados de la salud, y en la imposición de límites al autoritarismo de los expertos. Para ejemplificar a qué me refiero mencionaré que a partir de 2005, la Comisión Nacional de

Bioética, órgano desconcentrado de la Secretaría de Salud del Gobierno de México, estableció como su misión el desarrollo de una “cultura bioética” plural en el país, con el fin de promover la participación de un gran número de actores en las discusiones éticas sobre temas de salud, ciencia y tecnología que atañen a todos. En este escenario ideal, la cultura bioética serviría para promover la justicia social y por ende sería parte importante de una democracia saludable.

A la par de la vertiente que tiene su énfasis en la ética biomédica, múltiples académicos con formación humanística han estudiado las ciencias, a quienes las practican y las creaciones que se derivan de ellas. Las preguntas que se han hecho, colocados en los campos de la filosofía o la historia, constantemente han tenido que ver con una preocupación por el futuro de la humanidad en un mundo como el que habitamos en el siglo XXI. A lo largo de las últimas décadas, académicos de la UNAM con diversas formaciones han ocupado un lugar privilegiado en las conversaciones públicas sobre temas que se consideran del dominio de la bioética. Esa perspectiva filosófica preponderó en la definición de conceptos clave en el libro colectivo publicado en 2016, derivado del proyecto Bioartefactos.

Dada mi procedencia académica, mi intento por ahondar desde la historia en cómo se formula un concepto como biotecnología derivó en una crítica historiográfica que desafortunadamente no profundizó en los aspectos económicos e institucionales y sus repercusiones, quizás por tratarse de un tema contemporáneo que solo se ha ido esclareciendo con el paso del tiempo. Esto lo he comprobado en tiempo real a lo largo de la década que ha transcurrido desde que empecé a interesarme en estos temas. He revisitado el problema de la historiografía de las ciencias contemporáneas de manera constante a lo largo de los años por pura recreación, al margen de la universidad y de grupos de investigación. Cada año que pasa aparecen nuevas fuentes y las piezas parecen embonar un poco mejor. Otras que parecían haber caído en su lugar se desordenan. También emergen nuevas preguntas.

Las instalaciones del entonces recién creado Programa Universitario de Bioética, dirigido en sus inicios por el Dr. Jorge Linares, fueron el escenario principal de los seminarios de los que los miembros del proyecto participamos. Las inquietudes que atrajeron a los múltiples colaboradores a formar parte de este grupo fueron muy variadas, pero confluyeron, desde mi perspectiva, en un posicionamiento político común, de cara al uso de tecnologías que parecen comprometer un acuerdo tácito que los humanos deberíamos entablar con la naturaleza. Uno de los temas coyunturales sobre el panorama de la “vida artificial” en 2013 seguía siendo la famosa (¿infame?) célula sintética del biólogo emprendedor Craig Venter, la cual gozó de una gran atención mediática y suscitó una

avalancha de especulaciones sobre el futuro por venir. Al logro de Venter se le colgaron epítetos exagerados y se le enmarcó en una narrativa épica. Por ejemplo, Radio Francia Internacional publicó una nota bajo el título “El hombre crea la primera célula artificial”.¹³ En Deutsche Welle, el título de la nota fue “Vida sintética: comienzo de un viaje hacia lo desconocido”.¹⁴ Desde luego hay espacio para alarmarse ante un escenario en el que células artificiales están siendo confeccionadas, sin embargo estos encabezados pasan por alto lo costoso en términos de tiempo y dinero que fue para Venter y sus colaboradores crear algo que pudiera ser llamado célula artificial y lo mucho que tuvieron que forzarlo. En *Science*, Elizabeth Pennisi escribió: “El genoma sintético creado por el equipo de Venter es casi idéntico al de una bacteria natural. Se logró a un costo elevado, un estimado de 40 millones de dólares, y esfuerzo, 20 personas trabajando por más de una década. Pese a este éxito, crear genomas a la medida, como unos que produzcan combustibles o medicamentos, y lograr que «arranquen» dentro de una célula, no es una realidad todavía.”¹⁵

Otro hecho coyuntural fue que en 2014 comenzamos a escuchar noticias sobre la técnica de edición genética llamada CRISPR, que a muy grandes rasgos permite a un usuario modificar las funciones de genes e introducir mutaciones. Sobre este tema controversial hay mucho que decir, aunque la imagen más impactante que se asocia con CRISPR es la de los “bebés editados” por el biólogo chino He Jankui, quien acabó en la cárcel después de que la revista estadounidense *MIT Technology Review* expusiera sus experimentos con genomas de embriones humanos. Sin embargo, un tema que es menos escandaloso pero al menos igual de relevante es el de la definición y la defensa del interés público al momento de determinar quiénes pueden usar tecnologías de ingeniería genética y bajo qué condiciones. Fue ahí donde los ecos de Asilomar resonaron, esta vez en torno a CRISPR. En marzo de 2015, tras haberse reunido en una conferencia en Napa, California, 18 personas, en su mayoría científicos, dos de ellos veteranos de Asilomar, publicaron una carta titulada “Un camino prudente para la ingeniería genómica y la modificación de genes de la línea germinal”, que bien puede considerarse un tributo a la llamada carta de Berg (en referencia al científico Paul Berg, firmante principal) que se publicó en 1975 llamando a levantar la moratoria a experimentos con ADN recombinante.¹⁶ El procedimiento aplicado en Napa, el de sentar bases a puerta

¹³ RFI, “El hombre crea la primera célula artificial”, 22 de mayo de 2010, <https://www.rfi.fr/es/ciencia/20100521-el-hombre-crea-la-primera-celula-artificial>

¹⁴ “Vida sintética: comienzo de un viaje hacia lo desconocido”, 22 de mayo de 2010, <https://www.dw.com/es/vida-sint%C3%A9tica-comienzo-de-un-viaje-hacia-lo-desconocido/a-5600419>

¹⁵ Elizabeth Pennisi, “Synthetic Genome Brings New Life to Bacterium”, *Science*, v. 328, n. 598, 21 de mayo de 2010, pp. 958-59.

¹⁶ David Baltimore *et al.*, “A prudent path forward for genomic engineering and germline gene modification”, *Science*, v. 348, n. 6230, 19 de marzo de 2015, pp. 36-8.

cerrada para crear políticas públicas, fue recientemente criticado en varias entradas del blog *Free Radicals*, una publicación que tiene la finalidad de proporcionar recursos para el análisis político de temas asociados con ciencia y tecnología.¹⁷ En conclusión, los autores resaltan la necesidad de implementar mecanismos de rendición de cuentas, lo cual conduce a otro tema que es de suma pertinencia para la bioética y la historia de la biotecnología: lo que solemos conceptualizar como la relación entre ciencia y sociedad, los científicos y el público.

Hoy hablamos de la relación entre ciencia y público asumiendo que por un lado existe la ciencia, normalmente coludida con intereses corporativos que con optimismo muchas veces infundado buscan quitar trabas a actividades y prácticas consideradas innovadoras. Pensamos que por otro lado existe el público y los representantes que velan por el bien común, desde una perspectiva más cautelosa y conservadora. Sin embargo, en ese intercambio existe un choque de visiones políticas entre actores que ostentan cierto poder, ya sea como representantes del público en la forma de organizaciones no gubernamentales, colectivos, y quienes representan a organizaciones públicas y privadas. En el caso estadounidense, sería deseable que las tecnologías emergentes fueran evaluadas y monitoreadas por instituciones que pudieran moderar el debate entre expertos y miembros de la sociedad civil, establecer directrices que orienten a quienes están en la posición de tomar las decisiones cruciales que terminan impactando en el ambiente y la vida humana para bien o para mal. Vale la pena mencionar que ese fue el ambicioso rol de la ahora extinta Oficina de Evaluación Tecnológica (OTA) del Congreso de Estados Unidos, que operó entre los años de 1974 y 1995: dotar a legisladores de recomendaciones basadas en el mejor criterio de expertos sin afiliación partidista ni conflictos de interés. Actualmente estas funciones se ponen en manos de organizaciones como los *think tanks*, institutos de desarrollo de políticas que se asocian con partidos políticos, corporaciones o incluso el ejército. Uno de los más destacados *think tanks* es el Wilson Center o Centro Internacional para Académicos Woodrow Wilson, parcialmente financiado por el gobierno de Estados Unidos.

Ambos desarrollos, tanto la célula artificial de Venter como CRISPR, dieron buena publicidad a la biología sintética, dieron plausibilidad a sus promesas. Son ejemplos del clima del momento. Las discusiones en los seminarios del proyecto Bioartefactos reflejaron ese contexto. Se centraron en preguntas sobre los límites de lo que es válido intervenir y

¹⁷ “Backstage Decisions, Front-stage Experts”, serie de entradas en el blog *Free Radicals*, publicadas entre el 19 de mayo y el 6 de abril de 2021, <https://freerads.org/tag/backstage-decisions-front-stage-experts/>, consultado el 31 de mayo de 2022.

modificar, las tendencias mercantiles que aunque nos son impuestas sin nuestro consentimiento deberíamos tratar de resistir. Discutimos sobre las razones por las cuales convendría resistir esas tendencias, las estrategias para resistir, así como también sobre la naturaleza de esta resistencia, la delimitación de nuestro objeto de estudio, los bioartefactos, y de nuestra relación con él. De acuerdo con la sección “Síntesis del proyecto” en el informe final:

nos proponemos responder, desde diversas perspectivas filosóficas, con base en conceptos científicos y contextos histórico-culturales, cuál es la naturaleza propia de los bioartefactos y, en particular, la especificidad de aquellos que han sido producidos por las biotecnologías contemporáneas. Nos planteamos preguntas como las siguientes: ¿qué es aquello que otorga identidad a los bioartefactos?, ¿puede hablarse de los bioartefactos como una categoría ontológica o epistémica bien definida sobre la cual sería legítimo establecer atribuciones funcionales y descripciones de propiedades y efectos? ¿O se trata, por el contrario, de una noción necesariamente borrosa y volátil? ¿Cómo los valoramos tanto intrínsecamente como extrínsecamente? ¿Qué consecuencias sociales y ambientales (tecnológicas, económicas, éticas, políticas) implican su producción, uso y consumo?¹⁸

Para definir las atribuciones de los bioartefactos, cómo los valoramos y sus consecuencias sociales y ambientales es importante hacer hincapié en su existencia como productos, en su valor como mercancías y como tecnologías para producir mercancías. Su redefinición a partir de su potencial para resolver problemas o satisfacer necesidades. Por poner un ejemplo directamente relacionado con la historia de la biotecnología, podemos decir que la tecnología de ADN recombinante creó un mercado en un contexto en el que había presión por encontrar salidas mercantiles a la inversión pública en ciencias en Estados Unidos. La creación del Instituto Nacional del Cáncer en 1971 y la promulgación de la ley nacional del cáncer, acciones conocidas en conjunto como la guerra contra el cáncer y financiadas por la administración de Richard Nixon, tal vez no fructificaron en una cura para la enfermedad, pero bien estimularon un área de investigación que concentró a investigadores en entes biológicos como los virus carcinógenos, lo cual propició en sus inicios el descubrimiento de la tecnología de ADN recombinante y, de manera indirecta, derivó en la posibilidad de producir insulina recombinante, un producto comercial de alta demanda. La idea de que la ingeniería genética resuelve problemas, salva vidas y que el dinero público está siendo usado para aportar soluciones o mejoras a la vida humana son dogmas que hasta la fecha se predicán. En nombre del bien común, promueven una visión optimista y de apertura no solo al uso de tecnologías controversiales sino también a la privatización, bajo el supuesto de que la innovación es una ofrenda que los emprendedores extienden a la sociedad. El

¹⁸ IN403613 Informe Final 2013, 24 de abril de 2018, recurso electrónico, https://dgapa.unam.mx/images/papiit/transparencia/proyxanio/2013/IN403613_Informe_Final_2013.pdf

artificio de la ciencia al servicio del bien común forma parte del dogma de los impulsores de la ciencia abierta y ha ocasionado que se abuse de términos como “ciencia ciudadana”.

Por más inofensivo que parezca hablar de ciencia ciudadana, es deseable detenerse a pensar en cómo esta práctica también se ha transformado a raíz de la comercialización de las ciencias. Contrastemos dos estilos de involucramiento del público en labores tipificadas como ciencia. El primero es un proyecto clásico de ciencia ciudadana, el más antiguo en su especie, en el que participan miles de personas localizadas principalmente en Estados Unidos y Canadá. Se trata del Conteo Navideño de Aves de la Sociedad Nacional Audubon de Estados Unidos, un censo anual que se ha llevado a cabo desde 1900 y reúne a observadores de aves voluntarios que a lo largo de 20 días en invierno se agrupan y determinan rutas para registrar la presencia de aves en lugares específicos. Usualmente esos mismos voluntarios realizan labores de conservación a la par de sus observaciones, por ejemplo el rastreo y erradicación de plantas invasoras, así como el cultivo de plantas nativas en sus propios jardines. Podríamos decir que este tipo de organización surgió de manera orgánica, como un movimiento de base o lo que en inglés se conoce como *grassroot movement*, cuyo significado apunta a que se trata de una organización que comienza desde la raíz, desde abajo.

Por otro lado tenemos un estilo de ciencia ciudadana que trata de hacerse pasar por un movimiento de base, pero que convenientemente impulsa una narrativa que irónicamente podría ser considerada anti-ciencia, pues parte del supuesto de que las ciencias están secuestradas por una élite que las emplea con fines egoístas, que no están produciendo lo suficiente, que están anquilosadas, que no han desatado con suficiente fuerza el poder de la innovación y la solución de problemas. El remedio que ofrecen organizaciones compuestas por emprendedores es el de usar la etiqueta de ciencia ciudadana para involucrar a todo quien tenga el deseo de participar en labores menores, repetitivas, solicitando que para realizar el trabajo aporten sus propios dispositivos, como celulares y computadoras personales.

Los científicos aficionados han existido siempre, antes eran los únicos científicos. Algunos son célebres por la importancia del trabajo que han hecho, como el noruego Jon Larsen, que además de ser un talentoso guitarrista se convirtió en un pionero del estudio de polvo cósmico y micrometeoritos en entornos urbanos. No obstante, de manera concomitante la ciencia ciudadana hoy crea una demanda de sofisticados productos para entusiastas en busca de un pasatiempo y promueve inspiradoras narrativas con el fin de conseguir voluntarios para hacer gratis trabajos que hasta Amazon paga, por ejemplo a través de su mercado laboral *Mechanical Turk*, que recluta humanos para realizar tareas simples que una

máquina no puede hacer y así auxiliar en el desarrollo del aprendizaje automático o *machine learning* que Amazon usa para sus operaciones.

El panorama historiográfico cambia cuando rastreamos el dinero, tanto en lo que respecta a la ciencia ciudadana como a la biotecnología. En el caso estadounidense, tras décadas de una inversión intensiva en ciencias biológicas, en la década de 1970 predominaron las expectativas por ver descubrimientos y desarrollos que justificaran los costos. Tanto fue así que la legislación y la organización institucional dentro de las universidades se adaptaron después del descubrimiento del potencial económico de la tecnología de ADN recombinante. Un ejemplo de ello es la aparición de las Oficinas de Transferencia Tecnológica, las cuales tratan de operar como el vínculo entre investigadores académicos y negocios. Junto con el mercado se movieron también las disciplinas y los temas de los que se habla en publicaciones periódicas, en la televisión, en los documentales y también en las aulas de las facultades de humanidades. Los problemas planteados por la creación y comercialización de bioartefactos se pueden observar desde una perspectiva meramente descriptiva, a partir de una historia disciplinaria o institucional, pero los filósofos y los bioeticistas se enfocan en preguntas asociadas con cómo los humanos enfrentamos la desacralización de la vida en un mundo secular que le hace muecas a la experiencia espiritual de la naturaleza. Con la ausencia de ese marco religioso y trascendental se ha tratado de justificar no obstante la sacralidad de la naturaleza en términos jurídicos, de justicia, de derechos humanos, derechos de los animales, en términos éticos, pero al parecer no ha sido suficiente para contrarrestar los efectos del vacío de trascendencia fincado en la tierra, en el medio ambiente, en los seres y en las cosas que con frecuencia son destruidos en nombre de nuestros deseos y necesidades, un vacío que ha sido usurpado por el mercado como solucionador de problemas y generador de bienestar para los humanos. Todo ello se traslapa por igual con los ideales de justicia, derechos humanos y criterios éticos. Es posible defender ambas posiciones, todo puede estar justificado en el nombre de cosas como el interés público, el derecho a la felicidad o la libertad de consumo.

En la página actual del Programa Universitario de Bioética, bajo la sección titulada “Nosotros”, encontramos la siguiente cita: “Todo[s] esto[s] [efectos nocivos] no puede[n] imputársele a la ciencia: se debe a que su aplicación a través de la tecnología, si bien ha tenido logros espectaculares, ha carecido muchas veces de una guía ética. Esa es la guía que la Bioética pretende dar respecto a la vida en su conjunto: no solamente respecto a la vida humana, sino a todo tipo de vida y a la relación que los seres humanos debemos guardar con

ella.”¹⁹ Podría argumentarse no obstante que vale la pena detenerse a pensar en la ciencia antes de enmarcar el problema como un mero asunto de *aplicaciones* de la ciencia. Pensar la relación entre bioética y ciencia es un problema filosófico e histórico. Así como existen efectos nocivos en el ambiente causados por la comercialización de la vida, dichos efectos se extienden al ámbito de las ideas, a la manera en la que conceptualizamos qué es la ciencia y cómo nos posicionamos políticamente ante ella. Especialmente si pensamos en los bioeticistas como opinadores independientes que escrutan a las ciencias sin pensarse a ellos mismos como científicos. Medio siglo nos separa de la publicación de *Bioética: un puente al futuro*, escrito por el bioquímico estadounidense Van Rensselaer Potter (1911-2001), considerado uno de los pioneros de la bioética, quizá el más conocido, al menos en la tradición mexicana. Potter era un científico con una larga carrera estudiando el cáncer y al escribir sobre bioética él asumió que estaba contribuyendo a perfilar una nueva ciencia, la más importante de todas, una que se haría cargo de planear responsablemente para el futuro. Una de las principales fuentes de inspiración para la bioética de Potter fue la obra de Aldo Leopold, que si bien fue un intelectual y escritor, era también un científico forestal experto en conservación de fauna silvestre. De hecho, *Un puente al futuro* está dedicado a la memoria de Leopold, “quien anticipó la extensión de la ética a la bioética”. Sin embargo, en esa misma visión científica hay un componente religioso bastante explícito, como se evidencia en el credo bioético compuesto por Potter, que es un conjunto de preceptos sugeridos para llevar una vida en conformidad con una visión bioética, así como en las referencias que Potter hace a la obra del jesuita Pierre Teilhard de Chardin, particularmente el libro *El fenómeno humano*.

La bioética del estilo de Potter surgió en el Medio Oeste estadounidense, cerca de la región de los Grandes Lagos, en una vasta tierra vacía de humanos en gran parte, pero rebosante de vida. La bioética de acuerdo con Potter debía ser una *ciencia de la supervivencia* basada en la combinación de valores con hechos científicos, en la unión de las culturas científica y humanística. En la bioética pionera hay trazas del naturalismo religioso estadounidense. Pero también hay trazas de un culto a la ciencia y a los expertos que en gran parte se derivó del deseo de explotar más y mejor que emergió en Estados Unidos. En la obra de científicos como Liberty Hyde Bailey (1858-1954) encontramos noticias del momento en el que miembros de comunidades rurales estadounidenses percibieron que el acuerdo con la naturaleza se traicionó. Hombres como Leopold, Henry David Thoreau (1817-1862) y E. O. Wilson (1929-2021) tienen en su obra la voluntad de restituir una visión protectora de la

¹⁹ “Nosotros”, sitio web del Programa Universitario de Bioética de la UNAM, <https://www.bioetica.unam.mx/nosotros#historia>, consultado el 1 de junio de 2022.

naturaleza que pudiera servir para prevenir sufrimientos futuros. Esa visión está fincada en una manera religiosa de ver el rol que cumple la humanidad, algo que con frecuencia aprendemos a rechazar como cultismo, fanatismo o estupidez.

Quizás una de las ideas que subyacen a la propuesta de que es necesario contextualizar la biotecnología y preguntarse por qué cobró relevancia en primer lugar, tiene que ver con problematizar históricamente nuestro uso de conceptos centrales. Y es que la artificialidad que vemos en los bioartefactos existe también en nuestro discurso sobre ellos, el cual se monta en narrativas que fueron producidas en instituciones fuera de México, por autores con agendas políticas que no siempre son explícitas. Para revelar sus implicaciones tenemos que problematizar nuestra propia visión al momento de elegir teorías y metodologías hechas en otros países. Parto del supuesto de que hablar de la historiografía y del contexto histórico en el que se produce es una manera altamente efectiva de esclarecer las intenciones con las que otros han acuñado y usado los conceptos que ahora nosotros mismos usamos para explicar, por ejemplo, qué caracteriza a las ciencias contemporáneas. Este enfoque se traslapa con disciplinas como la historia intelectual, la historia de las ideas científicas y la filosofía de la ciencia.

Un ejemplo de la implementación de esta estrategia para indagar en por qué las ciencias contemporáneas tienen la forma que tienen se encuentra en el trabajo del historiador y filósofo estadounidense Philip Mirowski, cuya diversa obra ahonda en múltiples temas asociados con qué es la ciencia y por qué es importante estudiar a fondo cómo hablamos de ella, temas que atienden a una misma lógica: se centran en quiénes piensan las ideas, cómo las implementan y cómo en ese proceso transforman el mundo en el que vivimos. Haciendo un guiño al filósofo Ian Hacking, digamos que las ciencias sociales también representan e intervienen. Cuando Mirowski era un estudiante de economía en la Universidad Estatal de Michigan, se dedicó a indagar en los orígenes de las metáforas tomadas de la física, aplicadas a su disciplina, para más tarde dedicarse a la historia de los pensadores, científicos, intelectuales y actores que dan forma y encauzan a las ciencias, en la frontera entre las ciencias naturales y sociales, así como también escribió sobre la manera en la que economistas y otros intelectuales han tratado de redefinir qué es la ciencia y a su vez, los discursos que sociólogos, antropólogos, filósofos e historiadores han compuesto para dar cuenta de este cambio desde el ámbito de las ciencias sociales, como el campo de los estudios sociales de la ciencia.²⁰ Mirowski es un escritor provocador, florido a su manera, y si bien

²⁰ Entre los libros publicados por Mirowski destaco aquí *More Heat Than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, 450 p.;

publica artículos su afición es llenar tomos gordos, porque los historiadores necesitan espacio para explicarse, no son físicos. Tiene un best seller sobre la crisis de 2009 y su relación con el neoliberalismo, el único libro que le han traducido al español.²¹ A lo largo de la última década ha dedicado buena parte de su tiempo a determinar qué es el neoliberalismo, tarea que lo ha llevado a proponer que es útil estudiar el fenómeno en términos de un colectivo internacional de pensamiento que ha determinado y actualizado su programa de acción, primero con el fin de invalidar la factibilidad del comunismo y poco después con el fin de extender su influencia a lo largo del mundo de manera deliberada, a través de un esfuerzo concertado en mancuerna con empresarios, intelectuales, funcionarios públicos, personalidades mediáticas, entre otros actores.²²

A lo largo de 2015, el trabajo en los seminarios celebrados en el Programa Universitario de Bioética se intensificó, ya que los participantes estábamos en proceso de preparar nuestras contribuciones con el fin de publicarlas en un libro colectivo. Desempeñé un rol como becaria de tesis y no estaba proyectado originalmente que contribuyera con un artículo, pero a petición del Dr. Jorge Linares apliqué el trabajo que había desempeñado en la preparación de la tesis para crear un texto que se adaptara a los requerimientos del libro colectivo, con la colaboración de mi asesor, el Dr. Rafael Guevara Fefer, cuyo enfoque genealógico aplicado a la historia de las disciplinas científicas fue influyente en el abordaje del artículo. En ese punto de la investigación, yo estaba trabajando principalmente con fuentes que se ocupan de la historia de la biología molecular y su lugar en la historia de la biotecnología, pero había también revisado previamente fuentes sobre la conferencia de Asilomar y el desarrollo de la tecnología de ADN recombinante, así que al momento de pensar en una contribución que tuviera cabida en un libro sobre bioartefectos, quise atender a dos problemas: el primero, de naturaleza historiográfica, se basaría en fuentes sobre historia de la biología molecular y la biotecnología y consistiría en proponer una definición de biotecnología a partir de textos de autores como Michel Morange, Gunther Stent y Robert Bud, y especialmente el análisis “Recent science and its exploration”, un breve artículo de Hans-Jörg Rheinberger, en el que el autor contrasta la historia de la ciencia como proceso

Against Mechanism: Protecting Economics from Science, Lanham, Rowman & Littlefield Publishers, 1992, 264 p.; *Machine Dreams: Economics Becomes a Cyborg Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002, 655 p. y *ScienceMart: Privatizing American Science*, Cambridge, Harvard University Press, 464 p.

²¹ Mirowski, *Nunca dejes que una crisis te gane la partida: ¿Cómo ha conseguido el neoliberalismo, responsable de la crisis, salir indemne de la misma?*, trad. de Blanca Ribera de Madariaga, Barcelona, Deusto, 2014, 592 p.

²² Véase Mirowski y Dieter Plehwe, *The Road from Mont Pèlerin: The Making of the Neoliberal Thought Collective*, Cambridge, Harvard University Press, 2015, 496 p.

histórico y la historia de la ciencia como la historiografía de dicho proceso. El segundo problema tendría un carácter más epistemológico, basado en la historia de la tecnología de ADN recombinante y algunos de sus pormenores técnicos, con el fin de definir qué es un bioartefacto, bajo la premisa de que se trata de un concepto que denomina herramientas que emergieron con la ingeniería genética y no antes.

De manera adicional a la escritura del artículo, en 2016 dediqué alrededor de un mes a auxiliar en la preparación de la publicación del libro colectivo en una primera fase. El trabajo consistió en uniformar su formato, revisar detalladamente las notas al pie de todos los artículos y completar referencias que tuvieran datos faltantes. Ese mismo año asistí a tres coloquios, en dos de ellos como ponente. El primero fue el V Congreso de Historiadores de las Ciencias y las Humanidades (HCH México) celebrado en la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo en la ciudad de Pachuca, del 9 al 11 de marzo de 2016. Semanas después, en el mes de abril del mismo año fui ponente en el Primer Coloquio de Historia de la Ciencia del Centro Universitario de Tonalá de la Universidad de Guadalajara, en el área de historia de las ciencias experimentales, con una presentación titulada “Los organismos modelo en la biología molecular: E. coli y sus fagos”. Finalmente presenté una ponencia titulada “El turco, el gato y el autómeta molecular” en el Coloquio Internacional Aproximaciones críticas a la biología sintética, organizado por la Facultad de Filosofía y Letras de la UNAM, el Programa Universitario de Bioética y el Grupo Arte+Ciencia, celebrado entre el 9 y 10 de noviembre de 2016. Cabe también mencionar que en junio de 2016, la revista *Diacronías* de Palabra de Clío A.C. publicó mi artículo “Algunas vías para rastrear la genealogía de la conferencia de Asilomar de 1975”.

El artículo escrito para *Aproximaciones* se derivó del intento por defender el argumento de que la manera de encuadrar la historia de la biotecnología tiene en primer lugar que tomar en cuenta la razón por la cual la biotecnología se volvió relevante en nuestros tiempos. Es un texto que trata sobre la historiografía de la biotecnología y da algunas sugerencias sobre cómo podría estudiarse. La conclusión es que para hablar de biotecnología tenemos que entender la relevancia que cobró la ingeniería genética a partir de inversiones e investigaciones que se llevaron a cabo en Estados Unidos. He observado que los estudios que se hacen dentro de Estados Unidos permiten con mayor facilidad observar los detalles de la historia de la industria biotecnológica, mientras que los estudios que se hacen en otros países, de cara al imperio, tienen entre sus características la combatividad y un énfasis en un posicionamiento político que tiende a la resistencia a la asimilación y la subyugación a las ciencias y tecnologías que provienen de Estados Unidos.

Exposición y crítica del artículo “Biología es biotecnología: la revolución que nos dio bioartefactos fue molecular”

El régimen globalizado de privatización ya se ha adentrado mucho en el camino de revolucionar los medios de producción científica, pienso que más de lo que la mayoría de la gente está consciente. No puedo dejar de enfatizar que este no es un fenómeno “tecnológico” tanto como es institucional.

Philip Mirowski, *ScienceMart*²³

“Biología es biotecnología: la revolución que nos dio bioartefactos fue molecular” es predominantemente un texto enfocado en epistemología y en la historia de la biología molecular, en el que solo marginalmente aparecen referencias a las diversas instituciones que sostienen a las ciencias. Los temas principales que el texto aborda son la historiografía de la biotecnología, de la biología molecular, el concepto de “revolución molecular”, algunos aspectos de la influencia de las ciencias físicas en la biología molecular, la creación de la tecnología de ADN recombinante y sus aspectos técnicos, así como una definición de bioartefacto basada en las herramientas propias de la ingeniería genética. Las fuentes utilizadas son principalmente autores estadounidenses y europeos que han publicado a partir de 1960. Se trata de historias enfocadas en pormenores técnicos y en actividades científicas, usualmente aisladas de los contextos económicos en las cuales se desarrollaron. Por contraste, en el artículo “The Commercialization of Science and the Response of STS”, Philip Mirowski y Esther-Mirjam Sent proponen una tabla de regímenes estadounidenses de organización de las ciencias para enumerar los desplazamientos en la distribución del poder económico y político que impacta en el quehacer científico, así como los cambios en las organizaciones que han desempeñado un rol preponderante en el desarrollo de políticas públicas que pautan cómo se financian y se organizan las ciencias. Esta tabla ofrece una panorámica de los temas que hay que tomar en cuenta cuando estudiamos el pasado de las ciencias en Estados Unidos.²⁴

²³ “The globalized privatization regime has already traveled much further down the road of revolutionizing the means of production of science than I think most people are aware. I cannot stress enough that this is not a “technological” phenomenon so much as it is an institutional one.” Mirowski, *ScienceMart*, p. 195.

²⁴ Mirowski y Esther-Mirjam Sent, “The commercialization of science and response to STS” en E. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch and J. Wajcman (eds.), *The Handbook of Science and Technology Studies*, 3a ed., Cambridge, MA, Massachusetts Institute of Technology Press, 2007, pp. 635-91.

Table 26.1

American Regimes of Science Organization in the Twentieth Century

Period, Regime	Corporation Evolving	Government Corporate Policy	Government Science Policy	Science Managers	Higher Education	Pivotal Disciplinary Science
1890 to WWII Captains of erudition regime	1895–1904 great merger movement: Chandlerian firm of “Visible Hand.” Innovation of in-house R&D labs to control competition.	Massive expansion of corporate prerogatives. Corporations become legal agents; patents a major strategic tool. Beginning of antitrust. Employers own research of employees.	Almost nonexistent. NRC formed as trade association lobby for natural sciences. General suspicion of government involvement. NRE fails. Wartime patent bounty.	Charismatic PhD directs corporate labs. Foundation officers run few elite university grant programs (on corporate principles).	Mostly elite liberal arts. Research subordinate to pedagogy. Science not a major priority. Foundations attempt reform. Labs founded.	Chemistry, electrical engineering
WWII to 1980 Cold War regime	M-form, conglomerate diversification. R&D units as semi-autonomous revenue earners (due to military contracts). Regulatory capture.	Corporate powers augmented; antitrust strengthened. Intellectual property (IP) weakened. Military contracts as industrial policy.	Huge expansion of Federal military funding and control. Military promotes basic science to defeat enemies. National labs. NSF as nonmilitary face of “pure” science.	Military primary science managers for research universities, think tanks, national labs, corporate contract research. “Peer review” a secondary institution. Globalized corporate officers control universities, hybrids, contract research organizations, start-ups.	Mass education at expanded research universities. Integrated teaching/research. Produce democratic citizens: academic freedom as political statement. Stock up human capital for those who can pay. Only entrepreneurs are free. Severing of the teaching-research connection.	Physics, operations research, formal logic
1980– ? Globalized privatization regime	Breakdown of Chandlerian model. Retreat from vertical integration, diversification. Corporations outsource R&D, spin off in-house labs.	Transnational trade agreements expand corporate powers to circumvent national control. Antitrust weakened; IP vastly expanded.	Privatization of publicly funded research: Bayh-Dole act, etc. Kill Office of Technology Assessment. Science just one political resource among many.			Biomedicine, genetics, computer science, economics

The Commercialization of Science and the Response of STS

641

Fig. 1: Regímenes estadounidenses de organización de la ciencia en el siglo XX²⁵

Por lo tanto, si nos desplazamos del ámbito de la epistemología de las ciencias del estilo de la historia cultural y de las historias disciplinarias llamadas internalistas o enfocadas en la cultura material de las ciencias, que son historias muy especializadas, encontramos otro universo de narrativas que están centradas en los aspectos legislativos, administrativos y económicos que han regido la producción científica en Estados Unidos durante el siglo XX. En general, a los estudiosos de las ciencias contemporáneas les incumben este tipo de estudios porque reposicionan el eje del análisis sobre problemas tan cruciales como la rendición de cuentas y la transparencia. Para hablar de las ciencias contemporáneas nos vendría muy bien saber usar jerga económica y términos de escuela de negocios, pero quizá tendemos a evitarlo porque es sumamente árido y dista de ser la jerga marxista que nos es más familiar. Como podemos apreciar en la Figura 1, se trata de conceptos como captura regulatoria y política industrial, términos administrativos como organización de investigación por contrato, por ejemplo. No es exagerado decir que los problemas éticos pertinentes para la bioética están asociados con el régimen mismo de producción científica y las reglas del juego que promueven y que arrastran todo, incluyendo las disciplinas que estudian a las ciencias.

²⁵ Mirowski y Sent, *op. cit.*, p. 641.

Como se ha mencionado anteriormente, en el año de 2012, cuando busqué un tema para escribir una tesis, di con la historia de un aparente movimiento de personas que en nombre del activismo en pro de la democracia alegaban estar “abriendo la biología al público” aplicando la “ética hacker” a la “investigación científica”. Encontré cierta fascinación juvenil en la historia de quienes se hacen llamar *biohackers* o *DIY biologists*. Ellos argumentaban querer infundir a las tiranas ciencias de espíritu democrático y participación pública y francamente eso me pareció muy romántico. Por esa razón comencé a leer artículos sobre las promesas de la biología sintética y poco después encontré una cosa llamada “ciencia ciudadana”, que también me pareció encantadora. El origen del título del artículo se deriva del título de un libro publicado en 2011 por Harvard University Press bajo el nombre *Biology is Technology*, escrito por Robert H. Carlson, actual director de la sociedad de capital riesgo Bioeconomy Capital.²⁶ Fue el primer libro de biología sintética que encontré y me fue recomendado por alguien que trabaja actualmente con cronobiología y tiene una startup. Este libro bien puede ser visto como un panfleto publicado por la editorial de Harvard, en el que se pregona el evangelio del sector biotecnológico y sus promesas, alegando el valor potencial de productos que no existen y quizás nunca existirán.

¿Qué sucede cuando en lugar de tomar por ciertas las afirmaciones de los defensores de la ciencia abierta observamos en cambio quiénes son las personas y las organizaciones que otorgan los financiamientos para que los “revolucionarios” puedan instalar sus laboratorios, producir sus aplicaciones y tener acceso a tiempo en medios masivos para propagar su ideología? Descubrimos que en realidad son movimientos que pretenden ser de base pero son propiciados por instituciones como el gobierno de Estados Unidos.²⁷ La posibilidad de que el “triumfo biotecnológico” haya sido primordialmente ideológico se vuelve muy plausible. Después de 1970, los estadounidenses modificaron la narrativa de la ciencia para la defensa y la transformaron en ciencia para la innovación. La carrera tecnológica contra la Unión Soviética se desaceleró, y rubros como el farmacéutico cobraron especial tracción.

Mirowski le dio un giro radical a mi manera de abordar la historia de la biotecnología en el año de 2017 con su artículo “Against citizen science”, publicado en la revista *Aeon*.²⁸ Él tiene una visión valiosa sobre cómo hablar de ciencia en nuestros tiempos porque hace

²⁶ Carlson es descrito en el sitio web de Bioeconomy Capital como “emprendedor, autor, científico. Las «curvas Carlson», que describen el ritmo de mejoramiento de tecnologías biológicas, llevan su nombre. Es el creador de los primeros estimados de ingresos globales biotecnológicos.” <http://www.bioeconomycapital.com/people>, consultado el 12 de junio de 2022.

²⁷ Mirowski, “Against citizen science”, *Aeon* (revista digital), Melbourne, 20 de noviembre de 2017, <https://aeon.co/essays/is-grassroots-citizen-science-a-front-for-big-business>, consultado el 5 de mayo de 2022.

²⁸ *Ídem*.

historia de la economía, historia de las ciencias sociales. El corolario es que en nuestros tiempos, más vale ser precavidos que entusiastas sobre el último grito de la moda científica. Esta visión la ha ido afilando con el paso de los años, particularmente mediante la investigación que derivó en su libro *ScienceMart*, publicado en 2011. Años atrás, en un artículo y una conferencia que dictó más de una vez y llevó por título “La comercialización moderna de la ciencia es una pasarela de esquemas piramidales”, Mirowski propuso de manera provocadora que la biotecnología no es simplemente una derivación de la biología molecular como se ha alegado, como se alegó en el artículo que nos ocupa. Es en cambio un ejemplo modelo de comercialización de las ciencias. El modelo de negocios biotecnológico es particular, no existía antes de 1975 y se perfeccionó a lo largo de la década de 1980. Las historias de éxito biotecnológico en términos de ganancias comienzan con *startups* o empresas incipientes, comúnmente creadas a través de oficinas de transferencia tecnológica por académicos afiliados a una universidad, que han trabajado lo suficiente en un problema, tanto con dinero público como privado, para derivar de él una tecnología comercializable que es atractiva para una gran empresa farmacéutica, es decir, del tamaño de Bayer o de Merck. Sin embargo, no todos los esfuerzos catalogados como trabajo en biotecnología derivan en startups que cobran y se retiran del juego para, si lo desean, invertir tiempo y dinero en otra potencial licitación. Se requiere de mucha creatividad y persuasión para triunfar en el negocio. Esto significa que el sector biotecnológico más que generar ganancias pierde dinero de manera consistente y se mantiene a flote a base de buena publicidad.²⁹

La dimensión que parece estar ausente en la compilación entera de textos que formaron parte del libro del proyecto Bioartefactos es quizás la histórica, la historia del desarrollo de la economía de las ciencias, particularmente en el contexto de Estados Unidos después de 1975 y la creación de departamentos dedicados a la transferencia tecnológica de productos derivados de investigaciones biológicas financiadas con dinero público, con becas del gobierno, bajo el supuesto de que los resultados tendrán un beneficio para los contribuyentes pero que al final resultaron en dinero que se usó para negocios privados y nunca se pagó de vuelta. Esto significa que la comercialización de la ciencia en el modelo estadounidense tiene una larga historia que se remonta al menos a los primeros días de la Fundación Rockefeller, de la creación de la figura de administrador científico que conoce los campos de investigación lo suficientemente bien para predecir cuáles serán las mejores inversiones y las mejores narrativas para enmarcar las propuestas que se van a presentar a los

²⁹ *vid.* Mirowski, “The Modern Commercialization of Science is a Passel of Ponzi Schemes”, *Social Epistemology*, v. 26, 2012, pp. 285-310.

inversionistas. La comercialización de la ciencia en Estados Unidos y los esquemas de negocios que se han puesto en marcha y se han probado en este país son lo que ha terminado por modificar completamente la manera en la cual vemos las ciencias y el conocimiento en general, la manera en la que las universidades operan en la actualidad y la definición misma de conocimiento e información.

Nada de esto es fortuito y se relaciona con el impacto del neoliberalismo en las humanidades incluyendo la filosofía de la ciencia, se asocia con la religión de nuestros tiempos que es supuestamente la secularización pero en realidad es la lealtad a las señales del mercado, la mercantilización de absolutamente todo y la idea de que existen maneras de programar mercados para controlarlos y obtener los resultados que se desean. Todo es profundamente especulativo y hasta oscurantista. En ese aspecto los *marketers*, los economistas y los emprendedores son expertísimos y es posible que en gran parte el interés por la biotecnología resulta de este esfuerzo premeditado por poner los temas en los medios para que la gente los discuta y el dinero fluya, para que la fe en la biotecnología y sus soluciones llegue a los oídos de los inversionistas y de los estudiantes que ultimadamente serán los investigadores que trabajarán en la primera línea del desarrollo de fármacos para las grandes empresas farmacéuticas.

Esto significa que estamos perdiendo de vista algo esencial: estos modelos dañan la calidad de la investigación científica que se hace en las universidades en el mundo entero; dañan la calidad del trabajo de los científicos que dedican su vida a investigar porque se tienen que convertir en personajes atractivos para los inversionistas; dañan a las universidades porque el dinero que se destina a ellas está dictado por las supuestas señales de lo que conviene pagar y en lo que conviene invertir, lo cual afecta a las ciencias y disciplinas que no se dedican a trabajar para las corporaciones de manera no oficial; modifican la manera en la que definimos información y conocimiento y promueven una visión ingenua sobre el poder transformativo de la tecnología. A quienes les conviene que hablemos de revoluciones y grandes cambios que no tan sorpresivamente resultan reafirmar el status quo, es a quienes lucran con esas narrativas. Es útil entonces prestar atención a qué es el modelo biotecnológico y a qué es la ciencia ciudadana desde la historia de las ciencias, pero desde la historia de la comercialización de las ciencias y su corporativización en mancuerna con el gobierno.

Una vez que asentamos esos presupuestos y somos críticos con los postulados de quienes declaran tener la solución para este problema o para este otro, o que declaran tener el poder para reescribir el código genético de algo, entonces estaremos en condiciones de hablar

sobre la deshumanización que esto implica de una manera más localizada y concreta, porque la primera cosa que se ve afectada no es necesariamente la vida en la Tierra, que tememos está en vías de ser artificializada, sino lo que significa ser científico y hacer ciencia desde una perspectiva neoliberal y la visión del mundo que justifica este orden. Luego podríamos preguntarnos qué significa estudiar a las ciencias y sus productos, y lo que significa estudiar una sociedad a la que le son impuestos estos productos como todos los demás productos que nos son impuestos aunque no los queramos. El impacto nocivo está aquí y ahora y lleva décadas estando aquí, pero no es un tema solo ecológico o de salud. Es también un problema relacionado con la manera de ver el conocimiento y de ver la sociedad misma. Es un problema filosófico, lo cual vuelve el asunto hasta irónico porque es fácil perderlo de vista desde las humanidades, cuando pensamos en la naturaleza humana y en lo natural y artificial.

El artículo publicado en 2016 adolece de múltiples problemas por esas omisiones. En general no explica mucho sobre el contexto en el que la biotecnología surgió y los párrafos se perciben algo desvinculados, saltan de una cosa a otra. En primer lugar, faltó explicar qué es la biotecnología como fenómeno institucional y económico y por qué cobró relevancia. Al leer el artículo uno se llevaría la impresión de que la biotecnología es una derivación de la biología molecular y eso es parcialmente cierto, porque fueron las herramientas científicas basadas en la biología molecular las que le dieron base técnica y posibilitaron las cosas que fueron los grandes éxitos de empresas como Genentech y Amgen, que por cierto son probablemente las únicas empresas biotecnológicas que han generado ganancias. Tiene sentido saber sobre biología molecular y sobre la importancia de la física y la revolución epistemológica en las ciencias de la vida, hay algo de razón en ello, pero hay muchas palabras dedicadas a la física, más de las necesarias. El contexto del surgimiento de la biotecnología en Estados Unidos está ausente, a pesar de que en ese punto pude haber arrojado algunos argumentos a partir de mi estudio de la conferencia de Asilomar. Conectar el contexto con el fenómeno era un reto en ese punto de la investigación, porque el argumento iba a ser predominantemente político y yo todavía no lograba verlo de esa forma. Tampoco lograba entonces apreciar cómo la ideología neoliberal ha modificado completamente la manera en la cual percibimos el conocimiento y su producción. No logré comprender las implicaciones de que el llamado triunfo biotecnológico ha sido más bien ideológico, como ya he mencionado, impulsado principalmente por la popularidad mediática del tema y por su presencia en los anaqueles de best sellers de librerías, y no necesariamente porque esté produciendo grandes innovaciones, haciendo mucho dinero o transformando la vida en el planeta de una manera radical. Un tema que vale la pena estudiar es cómo los investigadores que nos ocupan de

temas de ciencias contemporáneas llenamos las líneas vacías con nuestras presuposiciones, que están alimentadas también por productos mediáticos que tienen que ver con ciencia ficción y con cómo nos imaginamos el futuro. No obstante, mientras nosotros estamos imaginándonos todas esas cosas y mientras las personas que trabajan en esas áreas de las ciencias sociales denominadas estudios de las ciencias están urdiendo complejas teorías, lo que está sucediendo es que los modelos que sostenían la producción de conocimiento y protegían la legitimidad de los expertos que trabajan para las universidades y conservan autonomía de opinión y no están vendidos al mejor postor, están desapareciendo porque el dinero está dictando qué se produce y cómo. Quizás lo peor es que nosotros en Filosofía y Letras estamos involucrados en estos mismos temas por puro coletazo, por el simple hecho de que estamos expuestos a ellos porque es lo que nos llega de Estados Unidos, lo que ponen en las librerías, la televisión e internet. Y por eso hablamos de eso. A 5 años de haber publicado el artículo concluyo que ni de cerca se tocó el tema crucial. Lo que sucedió en cambio es que se presentaron tres temas diferentes que no están vinculados de una manera clara ni evidente. Es mi cometido tratar de compensar esas omisiones concluyendo que las ciencias, siendo la biotecnología un modelo ejemplar de este fenómeno, se han visto impactadas por el modelo de producción científica puesto en marcha en universidades estadounidenses, que se han convertido en un frente para las startups y en plataformas para emprendedores, o para que corporaciones inviertan y atraigan a los investigadores más talentosos a convertirse en emprendedores de la “economía del conocimiento”.

Recuerdo bien que en 2012 le pregunté a mi mentor cuál era uno de los temas que él sugeriría que son relevantes para estudiar la historia reciente de las ciencias biológicas y lo que me respondió de manera muy concisa fue: *propiedad privada intangible*. Por múltiples razones que hoy no comprendo, logramos escribir sobre la historia de la biotecnología evadiendo por completo este aspecto fundamental. Hoy pienso que el artículo es un excelente ejemplo de lo que sucede cuando usamos enfoques promovidos por lo que llaman estudios sociales de las ciencias, que dan prioridad a detalles asociados con la producción del conocimiento y la epistemología de las ciencias o la “historia cultural” de las ciencias, en vez de ir al corazón del asunto que tiene que ver con los regímenes de producción de las ciencias y la popularidad de ideas como la “economía del conocimiento”. Creo que no es fortuito que hayamos divergido tanto del punto esencial que correspondía exponer.

En el libro colectivo predominan los estudios que privilegian un enfoque centrado en la ontología, epistemología y axiología de los “bioartefectos”, la evaluación de riesgos y beneficios y la bioética, muchas veces dándole el mayor peso a la discusión sobre los límites

entre lo natural y artificial. Todo esto es importante, pero toca de manera muy tangencial los rasgos particulares de la historia de los bioartefectos, entendidos por mí como la caja de herramientas producidas por la biología molecular que fueron utilizadas para la ingeniería genética y fueron empacadas como “biotecnología” para ser promovidas por quienes buscan inversionistas para este sector. La filósofa española Ana Cuevas Badallo, autora de uno de los artículos más influyentes para quienes cultivan la línea de investigación filosófica centrada en el concepto de bioartefecto, hace la distinción entre biotecnología “tradicional” y “contemporánea” y la considera una de las “viejas realidades” con las que vivimos. Su definición de biotecnología es de libro de texto de ingeniería: “la aplicación de organismos, componentes o sistemas biológicos para la obtención de bienes y servicios”.³⁰ Como se evidencia en el artículo, existe una tendencia a normalizar fenómenos recientes y enmarcarlos como si formaran parte de una práctica que ha existido desde siempre, como si nada esencial hubiera cambiado. Un ejemplo extremo de esta manera de pensar es la afirmación de Bruno Latour de que “nunca hemos sido modernos”, pero ese es otro tema. El referente principal de Badallo es el trabajo de Peter Kroes en la Universidad de Delft, quien en 2012 publicó un libro titulado *Artefactos técnicos: Creaciones de la mente y materia. Una filosofía de diseño ingenieril* a través de la editorial Springer.³¹ En tiempos de la comercialización de la ciencia es necesaria una especie de “contrahistoriografía” que desnude los sesgos y permita desmitificar enfoques como el de Kroes, que desembocan en complejas teorías sobre instrumentos que existen en espacios en los que la política es una teoría más en vez de un anclaje a la realidad histórica. O bien son historias de la cultura material de las ciencias y en catálogos de experimentos e instrumentos, como las que escribe alguien como el alemán Hans-Jörg Rheinberger. Una vez más, son estudios útiles y valiosos pero tienen el rasgo de que no confiesan su militancia. Cuando las reproducimos desde un país como México, como sucedió en 2016, nos hacemos un flaco favor.

El régimen de producción científica que produjo esa caja de herramientas que pueden ser conceptualizadas como bioartefectos es distinto del régimen de producción que lo explotó con fines comerciales -es de hecho irreproducible, sin importar cuánto dinero se invierta en él- y el cambio obedeció a desplazamientos en la economía estadounidense después de la década de 1970 y la necesidad de encontrar nichos de negocio en una época en la que el

³⁰ Ana Cuevas Badallo, “Los bioartefectos: viejas realidades que plantean nuevos problemas en la adscripción funcional”, *Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, n. 11, Sevilla, 2008, pp. 71-96.

³¹ Peter Kroes, *Technical Artefacts: Creations of Mind and Matter. A Philosophy of Engineering Design*, Springer Netherlands, 2012, 206 p.

financiamiento estatal de las ciencias “comenzó a vacilar”, de acuerdo con Nicolas Rasmussen.³² Si bien en mi artículo tuve el cometido de proporcionar una explicación muy incipiente y básica de cómo esas herramientas surgieron y el papel de las ciencias físicas en ese proceso, mi énfasis en la genealogía del concepto de biotecnología y la historia de la biología molecular le dio una importancia exagerada a aspectos epistemológicos e ignoró por completo una dimensión de análisis que es mucho más efectiva para otorgar una explicación más simple y directa sobre la historia de los bioartefactos. Autores como Mirowski y Rasmussen proporcionan directrices generales para explicar cuáles son los elementos que conforman la ideología que cobró tracción durante la década de 1980 en Estados Unidos y justificó un régimen de producción científica que privilegió la privatización y la transformación de biólogos en un híbrido entre científicos, administradores y empresarios, es decir, las condiciones que transformaron las ciencias biológicas de manera permanente y le dieron forma a las políticas científicas que regulan el loquísimo negocio al que mi mentor se refería cuando me hablaba de la propiedad privada intangible. Me refiero en particular a los libros *ScienceMart: Privatizing American Science* y *Gene Jockeys: Life Science and the Rise of Biotech Enterprise*.

³² Nicolas Rasmussen, *Gene Jockeys: Life Science and the Rise of Biotech Enterprise*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2014, 264 p.

Otras perspectivas historiográficas para estudiar la historia de la biotecnología

Las implicaciones de decir “biotecnología es biología” consisten en que las ciencias biológicas o “la biología” en general se han moldeado al modelo biotecnológico, pero este cambio ha sido impulsado no por los avances tecnológicos en sí sino por la decisión deliberada de adoptar un modelo de producción científica jerárquico, similar al de una empresa, enfocado en la comercialización de productos confeccionados en laboratorios universitarios. Este cambio tiene una historia que se remonta a la década de 1970 en Estados Unidos y apunta particularmente a las estrategias que se esgrimieron para enfrentar la crisis de 1973 y el fin de la prosperidad estadounidense de la posguerra. El evento crucial en esta historia tiene que ver con cambios legislativos encaminados a reorganizar la labor de científicos académicos con fines comerciales. Estos cambios no fueron aceptados sin objeción y se convirtieron en causas políticas que contrapusieron a los privatizadores y a los defensores del patrocinio estatal, quienes debatieron sobre la importancia de conservar el estatus público de los derivados de investigaciones financiadas con dinero público. Para cambiar la mentalidad sobre qué hacen los científicos y cómo se usa la ciencia, se requirieron algunos engaños y triquiñuelas. Apenas en 2021, el blog de *The Intercept* hizo referencia a uno de los hechos más representativos de este cambio, la promulgación de la Ley Bayh-Dole que legalizó la comercialización de productos provenientes de la investigación científica públicamente financiada, llamándolo “The Great American Science Heist”.³³ Esta decisión, en medio del cambio en el modelo de producción científica incentivado por la urgencia por crear nuevos productos y nuevos mercados y subsanar los problemas asociados con la crisis, fue un parteaguas en la historia de las ciencias contemporáneas. Y es que lo que se ha descrito como un paso necesario e inevitable en la historia de la tecnología, en particular en la historia de la biotecnología y las ciencias biológicas, o lo que algunos académicos han denominado “tecnociencia”, es en realidad el producto de un esfuerzo deliberado por capitalizar y encontrar salidas comerciales a partir de la gran inversión en ciencias propia de Estados Unidos, que fue impulsada en un principio por la premura asociada con desarrollar tecnologías para la guerra, durante la Segunda Guerra Mundial, y fue posteriormente sostenida en nombre de la “seguridad nacional” en un mundo bajo la constante amenaza soviética, la potencia científica con la cual Estados Unidos entabló una competencia justificada en nombre de la defensa de la libertad y la democracia en el mundo.

³³ Alexander Zaitchik, “The Great American Science Heist”, *The Intercept*, agosto 29 de 2021.

Así era la proyección propagandística de la ciencia estadounidense hacia el exterior, pero en casa el panorama era distinto, particularmente ante una crisis global como la de 1973. En la agenda prioritaria del gobierno de Estados Unidos, el énfasis en tecnologías de guerra se desplazó al ámbito de la producción industrial de bienes para el consumo general, cobrando relevancia particular ciencias como la microbiología y la bioquímica en el ámbito del desarrollo de fármacos. En algún punto se convirtió en una carrera por encontrar antes que otros el siguiente producto estrella, los científicos encontraron oportunidades para enriquecerse y ganar notoriedad y el ambiente, marcado por la presencia de inversionistas de capital de riesgo, empresas farmacéuticas en busca de oportunidades de negocio, transformaron las ciencias biológicas de manera irreversible, creando efectos en el financiamiento de las ciencias en general. Los científicos se volvieron emprendedores tratando de venderse al mejor postor.

Como explica Rasmussen en *Gene Jockeys*, una carrera comercial por pegarle a un blanco que pudiera generar las más grandes ganancias para los científicos implicados fue lo que definió la selección de problemas que eligieron resolver. De esta manera la biotecnología fue empujada, forzada, a crear oportunidades comerciales a partir de una fuente que rápidamente se agotó: la biología molecular. Bajo esta luz, la conferencia de Asilomar de 1975 que produjo lineamientos de los Institutos Nacionales de la Salud y la autorregulación de los científicos que trabajaban con ADN recombinante tuvo el cometido principal de eliminar las restricciones que le pudieran ser impuestas a esta tecnología que, aunque parecía peligrosa, ofrecía promesas nunca antes vistas para resolver los problemas tanto de enfermos en busca de terapias como de empresarios en busca de oportunidades de negocio.³⁴ El miedo se transformó en entusiasmo, el entusiasmo en algún punto dejó de estar justificado, lo cual creó un clima propicio para la especulación y la devaluación de estándares de lo que cuenta como una herramienta de investigación que puede ser vendida o patentada. Ese es el punto en el cual nos encontramos hoy, en el que la revista *Nature Biotechnology* nos promete que es posible extender la explosión de innovaciones que ocurrió después del ADN recombinante con pura voluntad y dinero, y cuando las expectativas no se cumplen, siempre habrá una nueva startup que retome las mismas promesas y en caso de que sea exitosa, se venda a la empresa farmacéutica que la pague mejor. Mientras tanto, el futuro prometido por la biotecnología, en el que los científicos subsanan el hambre, el cáncer, la contaminación, la

³⁴ Rasmussen, *op. cit.* p. 188.

pobreza y las enfermedades infecciosas, parece ser una broma de mal gusto considerando cómo se vive en la Tierra en 2022.

Finalmente, hay dos aspectos básicos que deseo destacar a partir del libro *Life as Surplus* de la historiadora estadounidense Melinda Cooper: el primero es que definir el punto que separa la vida de una invención técnica se convierte con frecuencia en un asunto de artimañas legales en servicio de quienes se interesan en monetizar lo intangible, porque es en el terreno de la ley de protección a la propiedad que se determina qué se puede comprar y vender, incluso a qué se le puede comprar un seguro.³⁵ El segundo aspecto es que, lejos de hablar de este fenómeno de comercialización de la vida en términos abstractos como si se tratara de algo que sucede en el mundo entero y constituye una etapa más en el continuo de la “milenaria historia” de la biotecnología, ha sido en realidad un modelo de producción concebido e implementado en Estados Unidos en un periodo marcado por el poderío económico y el dominio militar de este país. Esto se asocia con aspectos mencionados tanto en Mirowski como en Rasmussen: en Mirowski encontramos la importancia de observar con atención las peculiaridades del régimen de producción científica que estamos estudiando, porque hablar en términos laxos de comercialización de las ciencias es apenas el comienzo de la historia. Con frecuencia aplicamos la lógica del régimen de la Guerra Fría, marcado por la inversión militar sobre las ciencias a acontecimientos que sucedieron durante la década de 1980 y como consecuencia evadimos explicaciones que serían más atinadas. En cada momento las fuerzas principales que le dan forma a los regímenes de producción científica se desplazan y desempeñan un rol distinto: es una danza entre el gobierno, las corporaciones y las instituciones educativas, al igual que las organizaciones internacionales sin fines de lucro.

³⁵ Melinda Cooper, *Life as Surplus: Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*, Seattle, University of Washington Press, 2011, p. 4

Estudiar la historia de la biotecnología

La intención con la que se escribió este informe fue la de ensayar una reflexión teórica y metodológica en torno a los problemas propios de estudiar la historiografía de la biotecnología y de emprender la escritura de una historia de la biotecnología. En un ánimo similar al que inspiró el artículo publicado en 2016, el objetivo ha sido proponer una valoración de algunas de las ideas y premisas que subyacen a textos que versan sobre los orígenes y el desarrollo de la biotecnología. Mis preocupaciones siguen enfocadas en el mismo problema: *dónde y cómo encontrar la historia de la biotecnología*. Sin embargo, en esta ocasión la perspectiva que privilegié se alejó considerablemente de la que orientó la escritura del artículo. En primer lugar, el predominio dado a la historia cultural fue criticado en este informe para en cambio enfatizar en la importancia de explorar ese espacio indeterminado en el que se traslapan la historia de las ciencias, la historia de las ideas y la teoría de la historia. En ese sentido, he repetido que la obra de Philip Mirowski es ejemplar para conocer las tendencias historiográficas, sus editoriales y sus autores estrella, conocer las afiliaciones políticas de esos autores estrella, determinar de dónde vienen ideas y conceptos que se han repetido tanto que se toman por ciertos, porque de esa manera se les puede restar importancia y se pueden encontrar alternativas. Como estudiante de licenciatura, me posicioné en un lugar intermedio entre la tradición de historia de la ciencia en México propia del colegio de Historia de la Facultad de Filosofía y Letras y la filosofía de la ciencia del estilo del Programa Universitario de Bioética. El resto del enfoque lo fui construyendo al entrar en internet y caer en un agujero sin fin del cual es difícil salir, buscando un “hilo” que no lograba encontrar. Para finalizar el informe deseo agregar algunas notas que me parecen pertinentes sobre los múltiples problemas relacionados con hacer historia de la biotecnología desde México.

El primer punto se refiere a lo que llamo *los aspectos contenciosos*. La biotecnología está imbricada con temas controversiales como el consumo de transgénicos, la eugenesia, la producción de vida artificial, movimientos transhumanistas, deshumanización y tecnodistopías, entre otros. Estos temas coexisten en una zona indefinida donde ficción e historia se entremezclan para recrearse en reflexiones filosóficas. Las ciencias contemporáneas son acusadas de ser presa de una tiranía de los expertos, que es la tiranía de las corporaciones y algunos creen que la solución es liberar al conocimiento o como dice Antonio Lafuente, ser “todos sabios”. Los aspectos contenciosos están profundamente conectados con las emociones que las actividades científicas que consideramos nobles o

reprobables nos provocan. Esto se combina con las ficciones, tanto las literarias como las que encontramos en la revista *Nature*, que acompañan a las ciencias contemporáneas y que forman parte también de su publicidad: en el caso de la biotecnología, por ser un área de inversión atractiva y por su alta presencia mediática suscita debates acalorados sobre temas que no necesariamente tienen correspondencia con la realidad del sector, o bien pasan por alto aspectos muy urgentes que deberían ser parte de la discusión pública, particularmente los relacionados con temas económicos y de administración.

El segundo punto lo denomino *los sesgos invisibles* y se refiere en particular a los discursos que encontramos en la literatura disponible sobre historia y filosofía de las ciencias. Tiene que ver con la necesidad de preguntarse por qué los libros y artículos más afamados privilegian ciertos temas y teorías por encima de otros, por un lado, y con cuáles son negligentes y por qué. Esto es crucial porque los productos de divulgación científica, los encantadores libros de atractivas portadas sobre ciencia, escritos por periodistas con plumas impecables, la historiografía de las ciencias misma, así como la de la biotecnología, bien pueden ser problematizados como elementos que conforman el órgano propagandístico de La Ciencia, marca registrada. Es por eso que es importante visibilizar el tratamiento platónico propio de enfoques ontológicos y epistemológicos que pretenden pasar por alto el hecho de que las decisiones que los científicos toman y que moldean los campos de estudio que se suelen ver como una progresión acumulativa lógica y necesaria, son en cambio el producto de la dinámica natural de cualquier otra actividad lucrativa.

El tercer aspecto se refiere a la abundancia y disponibilidad de fuentes. Gracias a internet accedemos a una cantidad inmanejable de fuentes sobre ciencias contemporáneas, pero determinar quiénes son sus autores, qué traman, qué tanta calidad tiene su trabajo, qué vale la pena leer primero, con qué tenemos que contrastar, incluso a quién le podemos creer, toma demasiado tiempo. No es fortuito que la vía que se elige con frecuencia es la de usar un conjunto reducido de conceptos para aproximarse a la historia de las ciencias, pues esto ayuda a reducir el desgaste. Parece que la historia emula a las ciencias en este sentido, ahora que los historiadores publican *papers* en vez de libros. Pero esos mismos artículos que referencian otros artículos se van apilando poco a poco y crean más ruido y caos para quien está buscando una perspectiva más total. La verdad es que domina una sensación de perplejidad de la cual solo los historiadores más talentosos y aguzados pueden salvarnos.

El cuarto punto lo resumo como *la brecha lingüística* y está íntimamente relacionado con lo que he llamado el órgano propagandístico de La Ciencia®. Detrás de cualquiera de nuestras búsquedas en Google Académico opera un consorcio de empresas que publican y

analizan las estadísticas de publicaciones escritas en la lingua franca de las ciencias, que es la misma lengua que se habla en Estados Unidos. Rastrear citas, condecoran a los investigadores populares, pautan marcadores de relevancia e innovación, brindan productos informáticos que auxilian a los académicos en sus investigaciones, tales como administradores de citas y fuentes bibliográficas. Este oligopolio monolingüístico funciona como un panóptico de la producción científica y académica dentro y fuera de Estados Unidos. Por otro lado, la brecha lingüística de la que hablo conlleva un posicionamiento político, una dinámica de exclusión que se trata de disfrazar de inclusión pero que en realidad es americanización, asimilación, aculturación y blanquificación. Adicionalmente tenemos la presencia de editoriales como Routledge y Springer, que publican manuales y compendios que no se suelen traducir al español. Hay una agenda que está dictada por estas grandes empresas que publican manuales y en el proceso validan, legitiman autores, temas y enfoques, determinan el estado de la cuestión en algún tema, pautan áreas de interés para la investigación. Recordemos el libro de Peter Kroes sobre artefactos técnicos, publicado por Springer. A la par de la brecha lingüística encontramos que los repositorios e índices de publicaciones en español sufren de una terrible fragmentación y tienden a ser de baja calidad.

Cierro con las que pienso son buenas razones para estudiar la historia de la biotecnología de todas formas. Como ya hemos visto, pensar en la historia de la biotecnología ayuda a pensar en los problemas propios de la historiografía de las ciencias contemporáneas en general. En un mismo fenómeno encontramos los elementos propios de un cambio de régimen de producción científica. La biotecnología fue una de las áreas de experimentación en la comercialización de las ciencias, podríamos decir, lo cual también la vuelve un objeto de estudio útil. Estudiar la biotecnología enmarcada en el cambio de régimen de producción científica es un muy buen punto de partida para profundizar en lo que la ciencia es en nuestros tiempos. Sin embargo, pretender estudiar estos fenómenos es avasallador. Encontrar un posicionamiento crítico en medio del ruido mediático es difícil, sobre todo en estos tiempos de supuesta apertura que enmascaran un régimen peligrosamente autoritario. Cuando está de moda ser rebelde, nadie lo es realmente, o los rebeldes son aplastados por los reaccionarios rebeldes. Se recomienda paciencia y no concluir nada prematuramente. Vivimos en tiempos oscuros, la paranoia está justificada y es deseable no perderla.

Bibliografía

Fuentes primarias

Guevara Fefer, Rafael y Estefanía Blancas García, “Biotecnología es biología. La revolución que nos dio bioartefectos fue molecular” en Jorge Linares y Elena Arriaga (coords.) *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, pp. 157-179.

Fuentes secundarias

Libros y artículos

Baltimore, David et al., “A prudent path forward for genomic engineering and germline gene modification”, *Science*, v. 348, n. 6230, 19 de marzo de 2015, pp. 36-8.

Blancas García, Estefanía, “Algunas vías para rastrear la genealogía de la conferencia de Asilomar de 1975”, *Diacronías: Revista de Divulgación Histórica*, Ciudad de México, año 9, n. 15, junio de 2016, pp. 127-37.

Carson, Rachel, *Silent Spring*, Cambridge, Houghton Mifflin Company Boston, 1962, 368 p.

Carlson, Robert H., *Biology is Technology: The Promise, Peril, and New Business of Engineering Life*, Cambridge, Harvard University Press, 2011, 288 p.

Cooper, Melinda E., *Life as Surplus: Biotechnology and Capitalism in the Neoliberal Era*, Seattle, University of Washington Press, 2011, 208 p.

Cuevas Badallo, Ana, “Los bioartefectos: viejas realidades que plantean nuevos problemas en la adscripción funcional”, *Argumentos de razón técnica: Revista española de ciencia, tecnología y sociedad, y filosofía de la tecnología*, n. 11, Sevilla, 2008, pp. 71-96.

Delfanti, Alessandro, *Biohackers: The Politics of Open Science*, Londres, Pluto Press, 2013, 158 p.

_____, *The Warehouse: Workers and Robots at Amazon*, Nueva York Pluto Press, 2021, 192 p.

IN403613 Informe Final 2013, 24 de abril de 2018, recurso electrónico, https://dgapa.unam.mx/images/papiit/transparencia/proyxanio/2013/IN403613_Informe_Final_2013.p

Kroes, Peter, *Technical Artefacts: Creations of Mind and Matter. A Philosophy of Engineering Design*, Springer Netherlands, 2012, 206 p.

Leopold, Aldo, *A Sand County Almanac*, Nueva York, Oxford University Press, 1949, 240 p.

Linares, Jorge y Elena Arriaga (coords.), *Aproximaciones interdisciplinarias a la bioartefactualidad*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2016, 452 p.

Mirowski, Philip, “Against citizen science”, *Aeon* (revista digital), Melbourne, 20 de noviembre de 2017, <https://aeon.co/essays/is-grassroots-citizen-science-a-front-for-big-business>, consultado el 5 de mayo de 2022.

_____, “The Modern Commercialization of Science is a Passel of Ponzi Schemes”, *Social Epistemology*, v. 26, 2012, pp. 285-310.

_____ y Esther Sent, “The commercialization of science and response to STS” en E. Hackett, O. Amsterdamska, M. Lynch and J. Wajcman (eds.), *The Handbook of Science and Technology Studies*, 3a ed., Cambridge, MA, Massachusetts Institute of Technology Press, 2007, pp. 635-691.

_____ y Dieter Plehwe, *The Road from Mont Pèlerin: The Making of the Neoliberal Thought Collective*, Cambridge, Harvard University Press, 2015, 496 p.

_____, *Against Mechanism: Protecting Economics from Science*, Lanham, Rowman & Littlefield Publishers, 1992, 264 p.

_____, *Machine Dreams: Economics Becomes a Cyborg Science*, Cambridge, Cambridge University Press, 2002, 655 p.

_____, *More Heat Than Light: Economics as Social Physics, Physics as Nature's Economics*, Cambridge, Cambridge University Press, 1989, 450 p.

_____, *Nunca dejes que una crisis te gane la partida: ¿Cómo ha conseguido el neoliberalismo, responsable de la crisis, salir indemne de la misma?*, trad. de Blanca Ribera de Madariaga, Barcelona, Deusto, 2014, 592 p.

_____, *Science-Mart: Privatizing American Science*, Cambridge, MA, Harvard University Press, 2011, 464 p.

Pennisi, Elizabeth, “Synthetic Genome Brings New Life to Bacterium”, *Science*, v. 328, n. 598, 21 de mayo de 2010, pp. 958-59.

Rasmussen, Nicolas, *Gene Jockeys: Life Science and the Rise of Biotech Enterprise*, Baltimore, Johns Hopkins University Press, 2014, 264 p.

Rheinberger, Hans-Jörg, *An Epistemology of the Concrete: Twentieth-Century Histories of Life*, Durham, Duke University Press, 2010, 352 p.

Wade, Nicholas, “The origin of COVID: Did people or nature open Pandora’s box at Wuhan?”, blog de *Bulletin of the Atomic Scientists*, 5 de mayo de 2021, <https://thebulletin.org/2021/05/the-origin-of-covid-did-people-or-nature-open-pandoras-box-at-wuhan/>

Zaitchik, Alexander, “The Great American Science Heist”, blog *The Intercept*, agosto 29 de 2021, <https://theintercept.com/2021/08/29/bayh-dole-act-public-science-patents/>, consultado el 5 de mayo de 2022.

“Backstage Decisions, Front-stage Experts”, serie de entradas en el blog *Free Radicals*, publicadas entre el 19 de mayo y el 6 de abril de 2021, <https://freerads.org/tag/backstage-decisions-front-stage-experts/>, consultado el 31 de mayo de 2022.

“El hombre crea la primera célula artificial”, sitio web de Radio Francia Internacional, 22 de mayo de 2010, <https://www.rfi.fr/es/ciencia/20100521-el-hombre-crea-la-primera-celula-artificial>

“Nosotros”, sitio web del Programa Universitario de Bioética de la UNAM, <https://www.bioetica.unam.mx/nosotros#historia>, consultado el 1 de junio de 2022.

“People”, sitio web de Bioeconomy Capital, <http://www.bioeconomycapital.com/people>, consultado el 12 de junio de 2022.

“Vida sintética: comienzo de un viaje hacia lo desconocido”, sitio web de Deutsche Welle, 22 de mayo de 2010, <https://www.dw.com/es/vida-sint%C3%A9tica-comienzo-de-un-viaje-hacia-lo-desconocido/a-5600419>

Fuentes audiovisuales

Mirowski, Philip, “Platform capitalism as the next stage of science organization”, conferencia virtual organizada por el Instituto Max Planck para la Historia de la Ciencia, enero de 2022, <https://www.mpiwg-berlin.mpg.de/video/science-worth-trusting-platform-capitalism-reorganizes-science-future>, consultado el 5 de mayo de 2022.

_____, “The Modern Commercialization of Science is a Passel of Ponzi Schemes”, conferencia organizada por la Universidad de Sídney, 2012, https://www.youtube.com/watch?v=iN8gnbqOoMk&ab_channel=oiuiou, consultado el 5 de mayo de 2022.



BIOTECNOLOGÍA ES BIOLOGÍA. LA REVOLUCIÓN QUE NOS DIO BIOARTEFACTOS FUE MOLECULAR¹

Estefanía Blancas García*

Rafael Guevara Fefer**

La historia de la biotecnología se ha confundido con una historia universal de los “usos de la vida”.² En esta confusión subyace un problema teleológico: se asume que la tarea es reconstruir el largo camino que llevó a la humanidad de la agricultura a la ingeniería genética. Tal enfoque puede reunir en el mismo recuento, por ejemplo, la producción de cerveza en Mesopotamia hace siete mil años, el uso de chinampas en el siglo XII en Tenochtitlan, la publicación de *Micrographia* del científico inglés Robert Hooke en el siglo XVII y el proyecto Genoma Humano en el siglo XXI. Sin embargo, si se acepta que la historia de la biotecnología se remonta a Sumeria y que “biología es tecnología” como propone el estadounidense Robert Carlson,³ se corre el riesgo de asumir que la

* Facultad de Filosofía y Letras-UNAM.

** Facultad de Filosofía y Letras-UNAM.

¹ Todas las citas extraídas de textos en otros idiomas fueron traducidas al español por los autores. Daniel Delgado, Eduardo Gorostiza, Uriel Urquiza y Ernesto Vargas proporcionaron valiosas observaciones en torno a la definición de bioartefacto propuesta al final de este artículo.

² Es una confusión paradójica dado que la primera gran historia de la biotecnología, *The Uses of Life*, fue escrita con un enfoque de historia de las ciencias. Su autor, Robert Bud, sostiene que los orígenes de la biotecnología se encuentran en la química y la microbiología del siglo XIX; en la introducción, Bud señala que Bruno Latour escribió en *Pasteur* que las medidas higiénicas asociadas con Pasteur tienen en realidad una historia más vieja. De tal reflexión deriva que la biotecnología es más que el resultado de las aplicaciones de la ciencia *pura*. No obstante, mientras se niega a escribir una historia del progreso de las ciencias, escribe una historia del progreso de la industria biotecnológica. Robert Bud, *The Uses of Life: A History of Biotechnology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994.

³ Robert H. Carlson, *Biology is Technology: The Promise, Peril and Business of Engineering Life*, Cambridge, Harvard University Press, 2010. En esta introducción a la biología sintética, escrita por uno de sus promotores, se presenta el proyecto mecanicista de convertir a la biología en el estudio de sistemas biológicos basado en modelado, control, predicción y simulación.





biotecnología del siglo XXI sólo ocupa un renglón más en la larga lista de usos de la vida, y que el reduccionismo que implica es una consecuencia necesaria del desarrollo de las ciencias biológicas.

Como se enuncia en el título y de manera análoga a la hipótesis de Rob Carlson, en este capítulo se sostendrá que *biotecnología es biología*. El objetivo es desplazar el encuadre a la historia de la ciencia para explicar el apogeo de la biotecnología a partir de la revolución molecular en la biología y las herramientas que produjo. Tal revolución se configuró en un contexto bélico a partir de la década de 1930, principalmente en Gran Bretaña, Alemania, Francia y Estados Unidos.

Antes de la Segunda Guerra Mundial, el estudio de la biología al nivel molecular se apuntaló en la aplicación del “poder de la física” a problemas biológicos que habían sido abordados principalmente desde una perspectiva química.⁴ Durante la posguerra, algunos físicos que trabajaban con técnicas de radiología y cristalografía se interesaron en las estructuras moleculares y, de acuerdo con el recuento canónico, se preguntaron si era posible una biología cuántica, motivados por la invitación que Erwin Schrödinger les extendió en 1944 en su libro *¿Qué es la vida?*⁵

En la revolución molecular influyeron factores como el programa de transferencia tecnológica de la Fundación Rockefeller, así como el éxodo de físicos a la biología después de 1945. A partir de la década de 1950, los elementos que contribuyeron significativamente al surgimiento de la biotecnología molecular fueron el descubrimiento de la estructura del ADN, así como el desciframiento

⁴ Pnina Abir-Am, “The Discourse of Physical Power and Biological Knowledge in the 1930s: A Reappraisal of the Rockefeller Foundation’s ‘Policy’ in Molecular Biology”, *Social Studies of Science* 3 (1982): 341-382. DOI: 10.1177/030631282012003001.

⁵ “En *¿Qué es la vida?* Schrödinger pregonó el nacimiento de una nueva época en la investigación biológica a sus colegas físicos, cuyo conocimiento de la biología generalmente estaba restringido a viejos conocimientos tradicionales de botánica y zoología. El hecho de que uno de los inventores de la mecánica cuántica preguntara qué es la vida, los confrontaba con un problema fundamental que requeriría de su temple. Dado que muchos de estos físicos estaban sufriendo el malestar profesional que sobrevino recién comenzó la posguerra, tenían la disposición para dirigir sus esfuerzos a una nueva frontera.” Gunther Stent, “That Was the Molecular Biology That Was”, *Science* 3826 (1968), p. 390. DOI: 10.1126/science.160.3826.390.





del código genético y la promoción de usos pacíficos de radioisótopos al término de la Segunda Guerra Mundial, particularmente la investigación biomédica enfocada en el cáncer.

EL CONCEPTO DE BIOTECNOLOGÍA ANTES DE LA TECNOLOGÍA DE ADN RECOMBINANTE

Es posible argumentar que la historia de la industria biotecnológica comenzó en 1972, con la fundación de Cetus, la primera corporación expresamente denominada biotecnológica, establecida en Berkeley, California.⁶ No obstante, si biotecnología se define como la explotación de procesos biológicos y químicos dirigidos a obtener productos deseados, entonces la historia de la domesticación del maíz, de la fermentación de uvas y leche para la obtención de vinos y quesos, o la historia del descubrimiento de las vacunas son episodios de una gran historia de la industria biotecnológica, incluso podría argüirse que todos los anteriores son episodios de esa misma historia.

Cuando se rastrean los usos de la palabra biotecnología previos a la década de 1970 se encuentra que describía técnicas de aplicación industrial de procesos químicos llevados a cabo por plantas, animales y microorganismos. Para el ingeniero agrícola húngaro Károly Ereky, en 1919 “el betabel azucarero y el ganado podían ser concebidos como máquinas biotecnológicas”.⁷ En un

⁶ Hans-Jörg Rheinberger, “Recent Science and its Exploration: the Case of Molecular Biology”, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 1 (2009), p. 10. DOI: 10.1016/j.shpsc.2008.12.002. “[...] [Eric] Vettel ubica los orígenes de la biotecnología molecular que, por un lado, dieron como resultado una total realineación de la relación entre investigación básica y aplicada y con ello, un cambio total en la autopercepción académica de una nueva generación de biocientíficos; por otro lado, llevó a una igualmente total realineación entre la academia y la industria, cuyo ejemplo es Cetus, la primera compañía biotecnológica en la historia, fundada en Berkeley en 1972.” Sin embargo, la primera empresa biotecnológica basada en ADN recombinante fue Genentech, fundada en 1976.

⁷ Robert Bud, “Janus-Faced Biotechnology: An Historical Perspective”, *Trends in Biotechnology* 7 (1989), pp. 230-233. DOI: 10.1016/0167-7799(89)90012-7. En un artículo





documento de 1925 hay referencias a los trabajos del Buró de Biotecnología de Leeds, Inglaterra, donde el inglés Bernard Dixon confirma, en un artículo de *New Scientist*, que se dedicó desde 1920 a encontrar las aplicaciones prácticas de los microorganismos.⁸

Biotecnología también significó aplicar la ingeniería a la biología humana, en el sentido llano de diseño y mejoramiento, desde una perspectiva ecológica. En 1947, dos ingenieros de la Universidad de California en Los Ángeles publicaron en la revista *Science* un artículo titulado “Biotechnology: A New Fundamental in the Training of Engineer”.⁹ En el texto abordaron un hecho imposible de ignorar: los ingenieros se ocupan también de las personas. La ingeniería que Taylor y Boelter imaginaron, comprendería el estudio, diseño y control de la interacción de los humanos, entes biológicos, con los aspectos relativos a la radiación, la atmósfera, la temperatura, las bacterias y la química del ambiente, así como también la relación de las personas con su entorno socioeconómico.

de 1989 previo a su libro *The Uses of Life*, Robert Bud parte de un modelo histórico de la biotecnología que él llama “popular” y que comprende del siglo XIX al ADN recombinante. Bud sostiene que si bien el concepto de biotécnica (biotechnic) fue utilizado en el Politécnico de Copenhague en 1913 cuando se conformó el departamento de Química biotécnica, fue el ingeniero húngaro Károly Ereky quien acuñó el término “biotecnología” en el libro de 1919, *Biotechnologie der Fleisch, Fett, und Milcherzeugung im landwirtschaftlichen Grossbetriebe* (*Biotecnología de la producción de carne, grasa y leche en ganadería a gran escala*) “[Ereky] basó su análisis en la definición cada vez más química de animales y plantas. Éstos podían ser considerados máquinas que convierten materias primas, como el aire y el agua, en productos útiles.”

⁸ American Society of Parasitologists, “Society Proceedings”, *Journal of Parasitology* 4 (1925), p 218. El documento hace referencia a nematodos que dañan la piel de las ovejas y que eran estudiados en el Buró de Biotecnología de Leeds, Inglaterra. El escritor inglés Bernard Dixon refuta a los autores del *Second Barnhart Dictionary of New English*, quienes propusieron que “biotechnology” era un neologismo que había emergido en 1976, rescatando del olvido al Buró de Biotecnología de Leeds para cumplir con su labor patriótica: “Pienso que todos hemos sido embaucados. Lo que ahora necesitamos saber es: ¿quién secuestró este venerable término, fingió que era nuevo y así le quitó a la ciudad de Leeds el derecho a reclamar su contribución a la revolución biotecnológica?”. Bernard Dixon, “Putting the ‘Bio’ in Biotech”, *New Scientist* 1441 (1985), p. 38.

⁹ Craig L. Taylor y Llewellyn M. K. Boelter, “Biotechnology: A New Fundamental in the Training of Engineers”, *Science* 2722 (1947), pp. 217-219. DOI: 10.1126/science.105.2722.217.





Los campos de estudio que proponían abordar con un enfoque de ingeniería eran acústica, aeronáutica, arquitectura, tecnología de alimentos, iluminación, diseño industrial, producción y fabricación (*sic*), higiene industrial, manejo de personal, seguridad, ventas, salud pública, ventilación y aire acondicionado. El programa que denominaron *biotécnico*:

[Ampliaría] la base educativa de la ingeniería para incluir estudios humanístico-sociales [que] se enfocan en una mejor comprensión de los valores sociales, económicos y culturales, y en el desarrollo de conceptos éticos y morales esenciales para el bienestar público.¹⁰

Taylor y Boelter observaron que fenómenos como la interdependencia entre humanos y máquinas y la extensión progresiva del control artificial del entorno humano planteaban la necesidad de analizar las características y necesidades de los humanos e inaugurar una fase biológica en la ingeniería. El plan contemplaba optimizar la iluminación y la ventilación en lugares cerrados, reducir las contaminaciones sonora, bacteriana y física, así como la contaminación química del aire; también consideraron deseable que los ingenieros diseñaran una fisiología del trabajo para optimizar el número de horas que trabajaba la gente, considerando cuándo se daba tiempo para comer y cuándo para descansar.

Tales documentos confirman que durante la primera mitad del siglo xx, los usos del concepto de biotecnología supusieron la aplicación de un enfoque de ingeniería a lo biológico, incluyendo en tal categoría tanto a una levadura como a un servidor público. Sin embargo, el rastreo de referencias a una “revolución biotecnológica” antes de la aparición de la biotecnología basada en ADN recombinante no arroja resultados. ¿No era revolucionario fermentar betabeles, estudiar los microbios que vivían en las ovejas o estudiar el impacto del ambiente en las emociones de los obreros? La genealogía del concepto de biotecnología sugiere que no. Como se verá a continuación, los revolucionarios

¹⁰ *Ibid*, p. 218.





fueron quienes fundaron empresas basadas en una tecnología controversial con claras aplicaciones industriales, aun cuando prevalecían las dudas sobre sus riesgos.

No es fortuito que el concepto de biotecnología se popularizara tras la fundación de la empresa biotecnológica Genentech en 1976 y fuera considerado un neologismo cuando no lo era.¹¹ Para la década de los setenta ya tenía un significado diferente: denominaba una tecnología de vanguardia, financiada por capitales privados y por el Estado mediante agencias federales. Entre los factores que contribuyeron al éxito de Genentech, Cetus y otras empresas biotecnológicas pioneras a principios de la década de los ochenta, destacan los incentivos al desarrollo tecnológico en Estados Unidos descritos por la historiadora estadounidense Sally Smith Hughes:

[...] el enfoque precautorio de principios de los setenta estaba cediendo durante la administración de Reagan, favoreciendo la visión de que la tecnología basada en la ciencia era central para el crecimiento económico. El Congreso tomó las medidas necesarias para incentivar el desarrollo tecnológico, quitando las regulaciones, promoviendo el financiamiento privado y reduciendo los impuestos, y las agencias federales, como la Fundación Nacional para la Ciencia (NSF), desarrollaron programas diseñados para favorecer la cooperación entre universidades e industria. La biotecnología figuró entre las áreas de tecnología de punta que el gobierno buscaba incentivar específicamente para el desarrollo comercial.¹²

En 1982, la definición de biotecnología era ya muy parecida a la que se encuentra hoy en los manuales para estudiantes y fue formulada por la Organización para el Comercio y el Desarrollo Económicos (OCDE): “Biotecnología es la aplicación de principios científicos y de ingeniería al procesamiento de materiales

¹¹ Dixon, “Putting the ‘Bio’ in Biotech”, p. 38.

¹² Sally Smith Hughes, “Making Dollars out of DNA: The First Major Patent in Biotechnology and the Commercialization of Molecular Biology, 1974-1980”, *Isis* 3 (2001), p. 570. DOI: 10.1086/385281.





mediante agentes biológicos *para la producción de bienes y servicios*”.¹³ Es posible concluir que lo que Bernard Dixon llamó con entusiasmo revolución biotecnológica en 1986 fue la culminación del proceso de comercialización de un producto de la biología molecular: la tecnología de ADN recombinante o *ingeniería genética*.

LA CONFORMACIÓN DE LA BIOLOGÍA MOLECULAR CLÁSICA, DEL PERIODO DE ENTREGUERRAS A LA GUERRA FRÍA

La ruptura que implicó el desarrollo del ADN recombinante o tecnología genética en la historia de la biología molecular se evidencia en la periodización propuesta por Hans-Jörg Rheinberger en 2009:

[...] la biología molecular clásica operó como biología y fue impulsada por métodos de bioquímica y biofísica, un complicado aparato analítico y usualmente grandes máquinas; la biología molecular de tecnología genética opera como biología y la impulsan métodos que provienen de la biología molecular de la primera fase, métodos enraizados en las herramientas moleculares que trabajan en el espacio de la célula viva misma. Es completamente constructiva y sintética.¹⁴

¹³ Bud, *The Uses of Life*, 231. Las cursivas son de los autores. En 2001, la OCDE estableció que biotecnología “se define como la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de éstos, con el objetivo de alterar materiales vivos o inertes para la producción de conocimiento, bienes y servicios”. “Biotechnology, Single Definition”, Organization for Economic Cooperation and Development (OECD). Disponible en <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=219>. Modificado por última vez el 2 de noviembre de 2001.

¹⁴ Rheinberger, “Recent Science”, p. 7. La biología molecular sintética o biotecnología molecular, que utiliza las herramientas de la biología molecular clásica, reintroduce *in vivo* lo que previamente se aisló y manipuló *in vitro*. La tecnología de ADN recombinante, el diseño de BioBricks y la reciente técnica de edición de genoma CRISPR son ejemplos de la biotecnología molecular. Un experimento *in vivo* es el que se lleva a cabo en organismos y células; pueden ser experimentos con embriones, bacterias, plantas y animales. En cambio, un experimento *in vitro* se realiza fuera del organismo en un ambiente controlado, como un tubo de ensayo.





Durante las dos primeras décadas del siglo xx, los trabajos en las ciencias de la vida se enfocaron en encontrar vías para explorar la complejidad biológica en el nivel subcelular. A partir de las hipótesis formuladas sobre los mecanismos de la herencia a finales del siglo xix, dio inicio la búsqueda de la base biológica del material genético. El biólogo Thomas Hunt Morgan estudió las mutaciones en moscas de la fruta, varias décadas antes de que se comprobara la correspondencia de los genes con la molécula de ADN.¹⁵

En la década de los treinta comenzó a proyectarse en Estados Unidos un movimiento denominado biología molecular. La historiografía de la biología molecular se ha ocupado reiteradamente del problema de sus orígenes y precursores, orientada hacia cuáles disciplinas contribuyeron a su establecimiento y cuál fue la importancia del programa de transferencia tecnológica que el biólogo Warren Weaver promovió mediante la Fundación Rockefeller. En otra línea de análisis, los historiadores se han enfocado en los orígenes de las herramientas y los instrumentos que fueron utilizados por la biología molecular.

Para Weaver, el conocimiento biológico podía ser un auxiliar en el control del destino humano. Con la confianza de que produciría resultados rápidos y que se trataba de la ciencia del futuro, financió a científicos europeos que trabajaban en proyectos que coincidían con una visión de biología molecular que paradójicamente no privilegiaba un interés profundo por problemas biológicos. Weaver estableció que el éxito de este nuevo campo dependería de la migración efectiva de instrumentos de la física a la biología.¹⁶

Pnina Abir-Am define la biología molecular como “un amplio movimiento transdisciplinario de personas e ideas en el entrecruzamiento de la biología, la física y la química [que] se convirtió en una realidad sociohistórica en la

¹⁵ Véase el segundo capítulo de Carl Zimmer, *Microcosm: E. coli and the New Science of Life*, Nueva York, Pantheon Books, 2008.

¹⁶ Pnina Abir-Am, “The Discourse of Physical Power and Biological Knowledge in the 1930s: A Reappraisal of the Rockefeller Foundation’s ‘Policy’ in Molecular Biology”, *Social Studies of Science* 3 (1982), pp. 347-352. DOI: 10.1177/030631282012003001.





década de 1930”.¹⁷ Francis Crick, quien participó en la era dorada de la biología molecular dominada por el ADN, explicó en 1965 por qué adoptó el término “biólogo molecular”: “Yo mismo fui forzado a llamarme a mí mismo biólogo molecular porque cuando los pastores inquisitivos me preguntaban qué hacía, me cansé de explicar que era una mezcla de cristalógrafo, biofísico, bioquímico y genetista, una explicación que en cualquier caso les parecía difícil de entender.”¹⁸

Ello no implica que la biología al nivel subcelular no se hubiera estudiado previamente, pues la bioquímica ya se había ocupado de hacerlo. Es posible explicar la conformación de la biología molecular no como la sucesión lógica y necesaria de una etapa en las ciencias biológicas dominada por la bioquímica y la genética, sino como un campo configurado a la luz de las ciencias físicas, que predominaron en las primeras décadas del siglo xx y consolidaron su poder al comienzo de la era atómica. El interés por descubrir el potencial de la aplicación de herramientas de la física a problemas biológicos fue compartido por estudiosos de disciplinas dentro y al margen de las ciencias biológicas.

El historiador suizo Bruno Strasser argumenta que no es fortuito que el ejemplo de la física predominara en la historiografía de las ciencias, de Alexandre Koyré a Thomas Kuhn. Una de las tesis de Strasser en *La fabrique d'une nouvelle science* es que el prestigio social del que gozó la física teórica antes de la segunda guerra contribuyó a que se convirtiera en un modelo para todas las ciencias; el contexto científico y cultural dominado por la física atómica permitió que la biología molecular se desarrollara hasta reemplazar el lugar de la física en el escenario de la modernidad científica.¹⁹

La fisión nuclear se descubrió en 1938 en el Instituto Kaiser Wilhelm de Química en Berlín tras décadas de investigación en radiactividad, inaugurando

¹⁷ Pnina Abir-Am, “The Politics of Macromolecules: Molecular Biologists, Biochemists and Rhetoric”, *Osiris* 7 (1992), p. 164. DOI: 10.1086/368709.

¹⁸ Stent, “That Was the Molecular Biology”, p. 160.

¹⁹ Bruno Strasser, *La fabrique d'une nouvelle science. La biologie moléculaire à l'âge atomique (1945-1964)*, Suiza, Leo S. Olschki Editore, 2006, pp. I-XIII.





una nueva etapa de la física nuclear que conllevó la creación de un nuevo arsenal bélico. La producción masiva de radioisótopos con fines pacíficos se efectuó a partir de la Segunda Guerra Mundial gracias a la disponibilidad de reactores nucleares fabricados para el Proyecto Manhattan.²⁰ El uso de radioisótopos en investigación, terapia e industria fue promovido por la Comisión de Energía Atómica (CEA) de Estados Unidos, creada en 1947 para la administración de los laboratorios y las plantas que permanecieron luego de la fabricación de la bomba atómica.²¹

El uso de reactores atómicos generó radioisótopos en grandes cantidades, los cuales podían ser utilizados como rastreadores para estudiar el metabolismo de moléculas biológicas. Si bien los propósitos militares eran prioritarios, la CEA consideró importante dotar al programa de investigación de una imagen pacífica.²² Determinar los efectos de la radiación en la salud fue el primer paso y ello requería incluir una división de biología y medicina en la comisión.²³

La aplicación pacífica de radioisótopos promovió el diseño y la comercialización del espectrómetro de centelleo líquido (ECL), al cual el filósofo y biólogo alemán Hans-Jörg Rheinberger dedica un capítulo en *An Epistemology of the Concrete*:

²⁰ “Los reactores nucleares podían ser utilizados para generar isótopos radiactivos –variantes inestables de elementos químicos que emiten una radiación detectable. Los científicos comenzaron a utilizar radioisótopos en experimentos biomédicos dos décadas antes de la era atómica, pero su disponibilidad fue limitada hasta que se construyeron reactores nucleares para el proyecto de la bomba. En la planeación del uso de la energía atómica después de la guerra, los líderes del Proyecto Manhattan propusieron convertir un gran reactor que estaba en Oak Ridge, parte de la infraestructura del proyecto de la bomba, en un sitio de producción de radioisótopos para científicos civiles.” Angela Creager, *Life Atomic: A History of Radioisotopes in Science and Medicine*, Chicago, University of Chicago Press, 2013, pp. 1-2.

²¹ *Idem.*

²² Hans-Jörg Rheinberger, *An Epistemology of the Concrete*, Durham, Duke University Press, 2010.

²³ Richard G. Hewlett y Francis Duncan, *A History of the United States Atomic Energy Commission 2*, Washington, Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, 1972, p. 112.





El espectrómetro de centelleo líquido [fue] un instrumento emblemático en los laboratorios de biología molecular durante la década que separó la elucidación de la doble hélice del ADN y el desciframiento del código genético. El ECL no sólo ofreció nuevas posibilidades de medición, sino que, combinado con una multiplicidad de moléculas rastreadoras radiactivas, permitió diseños experimentales de una estructura y un alcance antes inconcebibles.²⁴

El ECL funcionaba gracias a tres tecnologías clave propias del siglo xx: la automatización mecánica, los circuitos electrónicos y el marcado de radioisótopos. De acuerdo con Rheinberger, si bien los radioisótopos fueron utilizados en investigaciones biológicas y médicas durante la década de los treinta, fue la red de laboratorios nacionales desplegada por el Proyecto Manhattan la que permitió que los radioisótopos artificiales revolucionaran la biología y la medicina.

Tras numerosos experimentos con la bacteria *E. coli* y tras análisis estructurales de proteínas y ácidos nucleicos, el ADN se convirtió en el objeto de estudio central en la biología molecular en la década de los cincuenta. Un experimento con virus de bacterias y rastreadores radiactivos, azufre-35 para las proteínas y fósforo-32 para el ADN, fue realizado por los genetistas estadounidenses Alfred Hershey y Martha Chase en 1952.²⁵ Este experimento corroboró que el material genético no residía en las proteínas sino en las moléculas de ácido desoxirribonucleico.²⁶

Un año después, James Watson y Francis Crick publicaron “A structure for Deoxyribose Nucleic Acid” en *Nature*, artículo que dio a conocer un modelo de ADN construido a partir de lo que sugerían las leyes de Erwin Chargaff, la

²⁴ Rheinberger propone abordar la historia de la biología molecular enfocándose en los sistemas experimentales que contribuyeron a construir sus objetos de estudio. Rheinberger, “The Liquid Scintillation Counter”, p. 151.

²⁵ Creager, *Life Atomic*, p. 221.

²⁶ “Bacteriophage: the Virus that Revealed DNA”, en Jim Endersby, *A Guinea Pig’s History of Biology*, Cambridge, Harvard University Press, 2009, pp. 251-291. Este capítulo es una historia de los experimentos con virus de bacterias o bacteriófagos.





hélice alfa de Linus Pauling y las fotografías de rayos X de moléculas de ADN cristalizadas tomadas por el doctorando Raymond Gosling con la supervisión de Rosalind Franklin.²⁷

LA BIOTECNOLOGÍA MOLECULAR EN EL CONTEXTO DE LA GUERRA FRÍA

En 1965, el bioquímico estadounidense Rollin Douglas Hotchkiss alertó de los peligros del uso industrial de la modificación genética en el artículo “Portents for a Genetic Engineering”.²⁸ El texto de Hotchkiss contribuyó a popularizar el término *ingeniería genética*, utilizado dos años antes por el genetista estadounidense Edward Tatum en una propuesta para dividir la *ingeniería biológica* o las maneras de modificar organismos. Tal división contemplaba: 1) eugenesia o recombinación de genes existentes, 2) *ingeniería genética* o producción de genes nuevos mediante mutación dirigida y 3) *eufenesia* o modificación de la expresión genética.²⁹

Desde su concepción, el proyecto de la ingeniería biológica generó una discusión en torno a sus implicaciones éticas. Tales implicaciones fueron discutidas, por ejemplo, en un artículo titulado “The Microbiologist and his Times”, publicado en 1968 por Salvador Luria, microbiólogo italiano naturalizado estadounidense. En este texto, Luria señaló los problemas derivados de los entonces nuevos usos de la microbiología; del ejemplo de la física atómica y la producción de bombas de fisión nuclear, dedujo los riesgos potenciales de lo que llamó *cirugía genética*:

²⁷ James D. Watson y Francis H. C. Crick, “A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”, *Nature* 4356 (1953), pp. 737-738. Disponible en <http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>.

²⁸ Rollin Douglas Hotchkiss, “Portents for a Genetic Engineering”, *Journal of Heredity* 56 (1965), pp. 197-202.

²⁹ Bud, *The Uses of Life*, p. 170. “Ingeniería eufénica” fue un concepto propuesto originalmente por el biólogo estadounidense Joshua Lederberg para referirse a la modificación del fenotipo y no del genotipo.





Por ejemplo, los avances actuales en genética molecular sugieren que quizás sea posible, en un futuro no muy lejano, realizar lo que ha sido llamado cirugía genética, la alteración específica y dirigida de genes en la célula germinal, posiblemente mediante virus u otros agentes subcelulares de transferencia genética como los que se han descubierto recientemente en bacterias. En última instancia, desde luego, tales técnicas podrían tener usos benéficos en la crianza de animales, en medicina o incluso en eugenesia humana; sin embargo, desafortunadamente puede resultar más fácil encaminar la cirugía genética al desarrollo de armas, o incluso a la degradación de la calidad genética de poblaciones enteras. Es posible que pronto tengamos que enfrentar el peligro potencial, sin duda la pesadilla, de *Un mundo feliz* basado en cirugía genética en vez de condicionamiento hormonal o pavloviano como el que imaginó Aldous Huxley.³⁰

La pesadilla de Luria se inscribió en el contexto de la posguerra, después de que el nazismo mostró la faceta más infame del proyecto eugenésico.³¹ Al término de la segunda Guerra Mundial prevalecía la amenaza del uso de armas biológicas; una muestra de cómo era percibida esa amenaza en Estados Unidos es la

³⁰ Salvador Luria, “The Microbiologist and His Times”, *Bacteriological Reviews* 4 (1968), p. 402.

³¹ Antes de adquirir la fama de tecnología nazi, la eugenesia decimonónica tuvo entre sus principales defensores al inglés Francis Galton, primo de Charles Darwin. En su libro *Hereditary Genius: An Inquiry into its Laws and Consequences*, publicado en Londres en 1869, Galton estableció cómo producir una “raza talentosa” decidiendo quién casaría mejor con quién durante varias generaciones. Endersby apunta que a finales del siglo XIX: “Nada había de nuevo en los debates sobre cómo los factores heredados y ambientales dan forma a la naturaleza humana; habían existido al menos desde finales del siglo XVIII, confrontando a los ‘heredacionistas’ con los ‘perfectibilistas’. En términos muy simples, los últimos argumentaban que si el progreso de la civilización mejoraba la vida humana, los humanos mismos mejorarían. Los heredacionistas rechazaban esta perspectiva, insistiendo en que las buenas cruas eran la clave del mejoramiento.” Sobre la eugenesia en la Alemania nazi, Endersby indica: “En países tan distintos como Suecia y Estados Unidos, decenas de miles de personas fueron esterilizadas ‘en el nombre de la eugenesia’, pero los peores horrores aparecieron en la Alemania nazi, donde las ideas de Galton inspiraron la política de esterilización y eventual exterminación de los no aptos y de ‘razas inferiores.’” Endersby, *History of Biology*, pp. 75 y 93.





campaña que emprendió la Administración Federal de Defensa Civil en 1951 para explicar al público el protocolo a seguir en caso de un ataque biológico.³²

Además de diseñar un plan de protección civil, Estados Unidos invirtió en sus propias armas biológicas. En el artículo de Luria hay referencias a la participación de la Sociedad Estadunidense de Microbiología en investigaciones bélicas secretas, realizadas en los Laboratorios Biológicos de la Unidad Química Militar del Ejército de Estados Unidos en Fort Detrick, Maryland.³³ Sin embargo, como se verá más adelante, el programa secreto de investigación con fines bélicos que repercutió significativamente en la biología y la medicina de la posguerra fue el mismo que produjo la bomba atómica.

Mientras tanto, en el ámbito de la investigación básica en medicina se percibía una crisis que Gunther Stent llamó el comienzo del periodo académico de la biología molecular. Tras el descubrimiento de la estructura del ADN y la determinación del operón, modelo de regulación genética perfilado por François Jacob y Jacques Monod del Instituto Pasteur, Stent proclamó el fin de la historia de la biología molecular.³⁴ El historiador Doogab Yi propone que este periodo de crisis, que coincide también con la primera oleada de historiografía de la biología molecular, coincidió con una migración masiva de investigadores biomédicos a la biología de eucariontes. Tal migración fue incentivada por la coyuntura política a mediados de los setenta en Estados Unidos, que favoreció el financiamiento federal a proyectos enfocados en aplicaciones clínicas de la bioquímica y de la biología molecular.³⁵

Para las agencias federales, la biología molecular se había ocupado ya lo suficiente de *E. coli* y sus fagos; el nuevo reto para la investigación biomédica era resolver el problema del cáncer. En 1971, la administración de Richard Nixon

³² “What You Should Know About Biological Warfare 1952 Civil Defense Administration”, video de YouTube, publicado por “Jeff Quitney”, 11 de diciembre de 2013, <https://www.youtube.com/watch?v=oNHcyCaIluA> (7:47 min.).

³³ Luria, “The Microbiologist”, p. 403.

³⁴ Doogab Yi, “Cancer, Viruses, and Mass Migration: Paul Berg’s Venture into Eukaryotic Biology and the Advent of Recombinant DNA Research and Technology, 1967-1980”, *Journal of the History of Biology* 4 (2008), p. 601. DOI: 10.1007/s10739-008-9149-9.

³⁵ *Ibid.*, p. 602.





reajustó el presupuesto de las agencias que financiaban la investigación biomédica, como el National Institute of Health y la National Science Foundation. Ello incentivó a algunos investigadores a estudiar células humanas en conformidad con los prospectos de la guerra contra el cáncer.

Uno de esos investigadores era Paul Berg, quien enfocó su trabajo en virus oncogénicos que afectan las células de los mamíferos. Berg eligió el virus SV40 como sistema experimental análogo a los fagos lisogénicos que producen la muerte de bacterias *E. coli*. Concebido originalmente como un objeto de investigación del cáncer, SV40 fue convertido en una tecnología de investigación genética cuando Berg propuso introducir genes foráneos en el ADN de SV40 y determinar si las células infectadas expresan los genes introducidos artificialmente. Ése fue el primer proyecto de construcción de moléculas de ADN recombinante.³⁶

Berg practicó la primera “cirugía genética” en la Universidad de Stanford en California en 1972. Para la década de los ochenta, esta técnica fue conocida popularmente como ingeniería genética y su comercialización fue la base de la industria biotecnológica. Sin embargo, a comienzos de la década de los setenta, esta tecnología concebida originalmente para investigar el cáncer sería el centro de un debate sobre ética, salud pública y conservación de la biodiversidad que persiste hasta hoy.³⁷

³⁶ *Ibid.*, pp. 603-610.

³⁷ El biomédico Francisco Soberón utilizó el término ingeniería genética como sinónimo de ADN recombinante en 1996, en una reflexión sobre las diferentes formas en que los humanos han manipulado lo que él llama procesos naturales. “En realidad, si lo meditamos con cuidado, el ser humano siempre ha interferido con los procesos naturales de otras especies. ¿De dónde proviene, si no, la gran variedad de razas caninas, por ejemplo? ¿Y no era un serio entrometimiento el proceso de practicar repetidas sangrías al enfermo a la menor provocación? La administración de antibióticos para salvar innumerables vidas humanas, ¿no significa una definitiva interferencia con los procesos naturales? Lo que sí resulta claro es que la capacidad de manipulación, no siempre basada en el conocimiento, está aumentando continuamente. En particular, durante los últimos 15 a 20 años ha sido notable un avance sin precedente en el campo de las ciencias biológicas. Esto se debe fundamentalmente al surgimiento de las técnicas de ingeniería genética o ADN recombinante.” Francisco Xavier Soberón Mainero, *La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996, p. 13.





El historiador alemán Joachim Radkau plantea en un artículo de 1988 que el paralelismo de la ingeniería genética con la energía nuclear marcó el inicio del debate del ADN recombinante. Janet Mertz, alumna del bioquímico Paul Berg, fue la primera en comparar los peligros del uso de la tecnología de ADN recombinante con los riesgos de la bomba de fisión nuclear, e incluso consideró que los primeros eran más graves.³⁸ El biólogo molecular francés François Jacob opinó en *El ratón, la mosca y el hombre* que “la ingeniería genética se ha convertido en el objeto de la más grave de las acusaciones hechas a la ciencia: la de dar a los biólogos el poder de dominar tanto el cuerpo como el espíritu humanos”.³⁹

La tecnología de ADN recombinante inauguró la llamada revolución biotecnológica en cumplimiento con la promesa de dar a la biología molecular y la biomedicina relevancia terapéutica, pero como revela el estudio de Michael Hopkins, la evidencia no apoya la existencia de una revolución en el ámbito biomédico.⁴⁰ No debe asumirse que ello resta importancia al fenómeno. Se argumentará aquí en cambio que la revolución molecular en las ciencias biológicas fue epistemológica, dando como resultado, por ejemplo, la identificación de *E. coli* como un objeto de riesgo. Es por tal motivo que en la última sección de este artículo se propone una clasificación especializada de bioartefactos, con el fin de ilustrar cómo la revolución molecular cambió la manera de representar e intervenir lo vivo.

LOS BIOARTEFACTOS DE LA REVOLUCIÓN MOLECULAR

A lo largo de este apartado se abordaron de manera sucinta las características de los periodos en los cuales es posible dividir la historia de la biología molecular,

³⁸ Joachim Radkau, “Hiroshima und Asilomar: Die Inszenierung des Diskurses über die Gentechnik vor dem Hintergrund der Kernenergie-Kontroverse”, *Geschichte und Gesellschaft* 3 (1988): 329. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/40185475>.

³⁹ François Jacob, *El ratón, la mosca y el hombre*, Barcelona, Crítica, 1998, p. 149.

⁴⁰ Michael M. Hopkins *et al.*, “The Myth of the Biotech Revolution: An Assessment of Technological, Clinical and Organisational Change”, *Research Policy* 36 (2007), pp. 566-589. DOI: 10.1016/j.respol.2007.02.013.





con el fin de comprender los factores que propiciaron el desarrollo de la biotecnología basada en ADN recombinante. Se argumentará ahora que el concepto de bioartefacto está imbricado con el concepto de biotecnología. De esta manera, cuando se define bioartefacto asumiendo que biotecnología equivale a usos de la vida, el concepto apunta de manera general a procesos biológicos dirigidos intencionalmente para la obtención de productos; tal enfoque suscribe que un bioartefacto puede ser tanto una milpa como un bonsai o un antibiótico.

Se propone aquí que cuando biotecnología equivale a biotecnología molecular, un bioartefacto es un objeto orgánico que opera al nivel subcelular, sintetizado mediante ingeniería de macromoléculas, como ADN y proteínas. Es un componente en la ejecución de una técnica que dirige etapas de procesos biológicos con el fin de controlar productos de interés. Dado que son moléculas o fragmentos de moléculas orgánicas altamente especializadas, los bioartefactos son aislados e integrados mediante métodos de catalización e inhibición de procesos bioquímicos.⁴¹

CUADRO 1.
¿POR QUÉ LOS BIOARTEFACTOS PERTENECEN AL ORDEN
DE LO ORGÁNICO SINTÉTICO?

	<i>Orgánico</i>	<i>Inorgánico</i>
<i>Natural</i>	Orgánico natural ejemplo: ADN (polímero natural)	Inorgánico natural ejemplo: cobre en una mina
<i>Sintético</i>	Orgánico sintético ejemplo: molécula de ADN recombinante	Inorgánico sintético ejemplo: PET (polímero sintético)

Orgánico: contiene carbono
Inorgánico: no contiene carbono
Natural: presente en la naturaleza
Sintético: sintetizado mediante reacciones químicas dirigidas

⁴¹ Ewen Callaway, "First Synthetic Yeast Chromosome Revealed", *Nature News & Comment*, 27 de marzo de 2014, visitado el 4 de junio de 2015. Disponible en <http://www.nature.com/news/first-synthetic-yeast-chromosome-revealed-1.14941>.





La técnica de ADN recombinante ofrece ejemplos concretos de bioartefactos. Esta técnica consiste la mayoría de las veces en modificar un plásmido (una molécula de ADN) de *E. coli* mediante el control de enzimas y bacteriófagos o virus de bacterias.⁴² En 1973, Herbert Boyer y Stanley Cohen construyeron “organismos funcionales que combinaban y replicaban información genética de distintas especies”,⁴³ basándose en el trabajo previo con SV40 λ dvgal, el célebre plásmido de ADN viral sintetizado artificialmente por Paul Berg, el cual fue el foco de atención al inicio del debate del ADN recombinante. Este plásmido combina ADN de virus de simio 40 (SV40), ADN de fago λ y el operón bacteriano gal, mediante el uso de la enzima de restricción EcoRI y las enzimas transferasa terminal, polimerasa de ADN y ligasa.

En términos simplificados, la técnica para sintetizar SV40 λ dvgal consistió en que los fragmentos de interés del ADN de SV40 fueron recortados con enzimas y luego pegados con otras enzimas en el material genético (plásmido) de un fago que propagó en *E. coli* ese material genético modificado. Los bioartefactos en el caso de SV40 λ dvgal serían concretamente: 1) moléculas de ADN y fragmentos de ADN (plásmido de fago λ y operón gal) y 2) enzimas (*EcoRI*, transferasa terminal, polimerasa de ADN y ligasa). Esta técnica produce moléculas de ADN recombinante y BioBricks.⁴⁴ Con base en este criterio, el plásmido modificado SV40 λ dvgal es una molécula de ADN recombinante y es un bioartefacto.

Debe aclararse que el plásmido recombinante no convierte al *E. coli* en una bacteria sintética; aislar una bacteria *E. coli* no es sintetizarla y cruzar cepas de *E. coli* para obtener otra cepa tampoco da como resultado una bacteria sintética.

⁴² Un plásmido es una molécula de ADN cuya forma es circular. Las enzimas de restricción son proteínas que sirven como tijeras moleculares. Los bacteriófagos son virus que introducen su material genético en las bacterias que infectan. Los operones son segmentos especializados de una secuencia de ADN que pueden ser expresados o silenciados.

⁴³ Genome News Network, “Herbert Boyer (1936-) and Stanley N. Cohen (1935-) Develop Recombinant ADN Technology, Showing That Genetically Engineered ADN Molecules May Be Cloned in Foreign Cells”, Consultado el 16 de septiembre de 2015. Disponible en http://www.genomenewsnetwork.org/resources/timeline/1973_Boyer.php.

⁴⁴ En el caso de la técnica de CRISPR, se modifica la transcripción de genes mediante el control de la enzima Cas9, la cual también es un bioartefacto cuando es dirigida intencionalmente.





Sintetizar satisfactoriamente una membrana de *E. coli* podría derivar en una bacteria orgánica sintética, pero en el caso de las moléculas recombinantes, éstas operan en bacterias orgánicas naturales para las cuales, por ejemplo, el plásmido concreto SV40λdvgal es prescindible en condiciones específicas, ya que los plásmidos ayudan al funcionamiento de bacterias bajo presión selectiva.

Esta definición de bioartefacto implica que un organismo puede ser genéticamente modificado por una técnica que requiere de bioartefactos, *mas no es un bioartefacto en sí*. Esto implica que el tomate Flavr Savr no es un bioartefacto, sino un organismo modificado mediante el control del gene inhibidor de la producción de la enzima poligalacturonasa, responsable del reblandecimiento de la fruta. De igual manera, la modificación bioquímica *in vitro* de un plásmido reintroducido *in vivo* mediante un fago con el fin de que el *E. coli* produzca insulina, es una técnica que opera con bioartefactos, mientras que el *E. coli* es el organismo cuyo comportamiento es modificado por la técnica, y la insulina sintética es el producto de la acción de la bacteria, ello sin implicar que la bacteria o la insulina sean bioartefactos.

Un ejemplo distinto de los bioartefactos moleculares es Organs-On-Chips, un bioartefacto en la interfaz de lo inorgánico sintético y lo orgánico sintético: es una placa de polímero con un circuito de silicón que contiene fluidos y células, fabricada con el propósito de controlar y analizar procesos bioquímicos complejos cuyo diseño está determinado por la función de cada órgano.⁴⁵

CONCLUSIONES

Para explicar cómo la biología molecular ganó autoridad disciplinaria, no hay que perder de vista su cumplimiento con el anhelo de encontrar principios unificadores, como la reducción de los procesos biológicos a procesos quí-

⁴⁵ Sangeeta N. Bhatia y Donald E. Ingber, “Microfluidic Organs on Chips”, *Nature Biotechnology* 8 (2014), pp. 769-672. DOI: 10.1038/nbt.2989.





micos, y el uso de representaciones simétricas y simples que hoy parecen incuestionables. Estas formas de interpretar resultados y representar fenómenos biológicos contribuyeron al éxito de la molecularización de la biología y esta agenda auspició el tránsito de la representación a la intervención.

La biotecnología molecular no puede explicarse sin atender a la migración de científicos propiciada por la Segunda Guerra Mundial, la cual contribuyó a que Estados Unidos reemplazara a Alemania y Gran Bretaña en la vanguardia de la producción científica mundial. Pnina Abir-Am propuso que la biología molecular podría explicarse en virtud de los contextos bélicos que fueron escenario de sus transiciones disciplinarias: tras la Primera Guerra Mundial, la biología molecular fue dominada por la bioquímica; al finalizar la segunda Guerra Mundial, por la biofísica y durante la *Guerra Fría*, por la ingeniería.

Sin embargo, sería necesario ampliar el panorama más allá de las guerras y las disciplinas del siglo xx, emprendiendo una historia de larga duración de la biotecnología. Se ha sostenido en este capítulo que el enfoque general de usos de la vida es una manera engañosa de hacerlo. Si la biotecnología se consolidó con la tecnología de ADN recombinante, una ruta para buscar su historia está ya perfilada en la historia de la biología, de manera más amplia en la historia de las ciencias, y el horizonte se abre aún más si consideramos la historia de cómo la humanidad ha reducido los fenómenos naturales mediante el método científico.⁴⁶ Determinar las continuidades y las rupturas en una historia así de compleja es el verdadero reto.

⁴⁶ Michel Morange ya ha propuesto una periodización de la historia de la biología molecular inspirada en la obra de Braudel: el periodo más largo es el proceso secular de reducir los fenómenos a su base físico química y abarca alrededor de cuatro siglos; el periodo de mediana duración es el de la historia de las disciplinas; finalmente, la historia de rango corto es la de “los eventos, experimentos, teoremas, organismos modelo, instrumentos y todos los factores culturales, institucionales, sociales y políticos que se localizan en el curso concreto de desarrollo de las ciencias”. Rheinberger, “Recent Science”, p. 11.





BIBLIOGRAFÍA

Fuentes primarias

- American Society of Parasitologists, “Society Proceedings”, *Journal of Parasitology* 4 (1925), pp. 217-230.
- Bhatia, Sangeeta. N., y Donald E. Ingber, “Microfluidic Organs on Chips”, *Nature Biotechnology* 32, núm. 8 (2014), pp. 769-672. DOI: 10.1038/nbt.2989.
- Callaway, Ewen, “First Synthetic Yeast Chromosome Revealed”, *Nature News & Comment*. 27 de marzo de 2014. Disponible en <http://www.nature.com/news/first-synthetic-yeast-chromosome-revealed-1.14941>.
- Dixon, Bernard, “Putting the ‘Bio’ in Biotech”, *New Scientist* 1441 (1985), p. 38.
- Hewlett, Richard G., y Francis Duncan, *A History of the United States Atomic Energy Commission 2*. Washington, Comisión de Energía Atómica de Estados Unidos, 1972.
- Hotchkiss, Rollin Douglas, “Portents for a Genetic Engineering”, *Journal of Heredity* 56 (1965), pp. 197-202.
- Luria, Salvador, “The Microbiologist and His Times”, *Bacteriological Reviews* 4 (1968), pp. 401-403.
- Organization for Economic Cooperation and Development (OECD), “Biotechnology, Single Definition”. Disponible en <https://stats.oecd.org/glossary/detail.asp?ID=219>. Modificado por última vez el 2 de noviembre de 2001.
- Taylor, Craig L., y Llewellyn M. K. Boelter, “Biotechnology: A New Fundamental in the Training of Engineers”, *Science* 2722 (1947), pp. 217-219. DOI: 10.1126/science.105.2722.217.
- Watson, James D., y Francis H. C. Crick. “A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”, *Nature* 4356 (1953), pp. 737-738. Disponible en <http://www.nature.com/nature/dna50/watsoncrick.pdf>.
- “What You Should Know About Biological Warfare 1952 Civil Defense Administration”, video de YouTube, comunicado de interés público producido por Reid H. Film Industries en 1951 para la Administración Federal de Defensa Civil de Estados Unidos. Publicado por “Jeff Quitney”, 11 de diciembre de 2013 (7:47 min.). Disponible en <https://www.youtube.com/watch?v=oNHcyCaIluA>.



*Fuentes secundarias*

Abir-Am, Pnina, "From Biochemistry to Molecular Biology: DNA and the Acculturated Journey of the Critic of Science Erwin Chargaff", *History and Philosophy of the Life Sciences* 1 (1980), pp. 3-60. DOI: 10.2307/23328242.

———, "The Discourse of Physical Power and Biological Knowledge in the 1930s: A Reappraisal of the Rockefeller Foundation's 'Policy' in Molecular Biology", *Social Studies of Science* 3 (1982), pp. 341-382. DOI: 10.1177/030631282012003001.

———, "The Politics of Macromolecules: Molecular Biologists, Biochemists and Rhetoric", *Osiris* 7 (1992), pp. 164-191. DOI: 10.1086/368709.

Bud, Robert, "Janus-Faced Biotechnology: An Historical Perspective", *Trends in Biotechnology* 7 (1989), pp. 230-233. DOI: 10.1016/0167-7799(89)90012-7.

———, *The Uses of Life: A History of Biotechnology*, Cambridge, Cambridge University Press, 1994.

Carlson, Robert H., *Biology is Technology: The Promise, Peril and Business of Engineering Life*, Cambridge, Harvard University Press, 2010.

Creager, Angela, *Life Atomic: A History of Radioisotopes in Science and Medicine*, Chicago, University of Chicago Press, 2013.

Endersby, Jim, *A Guinea Pig's History of Biology*, Cambridge, Harvard University Press, 2009.

Hopkins, Michael, P. Martin, P. Nightingale, A. Kraft y S. Mahdi, "The Myth of the Biotech Revolution: An Assessment of Technological, Clinical and Organisational Change", *Research Policy* 36 (2007), pp. 566-589. DOI: 10.1016/j.respol.2007.02.013.

Jacob, François, *El ratón, la mosca y el hombre*, Barcelona, Crítica, 1998.

Radkau, Joachim, "Hiroshima und Asilomar: Die Inszenierung des Diskurses über die Gentechnik vor dem Hintergrund der Kernenergie-Kontroverse", *Geschichte und Gesellschaft*. 4, núm. 3 (1988), pp. 329-363. Disponible en <http://www.jstor.org/stable/40185475>.

Rheinberger, Hans-Jörg, *An Epistemology of the Concrete. Twentieth-Century Histories of Life*, Durham, Duke University Press, 2010.





- , “Recent Science and its Exploration: the Case of Molecular Biology”, *Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences* 40, núm. 1 (2009), pp. 6-12. DOI: 10.1016/j.shpsc.2008.12.002.
- Smith Hughes, Sally, “Making Dollars out of DNA: The First Major Patent in Biotechnology and the Commercialization of Molecular Biology, 1974-1980”, *Isis* 92, núm. 3 (2001), pp. 551-575. DOI: 10.1086/385281.
- Soberón Mainero, Francisco Xavier, *La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica*, México, Fondo de Cultura Económica, 1996.
- Stent, Gunther, “That Was the Molecular Biology That Was”, *Science* 160, núm. 3826 (1968), pp. 390-395. DOI: 10.1126/science.160.3826.390.
- Strasser, Bruno, *La fabrique d'une nouvelle science. La biologie moléculaire à l'âge atomique (1945-1964)*, Florencia, Leo S. Olschki Editore, 2006.
- Yi, Doogab, “Cancer, Viruses, and Mass Migration: Paul Berg’s Venture into Eukaryotic Biology and the Advent of Recombinant DNA Research and Technology, 1967-1980”, *Journal of the History of Biology* 41, núm. 4 (2008), pp. 589-636. DOI: 10.1007/s10739-008-9149-9.
- Zimmer, Carl, *Microcosm: E. coli and the New Science of Life*, Nueva York, Pantheon Books, 2008.

