



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

FACULTAD DE FILOSOFÍA Y LETRAS

HISTORIA DE LA CIENCIA

LA GENÉTICA MOLECULAR BACTERIANA EN MÉXICO DURANTE LA GUERRA FRÍA:  
UNA APROXIMACIÓN HISTÓRICA

TESIS QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE  
MAESTRO EN FILOSOFÍA DE LA CIENCIA

PRESENTA

MARCO DAVID ORNELAS CRUCES

TUTORA

DRA. ANA ROSA BARAHONA ECHEVERRÍA  
FACULTAD DE CIENCIAS

CIUDAD UNIVERSITARIA, CDMX, OCTUBRE 2021



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.

Dedicado a mi madre, a mi padre y a mis hermanas. Son el pilar de toda mi vida.

Dedicado a todas las personas que no pudieron vencer a la COVID-19.

## Agradecimientos académicos

A la Universidad Nacional Autónoma de México y al Posgrado en Filosofía de la Ciencia por la formación que me han otorgado durante mi vida universitaria. Ahora ya sé hacia dónde voy.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por la Beca Nacional otorgada durante el periodo 2019-2021 para la realización de mis estudios de posgrado a nivel maestría.

A mi tutora, la Dra. Ana Barahona. Por haberme permitido trabajar en su laboratorio, por sus enseñanzas, por su esfuerzo, por su tutoría y por su apoyo total en la realización de mi tesis.

A mi sínodo, compuesto por la Dra. Erica Torrens Rojas, la Dra. María de la Paz Ramos Lara, el Dr. Renato Huarte Cuéllar y la Dra. Rosalba Casas Guerrero. Gracias por aceptarme en sus clases como oyente, por leerme, por su tiempo y por sus comentarios para este trabajo desde sus campos de conocimiento.

A la Dra. Alejandra Alicia Covarrubias Robles y al Dr. David René Romero Camarena por acceder a la realización de las entrevistas. Sin su apoyo, este trabajo no hubiera sido posible en tiempos de pandemia.

A la M. en C. María Alicia Villela González, por su apoyo en la búsqueda de información documental durante la realización de este trabajo.

A la Lic. Lucía Brito Ocampo, coordinadora de la biblioteca «Dr. Dionisio Nieto Gómez» del Instituto de Investigaciones Biomédicas (UNAM), por facilitarme material bibliográfico en la última parte de mi tesis. Su ayuda es absolutamente invaluable.

Al proyecto CB2017-2018/A1-S-8786 «Ciencia transnacional y redes de colaboración en el estudio de las Ciencias de la Vida en México, 1960-1990» del CONACyT y cuya responsable es la Dra. Ana Barahona.

Algunos capítulos se presentaron en diferentes versiones en los siguientes congresos con apoyo del CONACyT a través de la Beca Nacional y del proyecto CB2017-2018/A1-S-8786:

1. The 2020 EASST/4S Conference. *Locating and Timing Matters: Significance and agency of STS in emerging worlds*. It was held virtually/in Prague from 18-21st August 2020.
2. ISHPSSB Biennial Meeting 2021 (Virtual). July 13–20, 2021. Technical conference support offered by Cold Spring Harbor Laboratory (CSHL).
3. The 26th International Congress of History of Science and Technology. *Giants and Dwarfs in Science, Technology and Medicine*. The virtual congress was held virtually/in Prague from 25–31st July 2021.

# Índice

Introducción.....	6
Capítulo 1. Historia global de la ciencia: entre la circulación del conocimiento y las redes de colaboración.....	9
Capítulo 2. Culturas epistémicas y nuevas fuentes primarias: cómo entrar a un laboratorio del pasado.....	20
Capítulo 3. México, 1970-1990: la construcción de la genética molecular bacteriana .....	33
Conclusiones.....	56
Referencias .....	58
Referencias de las historias orales .....	68

## Introducción

En los inicios del nuevo milenio, en 2001 para ser preciso, comenzó un trabajo que en aquel momento resultaba ser una labor titánica. El proyecto de la secuenciación del genoma de la bacteria *Rhizobium etli*, una bacteria fijadora de nitrógeno y simbiótica de la planta de frijol, fue la primera realizada en México y los resultados se publicaron hasta siete años más tarde.<sup>1</sup> Pero ¿cómo fue que se llegó a este momento? y ¿cómo fue que la biología molecular y la ingeniería genética llegaron a México? De entre las muchas formas y caminos que pueden conducir a una respuesta, elegí el del trabajo de laboratorio del doctor Fernando Bastarrachea Avilés y su trayectoria para responder la pregunta de investigación: ¿cómo se construyó la práctica de la genética molecular bacteriana en México durante los últimos años de la Guerra Fría (1970-1990)?

Como primer paso utilicé la historia global de la ciencia, en donde las unidades de análisis histórico son la circulación del conocimiento y las redes de colaboración. Esta nueva mirada a la historia de la ciencia se enfoca en la descentralización de ubicaciones geográficas específicas como centros de producción de conocimiento y pone de relieve la comunicación, el intercambio, la interacción y el movimiento que trascienden las fronteras. El giro global en la historia de la ciencia problematiza el difusionismo y muestra el papel activo que juegan las regiones fuera de Estados Unidos y Europa, las cuales, anteriormente eran consideradas como «las periferias», en la construcción del conocimiento científico. El capítulo 1 trata con mayor detalle la parte teórica referente a la historia global de la ciencia y la manera en la que incorporo el estudio de caso que se desarrolla a lo largo de todo el escrito.

Para estudiar el trabajo de laboratorio es necesario «escuchar la conversación sobre lo que pasa, los apartes y las maldiciones, los bufidos de exasperación, las preguntas que se hacen

---

<sup>1</sup> González, “The partitioned *Rhizobium etli* genome,” 3834-3839.

entre el personal que allí labora, las discusiones formales y las conversaciones a la hora del almuerzo», también «debemos leer los libros de protocolos del laboratorio y apoyarnos en preguntas suministradas por los científicos».<sup>2</sup> Empero, aún queda la incógnita, sabiendo que no tengo acceso al laboratorio original, de cómo realizar estas actividades. Es así como incorporé la noción de culturas epistémicas de Karin Knorr-Cetina para explicar la manera en la que una práctica científica, como la genética molecular bacteriana, fue creando y garantizando el conocimiento científico al interior de diferentes instituciones de la Universidad Nacional Autónoma de México, como el Instituto de Investigaciones Biomédicas y el Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno.

En el inicio de este proyecto y de la investigación misma, pretendía realizar un trabajo de archivo en diferentes acervos, sin embargo, las condiciones mundiales y nacionales relacionadas con el nuevo coronavirus SARS-CoV-2 causante de la enfermedad Covid-19, impidieron el acceso a cualquier instalación pública durante todo el año 2020 y parte de 2021. Con ello, tuve que modificar la forma de trabajo y ante la aparente desgracia a la que me enfrenté, pude encontrar otra alternativa en el seminario de “Elementos de trabajo de campo para el estudio de la ciencia y la tecnología” impartido por el doctor Renato Huarte de manera virtual en el programa de Posgrado en Filosofía de la Ciencia. Este camino me permitió aprender a realizar investigación cualitativa, y opté por realizar entrevistas cualitativas en profundidad con los y las estudiantes del doctor Bastarrachea tratando de obtener la mayor cantidad posible de documentos virtuales y así realizar la triangulación correspondiente. El capítulo 2 aborda esta parte de la sociología de la ciencia y de la metodología empleada para las entrevistas.

Mucha de la información obtenida en estas conversaciones está vertida en el capítulo 3, al mismo tiempo que procuro mostrar cómo las primeras técnicas de ingeniería genética llegan a México gracias al intercambio y a las interconexiones de los y las jóvenes científicas en los

---

<sup>2</sup> Knorr-Cetina, *La fabricación del conocimiento*, 97.



años 70 y 80 del siglo XX. Así, rescato a la historia oral como metodología para acceder a nuevos datos y construir nuevas fuentes primarias.

En consecuencia, el objetivo principal es dar cuenta del proceso de construcción de redes sociotécnicas, centradas en el campo de la microbiología, por medio del análisis de los temas de investigación, de la participación en redes académicas, de la conformación de grupos de investigación y del establecimiento de nuevos centros de investigación. He de mencionar, como justificación, que la historia de la microbiología ha sido poco abordada en la historiografía de las ciencias de la vida en comparación con otros temas como son la teoría de la evolución o la genética humana.<sup>3</sup> Asimismo, al realizar esta investigación, pude explorar una metodología de la historia de la ciencia que defiende no sólo el contexto global, la circulación de conocimiento y las redes de colaboración en las que esta práctica se gesta, sino también el contexto local en el que la genética molecular bacteriana se ve impulsada por intereses tanto de índole agrícola como de contribución y cooperación en proyectos que actualmente pueden ser catalogados como *Big Science*.

Finalmente, aclaro que este trabajo lo he elaborado en un momento *per se* histórico. En el inicio de una pandemia capaz de detener a todas las sociedades por el alto grado de globalización y movilización que en 2021 es inherente al mundo. Y no sólo eso, también fue (y es) un momento en el que he tenido la posibilidad de replantearme los privilegios que me permitieron terminar esta tesis. Espero que los siguientes capítulos respondan de manera clara y concisa la pregunta de investigación que me he planteado inicialmente. De antemano me disculpo por las fallas y carencias que más adelante puedan tener mientras leen mi trabajo y que en este momento no puedo compensar. Al mismo tiempo, confío en que funcione como una guía con material bibliográfico y empírico para todas aquellas personas que quieran dedicarse en general a los *Science and Technology Studies* (STS) y en particular a la Historia de la Ciencia.

---

<sup>3</sup> Meunier, “New perspectives,” 4.

## Capítulo 1

### Historia global de la ciencia: entre la circulación del conocimiento y las redes de colaboración

Hoy en día una visión molecular de aspectos de la vida como lo son la salud (e incluso la enfermedad), la medicina, la genética y la evolución no es ajena a la cotidianidad de los y las científicas que trabajan en el campo de las ciencias de la vida. Es realmente asombroso cuánto se ha desarrollado a partir de un programa de investigación que comenzó centrándose en lo que en biología se conocen como macromoléculas y que proliferó en el periodo de la segunda posguerra.<sup>1</sup> Este capítulo pretende ser un antecedente que, si bien no es del todo metodológico, proporciona un nuevo enfoque para realizar investigación histórica en el quehacer científico.

Para ello, se trabaja con dos categorías de análisis que permitirán realizar estudios históricos que salen de la narrativa tradicional euro-estadounidense.<sup>2</sup> La primera aborda el enfoque de la circulación del conocimiento y las redes de colaboración;<sup>3</sup> la segunda tratará con las geografías de la ciencia.<sup>4</sup> De esta manera se propondrá realizar una reconstrucción histórica de una práctica científica que proliferó en México en los últimos años de la Guerra Fría: la genética molecular bacteriana. Esto no con la intención de averiguar su institucionalización (al menos no todavía) sino para hacer referencia a la construcción de las prácticas centradas en las bacterias, en sus metabolismos, en sus secuenciaciones y en las interacciones de diferentes grupos sociales dentro de la ciencia y las instituciones a las que, de ser el caso, pertenecen.

---

<sup>1</sup> De Chadarevian, *Molecularizing Biology and Medicine*, 1.

<sup>2</sup> Barahona, "Local, global and transnational," 230-31, 37; Conrad, *What is global history?*, 170, 180.

<sup>3</sup> Secord, "Knowledge in transit," 655.

<sup>4</sup> Livingstone, *Putting science in its place*, 12.

## **Globalización e historia de la ciencia: lo que la Guerra Fría nos dejó**

Al finalizar la Segunda Guerra Mundial, el mundo se transformó de manera tal, que se produjo un acelerado proceso de globalización en el cual se vieron implicados factores que contribuyeron a la disolución de algunos imperios, la independencia de algunas colonias en Medio Oriente y Occidente y, más importante aún, a los conflictos entre dos sistemas políticos y sociales que buscaban implementar un modelo económico. Asimismo, los eventos que se suscitaron en el periodo denominado Guerra Fría (1945-1989/1991) no sólo se restringieron a la geografía local europea, también alcanzaron al resto de los continentes.<sup>5</sup> En otras palabras, durante este periodo, el mundo comenzó una unión sin precedentes, principalmente por la creciente comunicación entre los países y la gran circulación de información.

Esta situación mundial, a la que por influencia de muchos autores y autoras me gustaría llamarle «contexto», es sumamente relevante para realizar una historia global de la ciencia, pues en este modelo la actividad científica ocurre como una actividad profesional que puede ser tanto de carácter nacional como transnacional y, en algunas ocasiones, como ambas. De igual manera, para que la ciencia sea una práctica bastante exitosa, debe viajar hacia otras regiones, es decir, debe moverse. Esta perspectiva global de la historia de la ciencia en la que se utilizan los conceptos de local y transnacional representa una de las formas más viables para explicar cómo circulan las prácticas científicas, las ideas, las enseñanzas, los materiales e incluso los y las científicas mismas más allá de las fronteras, saliendo así del modelo difusionista propuesto por George Basalla -que se explicará más adelante- y sin considerar un enfoque eurocentrista o euro-estadounidense.<sup>6</sup>

---

<sup>5</sup> Iggers, *A global history of modern historiography*, 250-51.

<sup>6</sup> Sivasundaram, “Sciences and the global,” 157; Walker, “The ‘national’ in international,” 359-60. Basalla, “The spread of Western science,” 612; Conrad, *What is global history?*, 170, 180.

## El «giro global» en la historia de la ciencia

El fenómeno de la globalización fue tan grande que incluso alcanzó a la historia de la ciencia, y uno de sus resultados durante el periodo de la Guerra Fría fue el modelo difusionista de Basalla, también conocido como modelo de «centros y periferias». En esta propuesta, el conocimiento científico se «difunde» en tres etapas a lugares «no Occidentales», es decir a las periferias; éstas son regiones en donde aparentemente no existe conocimiento científico alguno. Así, la ciencia y los productos de los centros (entre los que se consideran Estados Unidos y algunos países de Europa) llegan a estas periferias, las cuales recibirán el conocimiento de una manera pasiva. Las críticas a este modelo de la historia de la ciencia son ampliamente conocidas y han sido bastante discutidas, sin embargo, una de las consecuencias más importantes que se derivaron de haber hecho notar el movimiento de la ciencia, más allá de sus lugares de origen, permitió un nuevo giro en la explicación histórica de la ciencia a inicios del siglo XXI mediante las publicaciones académicas que comenzaron a dedicarse a este campo: el «giro global».<sup>7</sup>

Esta nueva mirada a la historia de la ciencia se enfoca en la descentralización de ubicaciones geográficas específicas como centros de producción de conocimiento y pone de relieve la comunicación, el intercambio, la interacción y el movimiento que trascienden las fronteras. El giro global problematiza el difusionismo de la ciencia y muestra el papel activo que juegan las regiones fuera de Europa y Estados Unidos, que anteriormente eran consideradas como las periferias,<sup>8</sup> en la construcción del conocimiento científico. Lo anterior ha permitido el desarrollo de la historia global de la ciencia, la cual no implica una historia total, por el contrario, procura situar la ciencia en un lugar y en un tiempo determinados para su posterior movimiento a lo largo del mundo. En esta nueva historiografía, la circulación del conocimiento

---

<sup>7</sup> Raj, “Beyond Postcolonialism,” 339; Valera-Pacheco, “Hacia una nueva historia global,” 148.

<sup>8</sup> Estas regiones son en su mayoría países de bajos ingresos que han sido marginados política o culturalmente. Se le conoce bajo el nombre de «Sur Global» e incluye a Oceanía, África, Asia y América Latina. En: Dados, “The global south,” 12.

ha permitido cuestionar las ideas simplistas del descubrimiento y la difusión del conocimiento, de las prácticas y de las tecnologías, así como también ha podido identificar los factores que contribuyeron al éxito o al fracaso de tal circulación en situaciones muy específicas.<sup>9</sup>

Empero, algunas de las limitaciones de esta forma de hacer historia de la ciencia se han destacado en trabajos donde sólo se analiza la existencia de una relación (o relaciones) horizontal de poder entre aquellos que, desde el modelo difusionista, se conocen como «colonizadores» y «colonizados». También, se ha considerado que muchas veces aquello que viaja está dominado por la idea de los «móviles inmutables»,<sup>10</sup> con lo que se entiende que no cambian o no se transforman por completo al momento de llegar a un determinado lugar o a un contexto en particular, excepto para su posterior estudio en los laboratorios del «Occidente». Cabría preguntar, al respecto de este reciente modelo historiográfico del giro global, qué voces o qué actores han sido silenciados o invisibilizados en las narrativas tradicionales y, del mismo modo, preguntar qué es precisamente lo que está circulando por y hacia dónde.<sup>11</sup> Por lo pronto, en los dos apartados subsecuentes, se hará énfasis en la circulación del conocimiento, en las redes de colaboración y en los lugares en donde se hace la ciencia para sustentar el enfoque de la historia global de la ciencia.

---

<sup>9</sup> Gavrus, “Émigré scientists,” 363; McCook, “Focus: Global currents,” 773; Sivasundaram, “Focus: Global histories,” 96.

<sup>10</sup> Latour, “Esas redes que la razón ignora,” 173. Los «móviles inmutables» son definidos por Latour como: *un término general que hace referencia a todo tipo de transformaciones, es decir, transformaciones a través de las cuales una entidad se materializa en un signo, en un archivo, en un documento, en un trozo de papel, en una huella. Habitualmente, aunque no siempre, las inscripciones son bidimensionales, susceptibles de superposición y combinables. Siempre son móviles, es decir, permiten nuevas traducciones y articulaciones, aunque dejan intactos algunos tipos de relaciones.* En Latour, *La esperanza de Pandora*, 365.

<sup>11</sup> Nappi, “The global and beyond,” 105; Raj, “Beyond postcolonialism,” 344-45.

## **Y sin embargo (el conocimiento) se mueve**

El primer eje que guía este trabajo está basado en la propuesta de la importancia de la circulación en la construcción de conocimiento, la cual sugiere que la ciencia se debe pensar como una forma de comunicación y que la clave para realizar este tipo de historias es la comprensión del conocimiento científico como una práctica. Tal circulación no sólo se da de manera abstracta, sino que también se refleja en las formas materiales del conocimiento tales como instrumentos experimentales, especímenes naturales, modelos, panfletos, libros, dibujos, artículos, cuadernos de notas e incluso pinturas.<sup>12</sup>

Un medio por el cual pueden moverse estos materiales, y que se ha convertido en otra unidad de análisis histórico además de la circulación del conocimiento, es a través de las redes de colaboración que, al ser estudiadas, se articulan de manera adecuada con la historia global porque éstas cruzan barreras de todo tipo tales como imperios, naciones y regiones. Si se utiliza la noción de las redes, en particular las redes del conocimiento y la colaboración, entonces se promueve una cobertura de corte mundial que hace necesario ver más allá de «los centros y las periferias».<sup>13</sup> Con esto, queda en evidencia que la actividad científica no está aislada de su contexto y las fronteras, tanto de la ciencia como de los lugares en los que se va construyendo, se vuelven difusas y casi imperceptibles.

Igualmente, se reconoce que la ciencia es un elemento que está contenido en las sociedades mediante discursos y prácticas que, además de relacionarse con el mundo y sus fenómenos, también lo está con los aspectos de la vida social y política. Esta capacidad que tiene el conocimiento de moverse muestra que la ciencia puede entenderse como un «conocimiento en tránsito» capaz de cruzar fronteras geográficas, temporales y disciplinarias debido a su

---

<sup>12</sup> Secord, “Knowledge in transit,” 663, 665-66.

<sup>13</sup> Pestre, “Debates in transnational,” 433; Sivasundaram, “Sciences and the global,” 158.

naturaleza social.<sup>14</sup> Bajo estas premisas, un país como México, considerado como periferia por el modelo difusionista, resulta que no es un mero receptor pasivo de conocimiento científico.<sup>15</sup>

De ser así, entonces se cumple que las narrativas en las que se involucra la circulación del conocimiento ayudan a poner a los agentes que no pertenecen a Europa o a Estados Unidos de vuelta en la historia como participantes activos, siendo éstos en su mayoría expertos y expertas de diferentes lugares del mundo que interactúan en el tránsito de conocimiento, de prácticas e incluso de personas que están en formación científica como parte constitutiva de la construcción del conocimiento.<sup>16</sup> Así pues, cuando se pretende escribir cierta historia global de la ciencia y para construir narrativas más amplias, es necesario incorporar a otras personas y voltear la mirada a los espacios en los que la ciencia se construye.<sup>17</sup>

### **En un lugar de la Ciencia de cuyo nombre quiero acordarme**

A menudo, en el imaginario colectivo, el primer lugar físico que viene a la mente cuando se menciona la palabra ciencia es el laboratorio. Cuán interesante lugar lleno de conocimiento y lleno de personas que suelen rondar por el interior con batas blancas, pero qué poco se enfatiza en el laboratorio mismo o en los demás lugares de producción de conocimiento que a veces se dan por sentado.<sup>18</sup> Estos lugares son objetos de investigación que permiten la explicación de la condición social e históricamente situada de la ciencia y por ello es el segundo eje que guía el presente trabajo.

La actividad científica se lleva a cabo en lugares muy específicos que van desde museos o estaciones de campo hasta laboratorios de alta tecnología, así como también en las cafeterías,

---

<sup>14</sup> González-Silva, “La circulación del conocimiento,” 7; Secord, “Knowledge in transit,” 654.

<sup>15</sup> Birn, “Footprints on the future,” 523.

<sup>16</sup> Raj, “Thinking without Scientific Revolution,” 457; Pestre, “Debates in transnational,” 523.

<sup>17</sup> Safier “Global knowledge,” 143.

<sup>18</sup> Zabala, “Historia de la microbiología,” 140.

las ciudades, las provincias o los países.<sup>19</sup> Estos «centros de ciencia» en los que también son considerados los jardines botánicos, los hospitales y las universidades, han sido estudiados desde la década de 1970 con la perspectiva constructivista, la cual explora históricamente la constitución de estos espacios.<sup>20</sup>

Estos lugares de la ciencia no son, por mucho, vacíos o pasivos, sino que tienen la capacidad de moldear el conocimiento que se va construyendo; y si el conocimiento se transforma de acuerdo con el lugar o el espacio al que pertenece, entonces éste no es estable y varía de lugar en lugar. Al mismo tiempo, es importante destacar que no sólo se habitan lugares materiales, también se ocupa una gran variedad de espacios abstractos como por ejemplo los espacios sociales. Éstos tienen acción y permiten -y a veces definen- decir, hacer y entender cosas. Por lo tanto, el conocimiento científico se adquiere en sitios específicos, circula de un lugar a otro y se hace y se reconstruye por cómo se habla.<sup>21</sup> Por lo anterior, el «giro geográfico» es importante para la historia de la ciencia global ya que la circulación sucede al interior de estos espacios y cuya geografía cambia de manera histórica.<sup>22</sup> En otras palabras, el espacio donde se va construyendo el conocimiento científico es importante, ya sea éste físico, abstracto o metafórico, y es atravesado por las redes y por el material que circula en ellas, dando soporte a las unidades de análisis de la historia global de la ciencia.

---

<sup>19</sup> Livingstone, *Putting science in its place*, xi; Matharan, “Reflexiones,” 170.

<sup>20</sup> Sivasundaram, “Sciences and the global,” 154; Golinski, *Making natural*, 79.

<sup>21</sup> Livingstone, *Putting science in its place*, 6; Meusburger, *Geographies of science*, x, 5, 18.

<sup>22</sup> Meusburger, *Geographies of science*, ix; Raj, “Beyond Postcolonialism,” 345.



## **La genética molecular bacteriana en México durante las décadas de 1970 a 1990: un caso de estudio**

En esta sección se pretende hacer un breve esbozo de los objetos de estudio de este trabajo. Primeramente, y siguiendo la «engañosamente sencilla técnica antropológica de seguir algo»,<sup>23</sup> se ubica al doctor Fernando Bastarrachea Avilés como uno de los pioneros en México de la genética molecular bacteriana. Esta práctica se refiere al estudio del material genético de los procariontes, en especial la bacteria *Escherichia coli*.<sup>24</sup>

El doctor Bastarrachea ingresó a la planta académica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) dentro del Instituto de Investigaciones Biomédicas (IIBm) e inició la línea de investigación «Genética Molecular del Metabolismo Nitrogenado» en 1978. En su trayectoria académica, de 1957 a 1959, realizó estudios de maestría en Bacteriología en la Universidad de Wisconsin y trabajó en The Veteran's Administration Hospitals de Madison bajo la tutoría del doctor Dexter S. Goldman, donde aprendió a trabajar con las enzimas de la glucólisis. Regresó a México en 1959 y para 1960 ingresó al Departamento de Bioquímica del Centro de Investigación y Estudios Avanzados (CINVESTAV) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) donde recibió su doctorado en 1965 bajo la dirección del doctor Manuel Valerio Ortega Ortega.<sup>25</sup>

Con esta información, en el inicio de este proyecto y de la investigación misma, se pretendía realizar un trabajo exhaustivo de archivo. Sin embargo, las condiciones mundiales y nacionales relacionadas con el nuevo coronavirus SARS-CoV-2, causante de la enfermedad Covid-19, impidieron el acceso a cualquier instalación pública durante todo el año 2020 y parte del 2021 por lo que se tuvo que modificar la forma de trabajo. La información obtenida de

---

<sup>23</sup> McCook, "Focus: Global currents," 776.

<sup>24</sup> Dale, *Molecular genetics of bacteria*, xi.

<sup>25</sup> Camacho, "Obituario," 10-11.

documentos relacionados con el trabajo del doctor Bastarrachea proviene de registros virtuales, los cuales serán mencionados de manera puntual. Por lo anterior, se optó por darle énfasis a las entrevistas con los y las estudiantes del doctor Bastarrachea para mostrar la construcción de la práctica de la genética molecular bacteriana que colocó al país en la vanguardia.

Estudiar las instituciones y su estructura social podrá responder la interrogante del desarrollo de la disciplina en la que el doctor Bastarrachea fue pionero; tal es el caso del Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN) que es el actual Centro de Ciencias Genómicas (CCG). Por último y no menos importante, analizar el contenido epistémico del conocimiento científico que refiere a la definición de los materiales, los métodos con los que se les estudia, los instrumentos utilizados, los conceptos que se formulan, las nuevas técnicas moleculares, los artículos publicados, las colaboraciones, la formación de recursos humanos; dará claridad a la forma en la que el conocimiento se mueve y se va transformando dependiendo de los lugares y los contextos a los que arriba.

Los trabajos del doctor Bastarrachea con otros científicos durante sus estancias en el extranjero, las actualizaciones en genética molecular bacteriana y la publicación de sus resultados en revistas de renombre, son agentes clave en la circulación del conocimiento científico de la genética molecular bacteriana en México y el mundo. Así pues, la reconstrucción histórica que se dispone en el presente trabajo involucra los trabajos pioneros de Bastarrachea en el contexto de la microbiología en México, así como las redes de colaboración en las que viajaron sus prácticas, sus materiales y su conocimiento.

## Consideraciones del capítulo

Los resultados obtenidos dentro de los laboratorios a través de prácticas reproducibles y la trascendencia que éstos tienen, son una de las principales materias primas de la historia de la ciencia, la cual es formada por personajes de diferentes localidades sociales y profesionales, y resulta en el empalme de conocimiento científico adquirido por otras tantas personas en diferentes épocas.<sup>26</sup> Particularmente, con el desarrollo de las comunicaciones y la internacionalización de la ciencia durante los últimos años de la Segunda Guerra Mundial y durante la Guerra Fría, se dio un fenómeno de interconexión mundial sin precedentes, la globalización.

Tal circunstancia internacional no sólo quedó en el plano de lo social, de lo económico o de lo político, sino que alcanzó a la historia de la ciencia y a la forma en la que ésta se fue desarrollando. Este es el caso del modelo historiográfico de centro-periferia descrito anteriormente, empero, una nueva mirada en la historiografía comenzó a poner en duda la difusión del conocimiento científico, el giro global. Con éste, se pone énfasis en la descentralización del conocimiento otorgándole importancia a la nueva región de las economías emergentes conocida como el Sur Global y los conocimientos que en ella se construyen.

De manera general, el giro global permite ir más allá de las explicaciones históricas centradas en Europa y los Estados Unidos atendiendo temas relacionados con el poder y el colonialismo, retomando figuras clave que habían sido borradas de las narrativas tradicionales, así como también lo fueron sus prácticas. El conocimiento, en tanto práctica, y sus materiales, viajan a través de las redes de colaboración que se van creando por las interconexiones del quehacer científico. Por esto la historia global de la ciencia pone de relieve la interacción de

---

<sup>26</sup> Lindee, *Moments of truth*, 3, 25, 85.

expertos y expertas de diferentes nacionalidades. Y aunque la historia global no implica una historia total, el panorama general sí es importante ya que acentúa a la movilidad como una característica constitutiva del conocimiento científico.

Por otro lado, las geografías de la ciencia permiten delimitar un campo del conocimiento, en este caso la genética molecular bacteriana, como objeto de investigación, con el análisis de las instituciones en las que se ha realizado. Así pues, también incorpora una dimensión poco atendida como lo son los lugares en donde se produce la ciencia, por ello, cabe destacar que el espacio, más allá de un laboratorio, es importante en tanto que moldea el conocimiento y a quienes lo construyen. La creciente formación de nuevas generaciones de científicos y científicas, los grupos de investigación y sus espacios habitados tienen una gran capacidad de organizarse en torno a determinados objetivos para ir construyendo el conocimiento científico y su análisis permite entender cómo operan y qué factores alteran su funcionamiento y/o su productividad. En consecuencia, me gustaría terminar con una frase de David N. Livingstone, la cual refleja perfectamente la tesis que subyace en este trabajo «a medida que se mueve se modifica; a medida que viaja se transforma».<sup>27</sup>

---

<sup>27</sup> Livingstone, *Putting science in its place*, 4.

## Capítulo 2

### Culturas epistémicas y nuevas fuentes primarias: cómo entrar a un laboratorio del pasado

La ciencia, entendida como un sistema social y cultural, no puede estudiarse de manera aislada y descontextualizada.<sup>1</sup> En el capítulo anterior se describieron las características de la historia global de la ciencia para estudiar (y responder) el surgimiento de la genética molecular bacteriana en México durante los últimos años de la Guerra Fría. En este capítulo se hace énfasis en dos aspectos de carácter metodológico para complementar el análisis histórico del presente caso de estudio. El primero se refiere a la forma en la que se estudian las prácticas que caracterizan un campo de conocimiento. Ello implica utilizar la noción de «culturas epistémicas» propuesta por Karin Knorr-Cetina.<sup>2</sup>

20

---

El segundo aspecto, a sabiendas de que no se tuvo acceso al laboratorio original ni a los archivos históricos o bibliotecas físicas, detalla la metodología empleada para realizar entrevistas cualitativas con informantes clave que estuvieron en el momento histórico estudiado de este trabajo. Asimismo, se pretende establecer una justificación teórica que permita mostrar la importancia de estos registros orales para realizar una historia de la ciencia que no involucre una búsqueda exhaustiva en los acervos tradicionales.

En consecuencia, lo que se pretende en los siguientes apartados es explicar el caso de la innovación científica en términos de las prácticas de laboratorio para posteriormente situarlas en el contexto de las entonces novedosas técnicas de biología molecular y la estandarización de las técnicas que posteriormente formarían parte de la cotidianidad del CIFN y las subsecuentes instituciones dedicadas a la genómica y a la biotecnología como lo fue el Centro de Investigación

---

<sup>1</sup> González-Silva, “La circulación del conocimiento,” 7.

<sup>2</sup> Knorr-Cetina, *Epistemic cultures*, 329 pp.

sobre Ingeniería Genética y Biotecnología (CIIGB) que actualmente es el Instituto de Biotecnología (IBt) de la UNAM. No en vano se mencionan estas instituciones pues, siguiendo la trayectoria tanto de investigación como personal del doctor Bastarrachea, son lugares de construcción de conocimiento científico recorridos por él mismo y por sus estudiantes quienes fueron citados a entrevistas en una modalidad a distancia (virtual) para la elaboración de este trabajo.

### **El factor *S(ocial)* en la historia de la ciencia: del mito a la construcción**

La historia de la ciencia como disciplina comienza en las primeras décadas del siglo XX abarcando un periodo comprendido entre 1920 a 1970. Influido por el positivismo de Auguste Comte, George Sarton (1884-1956) ansiaba hacer de la historia de la ciencia una disciplina capaz de unificar los conocimientos científicos y que estuviera enmarcada en los ideales del momento. Este modelo de la ciencia es el que comúnmente tiene el imaginario colectivo aún en nuestros días, es decir, una ciencia objetiva, que busca la verdad acerca de los fenómenos del mundo, con una tendencia ineludible hacia el progreso y que nada tiene que ver con lo que sucede en y con la sociedad. Esta forma de hacer historia de la ciencia, o de otro modo, esta historiografía, tenía la característica de realizar grandes narrativas a manera de compilaciones, estaba centrada en actores que fungían como «héroes» o «genios» y construía historias acerca de los «grandes» descubrimientos, teorías o ideas.<sup>3</sup>

Sin embargo, en la década de 1980 el denominado «giro cultural» influenció a la disciplina y a quienes se dedicaban a ella, de tal suerte que se centraron cada vez más en los diversos aspectos de la existencia humana que habían sido descuidados anteriormente. Estas nuevas narrativas trataban de la gente común y a veces de personas que estaban lejos de lo

---

<sup>3</sup> Kragh, *Introducción a la historia de la ciencia*, 29-32; Pimentel, “¿Qué es la historia cultural de la ciencia?,” 418.

común. Es entonces cuando se da el cambio en los estudios históricos a las esferas de la cultura.<sup>4</sup> Mucho de esto deviene del trabajo de Thomas S. Kuhn en *La estructura de las revoluciones científicas* y de una de sus múltiples lecturas por parte del autodenominado Programa Fuerte de la Sociología del Conocimiento Científico o también conocido como la Escuela de Edimburgo (cuyos representantes más conocidos son Barry Barnes y David Bloor). Este Programa Fuerte consideró a la ciencia como un sistema de creencias relativas a los grupos sociales, las cuales eran explicadas por los grupos que las construyeron y por los intereses sociales que las impulsaron.<sup>5</sup>

A partir de estos trabajos, la ciencia ya no era vista como algo que sólo podían realizar los «grandes hombres» que, al mismo tiempo, eran considerados «genios» intelectuales. La ciencia entonces comenzó a ser comprendida como una práctica social y cultural construida en términos de sus actores e incluso de sus materialidades. Con ello, las nuevas narrativas permitieron destacar nuevos actores e incluso nuevos intereses, los cuales habían sido invisibilizados y menospreciados. En otras palabras, la ciencia ya no era un cúmulo de teorías que se iban mejorando en un agregado de esquemas conceptuales, sino un conjunto de prácticas concretas que podían ser cuestionadas y estudiadas por otras disciplinas como la historia, la sociología e incluso la antropología.<sup>6</sup>

Así pues, entender a la ciencia como práctica social es el objeto de estudio de los estudios sociales de la ciencia. Ello implica que se tiene que dejar de lado el estudio de la lógica interna de la ciencia y es necesario voltear la mirada a sus particularidades políticas, sociales, económicas, institucionales e históricas que hicieron contingente su desarrollo.<sup>7</sup> De aquí se deriva que en este trabajo se defiende la idea de una práctica científica que es histórica y

---

<sup>4</sup> Iggers, *A global history of modern historiography*, 270-75.

<sup>5</sup> Daston, "Science Studies and the History of Science," 801-02; Vinck, *Ciencias y sociedad*, 201-04; Golinski, *Making natural*, 27-28.

<sup>6</sup> Pimentel, "¿Qué es la historia cultural de la ciencia?" 419.

<sup>7</sup> Zabala, "Historia de la microbiología," 140.

socialmente construida y que para nada se relaciona con el ideal unificacionista del positivismo de principios del siglo XX, el cual aún permanece en el imaginario colectivo del público lego e incluso de los y las científicas que trabajan en los laboratorios experimentales. En parte, tiene que ver con lo que se realiza dentro de los laboratorios experimentales y cómo es que la imagen pública de la ciencia considera a este espacio un recinto único en que sólo las «grandes mentes» pueden trabajar.

Para saber cómo es que funcionan los laboratorios y cómo se construye el conocimiento, a finales de la década de 1970 y principios de 1980 la propuesta *constructivista*, y en particular la que se utiliza en este escrito, de la socióloga austriaca Karin Knorr-Cetina, se contrapone a la postura realista, la cual acepta que existe una realidad externa e independiente del sujeto (en tanto sujeto cognoscente), de sus conceptos y de sus representaciones; además, en esta realidad el mundo y sus fenómenos existen independientemente de que se les conozca o no, y aún si no se les conoce, existe una imagen o representación del mundo tal y como es en sí mismo, por lo cual, habría una única descripción verdadera y completa del mundo. Este tipo de realismo no implica una inmutabilidad, sino que aquello ya hecho es independiente de los esquemas conceptuales del sujeto.<sup>8</sup>

Por el contrario, el constructivismo acepta que los hechos del mundo no son reales en el sentido de ser independientes de las representaciones del sujeto, de sus esquemas conceptuales, de la manipulación de los fenómenos y tampoco son algo que se puede dar por sentado, sino que son construcciones fabricadas por los y las científicas. Asimismo, son construcciones contextualmente específicas que se distinguen por la contingencia situacional de su manufactura.<sup>9</sup> A partir de esto, Knorr-Cetina estudia un laboratorio de bioquímica en

---

<sup>8</sup> Lombardi, *Los múltiples mundos de la ciencia*, 19-22; Álvarez, “El debate constructivismo social/realismo científico,” 236.

<sup>9</sup> Fleck, *La génesis y el desarrollo de un hecho científico*, 85-92; Knorr-Cetina, *La fabricación del conocimiento*, 51, 61; Álvarez, “El debate constructivismo social/realismo científico,” 239.



Berkeley, los proyectos de colisión de partículas de la Organización Europea para la Investigación Nuclear (CERN, por sus siglas en francés) y un laboratorio de biología molecular del Instituto Max Planck en Göttingen, Alemania.<sup>10</sup>

En consecuencia, Knorr-Cetina pasa a formar parte de toda esta vertiente de «estudios de laboratorio» que, a partir de métodos etnográficos, se dedican a observar las prácticas concretas, a los y las científicas y, además, dan cuenta de todo el proceso de construcción del conocimiento.<sup>11</sup> Con esto, también se va adentrando en el campo de la sociología cultural que tiene como propósito revelar y criticar las estructuras del conocimiento científico. Asimismo, remarca las decisiones de quienes se dedican a la investigación para comunicar los aprendizajes, relegarlos o incluso no hacerlos públicos.<sup>12</sup>

De esta manera, Knorr-Cetina acuña el concepto de las «culturas epistémicas», donde «cultura» es el campo de producción del conocimiento que incluye los aspectos prácticos, los simbólicos y los organizacionales de la actividad científica. En palabras de la autora «la cultura, tal y como utilizo el término, se refiere a los patrones y dinámicas agregadas que se manifiestan en la práctica de los y las expertas, y que varían en los distintos ámbitos de la pericia. La cultura, por tanto, remite a la práctica, de manera específica».<sup>13</sup>

Para estudiar las prácticas que caracterizan un campo de conocimiento, la noción de las culturas epistémicas ayuda a comprender cómo los y las científicas llegan a determinados conocimientos y para ello se refiere «a los conjuntos de prácticas, acuerdos y mecanismos unidos por necesidad, afinidad y coincidencia histórica que, en un área determinada de la

---

<sup>10</sup> Knorr-Cetina, *Epistemic cultures*, 17-18; Knorr-Cetina, *La fabricación del conocimiento*, 105.

<sup>11</sup> Vinck, *Ciencias y sociedad*, 230.

<sup>12</sup> Jiménez-García, “Nociones de sociología cultural,” 129.

<sup>13</sup> Cita en idioma original: «Culture, as I use the term, refers to the aggregate patterns and dynamics that are on display in expert practice and that vary in different settings of expertise. Culture, then, refers back to practice, in a specific way.» en Knorr-Cetina, *Epistemic cultures*, 8; Zabala, “Reseña,” 209; Jiménez-García, “Nociones de sociología cultural,” 135; Knorr-Cetina, *Epistemic cultures*, 1, 8.

experiencia profesional, conforman cómo sabemos lo que sabemos».<sup>14</sup> En otras palabras, las culturas epistémicas se entienden como prácticas de un momento dado que varían de acuerdo con el grupo social (en este caso la comunidad científica) y con el tiempo su intención es la de desplegar conocimiento aceptado.

La presunción subyacente que motiva el concepto de culturas epistémicas es la idea de que la ciencia y el conocimiento no son universales, como se habían planteado a principios del siglo XX. Por el contrario, asume la existencia de la pluralidad epistémica y la construcción múltiple. De ahí que esta noción, y sus características antes mencionadas, apoyan los supuestos del capítulo anterior sobre la historia global de la ciencia articulándose de manera complementaria para explicar cómo es que se dio la emergencia de la genética molecular bacteriana en México al interior de los institutos de investigación de la UNAM. Asimismo, toma en cuenta a los sujetos antes ignorados como son los y las estudiantes que, conforme se explicará más adelante, intercambiaron conocimientos de biología molecular con el doctor Bastarrachea para así estudiar, inicialmente, los mecanismos de transmisión de caracteres en *E. coli* en conjunción con las apenas estandarizadas técnicas de clonación molecular.

Las culturas epistémicas están basadas metodológicamente en los estudios etnográficos de los laboratorios cuya intención es ir más allá de la noción de experimento como unidad de análisis y sobrepasar la idea del «laboratorio» como un mero espacio físico para vincularla a las reconfiguraciones de los órdenes natural y social.<sup>15</sup> La primera reconfiguración es cuando se trasladan los objetos a estudiar desde su medio natural al ambiente del laboratorio, de manera sencilla y como menciona Knorr-Cetina, «traerlos a casa» para estudiarlos. La segunda

---

<sup>14</sup> Knorr-Cetina, *Epistemic cultures*, 1.

<sup>15</sup> Como ejemplos clásicos de la literatura se encuentran los libros de Bruno Latour y Steve Woolgar (*Laboratory life: the construction of scientific facts*, 1979), de Joan Fujimura (*Crafting Science: A sociohistory of the quest for the genetics of cancer*, 1996) y los artículos de Martina Merz y Karin Knorr-Cetina (*Deconstruction in a 'thinking' science: Theoretical physicists at work*, 1997 y *Floundering or frolicking. How does ethnography fare in theoretical physics? (and what sort of ethnography?): A reply to Gale and Pinnick*, 1997).

reconfiguración, la del orden social, implica que los y las científicas necesitan adaptarse como «sujetos epistémicos» para estudiar los objetos que han traído al laboratorio. Durante esta transición, dichos sujetos adquieren capacidades que los califican como idóneos para realizar tal o cual investigación.<sup>16</sup>

Así pues, la circulación del conocimiento, junto con sus formas materiales, y las geografías de la ciencia se complementan de manera tal que permiten entender desde otra arista cómo es que el conocimiento, en tanto práctica, se mueve por las interconexiones del quehacer científico y que los lugares en donde se fabrica la ciencia, más allá de un laboratorio, moldean el conocimiento y a quienes lo construyen. En otras palabras, el conocimiento científico se produce en sitios específicos, circula de un lugar a otro y se hace y se reconstruye por cómo se habla.

### **Nuevas fuentes primarias: entrevistas para la historia de la ciencia**

Las etnografías de laboratorio se han realizado con un método de investigación cualitativo que recoge información de manera interactiva cuando la persona que observa participa en la vida social y en las actividades del día a día de otras personas que forman parte de una comunidad, esto es, de manera puntual, el método de la observación participante. De esta forma, es posible realizar un acercamiento en profundidad a las personas y a las instituciones que pertenecen.<sup>17</sup>

Sin embargo, como se mencionó al principio de este capítulo, el acceso al laboratorio original es casi imposible y debido a la pandemia del nuevo coronavirus SARS-CoV-2, el acceso a cualquier instalación pública, incluyendo los archivos históricos, durante todo el año 2020 y parte de 2021 fue nulo. Entonces queda la incógnita de cómo realizar esta investigación sin desatender las medidas de seguridad e higiene que el gobierno actual de la República Mexicana

---

<sup>16</sup> Knorr-Cetina, *Epistemic cultures*, 26-28; 32.

<sup>17</sup> Rodríguez, *Metodología de la investigación*, 165-66.

ha implementado dada la situación que, en el momento de la realización de esta investigación, se presenta. Una alternativa viable fue realizar entrevistas cualitativas en profundidad que apoyan a la historia oral como recurso independiente de los archivos históricos.

Las entrevistas son la herramienta predilecta por parte de quienes buscan adquirir conocimientos acerca de la vida social y éstas son flexibles y dinámicas. Las entrevistas cualitativas en profundidad son:

reiterados encuentros cara a cara entre el investigador y los informantes, encuentros [...] dirigidos hacia la comprensión de las perspectivas que tienen los informantes respecto de sus vidas, experiencias o situaciones, tal como las expresan en sus propias palabras. Las entrevistas siguen el modelo de una conversación entre iguales, y no de un intercambio formal de preguntas y respuestas. [...] El propio investigador es el instrumento de la investigación [...].<sup>18</sup>

Para tales efectos es pertinente aclarar que por «informantes» se entiende que son todas aquellas personas con quienes se entablan relaciones estrechas, se les realizan las entrevistas y son las fuentes primarias de información.<sup>19</sup>

Entre las entrevistas se pueden diferenciar tres tipos: la historia de vida, la dirigida al aprendizaje sobre acontecimientos y actividades que no se pueden observar directamente, y la que proporciona un cuadro amplio de una gama de escenarios, situaciones o personas.<sup>20</sup> Aunque bien podrían explicarse los tres tipos de entrevistas, el que por razones evidentes fue seleccionado es el segundo (aprendizaje sobre acontecimientos y actividades que no se pueden

---

<sup>18</sup> Taylor y Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos*, 101.

<sup>19</sup> Taylor y Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos*, 61.

<sup>20</sup> Taylor y Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos*, 102-03.

observar directamente).<sup>21</sup> En estas entrevistas los y las informantes son precisamente ese acceso que fue negado por no coincidir en el espacio y el tiempo del suceso ocurrido, es decir, son los ojos y los oídos del pasado que llegan al momento presente de la entrevista volviéndose una nueva historia escrita y por lo tanto una nueva fuente primaria.

Independientemente del tipo de entrevista que se elija dada la investigación que se va a realizar, estas tres coinciden en una serie de técnicas básicas que implican (I) establecer una relación amistosa y armoniosa con los y las informantes, (II) establecer repetidos contactos, (III) propiciar entrevistas con más informantes, (IV) hacer explícitos los propósitos de la investigación que se va a realizar y (V) permitirles optar por el anonimato, entre otras.<sup>22</sup>

En el caso del presente trabajo las entrevistas no pudieron ser realizadas de manera presencial, sin embargo, se optó por el uso de plataformas de videoconferencia, en particular «Zoom».<sup>23</sup> De esta manera fue posible grabar las entrevistas tanto de manera visual como auditiva y realizar las transcripciones. Todo lo relacionado con las primeras entrevistas fue aprendido, estudiado y revisado en el grupo del Seminario de Temas Selectos de Estudios Filosóficos y Sociales de Ciencia y Tecnología: *Elementos de trabajo de campo para el estudio de la ciencia y la tecnología*, impartido por el doctor Renato Huarte Cuéllar en el Programa de Posgrado en Filosofía de la Ciencia, UNAM durante el semestre 2021-1 (agosto-diciembre, 2020).

---

<sup>21</sup> Por cuestiones de espacio, la profundización de los tipos de entrevistas es accesible y detallada en el capítulo 4 de libro *Introducción a los métodos cualitativos de investigación* de Steve Taylor y Robert Bogdan, 1987.

<sup>22</sup> Taylor y Bogdan utilizan el término «rapport» y le asignan una serie de definiciones tales como «comunicar la simpatía que se siente por los [y las] informantes y lograr que la acepten como sincera», o también «atravesar las “defensas contra el extraño”», o «lograr que las personas se “abran” y manifiesten sus sentimientos respecto del escenario y de otras personas». En Taylor y Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos*, 55; Taylor y Bogdan, *Introducción a los métodos cualitativos*, 104-10.

<sup>23</sup> <https://zoom.us/>

Los y las informantes para las entrevistas se seleccionaron con base en los siguientes criterios:

1. Haber sido estudiante del doctor Bastarrachea entre los años 1975 – 1985.
2. Haber formado parte del grupo de trabajo del doctor Bastarrachea en el IIBm o en el CIFN entre los años 1975 – 1985.
3. Tener conocimiento de los trabajos realizados en la línea de investigación «Genética Molecular del Metabolismo Nitrogenado».
4. Conocer a profundidad las prácticas relativas a la genética bacteriana y a la ingeniería genética.

En un inicio se consideró a tres informantes que cumplen los cuatro requisitos anteriores. El primero es el doctor David René Romero Camarena (CCG, UNAM), la segunda es la doctora Alejandra Alicia Covarrubias Robles (IBt, UNAM) y el tercero es el doctor Luis Servín González (IIBm, UNAM). A cada informante se le envió un correo electrónico para establecer la fecha y la hora de la entrevista, y sólo se obtuvo respuesta del doctor David Romero y de la doctora Alejandra Covarrubias. Asimismo, se realizaron dos entrevistas en diferentes días para cada informante y tener un total de cuatro entrevistas. La duración de cada sesión fue de entre 60 y 90 minutos.

Igualmente, se realizó una guía de preguntas que fue utilizada para todos los casos y el orden de éstas fue establecido de acuerdo con la conversación. Las preguntas fueron las siguientes:

<b>Sesión 1</b>
1. ¿En dónde estudiaste la licenciatura y tus posgrados?
2. ¿Cómo llegaste a ese posgrado?
3. ¿Cuándo fue la primera vez que entraste al laboratorio del doctor Bastarrachea?
4. ¿Cómo se llamaba el laboratorio? ¿se dedicaban principalmente a eso?
5. ¿Dónde estaba ubicado el laboratorio?

6. ¿Cómo fue tu relación (de trabajo) con el doctor Bastarrachea?
7. ¿Cómo eran las relaciones entre la gente del laboratorio?
8. ¿Cómo te interesaste por la genética molecular bacteriana?
9. Durante tus años de estudiante ¿era común estudiar estos temas?
10. ¿Cuándo hiciste tu tesis de doctorado? O sea ¿en qué año?
11. ¿Qué fue lo que llamó tu atención para hacer una tesis de doctorado relacionada con estos temas?
12. ¿Cómo fue entonces que comenzaste estas investigaciones?
13. Sé que investigaste a *Escherichia coli* ¿Qué tenía de especial en ese momento?
14. ¿Cómo llegaste a ese tema, lo elegiste, te lo propuso el doctor Bastarrachea?
15. Entonces ¿se podría decir que estaba de moda estudiar el operón *glnALG*?
16. ¿Qué esperabas responder en ese momento?
17. Durante esa época ¿tu trabajo estaba financiado? ¿recuerdas de dónde provenía el financiamiento?
18. ¿Crees o consideras que tu investigación se relacionaba con las políticas de ciencia y tecnología del país?
19. En ese momento era casi el final del periodo conocido como Guerra Fría ¿consideras que tu trabajo se relacionaba con este momento histórico?

## Sesión 2

1. ¿Qué aprendiste en el extranjero sobre biología molecular?
2. Cuando regresaste, ¿trabajaste en el Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno? ¿Trabajaste en el Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología?
3. ¿Estuviste involucrada/o en el "Programa de aislamiento, caracterización, manipulación y regulación de los genes del metabolismo nitrogenado de *E. coli* y otros microorganismos?
4. ¿Por qué consideras que era importante estudiar el metabolismo nitrogenado de *E. coli*?
5. Trabajaste con el Dr. Bastarrachea cuando él se ocupaba de la parte genética centrada alrededor del sistema de regulación para el gen glutamino sintetasa en *E. coli* ¿Hiciste técnicas de biología molecular? ¿Cómo fue el trabajo de estandarización de estas técnicas?
6. ¿Qué es el operón *glnALG*?
7. ¿Cómo fue que surgió el interés por el operón *glnALG*?
8. En el Centro de Investigación sobre Fijación del Nitrógeno ¿buscaban aplicar la ciencia genómica a la agricultura?
9. Respecto a lo que sabías mientras eras estudiante y ahora como investigador(a) ¿cómo consideras que ha cambiado el concepto del operón *glnALG*?

Al término de las entrevistas, se procedió a realizar su transcripción y con ello una triangulación para realizar un acercamiento a los datos con múltiples perspectivas y colocar varios puntos de vista teóricos con el propósito de evaluar su utilidad y extender las posibilidades para producir conocimiento con base en las siguientes categorías:<sup>24</sup>

<p><b>Categorías de la historia global</b></p> <p>Intercambios</p> <p>Conexiones</p> <p>Colaboraciones</p> <p>Circulación del conocimiento</p> <p>Guerra Fría</p>
<p><b>Categorías de las culturas epistémicas</b></p> <p>Biología molecular</p> <p>Ingeniería genética</p> <p>Genética bacteriana</p> <p>Clonación molecular</p> <p>Prácticas científicas</p>
<p><b>Categorías de las instituciones</b></p> <p>Instituto de Investigaciones Biomédicas</p> <p>Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno</p> <p>Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología</p>
<p><b>Categorías extra</b></p> <p>Equipos de laboratorio</p> <p>Técnicas de laboratorio</p>

Con la metodología anterior es posible realizar una historia capaz de reconstruir procesos sociohistóricos, convirtiendo el testimonio oral en una nueva fuente primaria escrita, al mismo tiempo que permite acceder a nuevos datos que pocas veces se encuentran en los documentos de los archivos históricos. Asimismo, un aspecto llamativo de la historia oral es la capacidad de ir más allá de los espacios clásicos en donde se realiza la investigación histórica

---

<sup>24</sup> Flick, *Introducción a la investigación cualitativa*, 243-44.



como son los archivos o las bibliotecas. También, es importante aclarar que en el presente escrito la noción de «historia oral» es entendida como «información transmitida oralmente, en un intercambio personal, de una clase que pueda tener valor histórico». En este sentido, y también como lo explica Soraya De Chadarevian, el concepto de «historia oral» hace referencia a la entrevista misma y a historias basadas en entrevistas.<sup>25</sup>

En ocasiones, la desconfianza por la historia oral radica en aspectos psicológicos como la memoria selectiva. Sin embargo, lo oral no se excluye de lo escrito, sino que busca en este último su complementación, por ello, es importante realizar la triangulación entre entrevistas y con algunas otras fuentes primarias escritas.<sup>26</sup> Igualmente, para establecer una coherencia con el enfoque de la historia global de la ciencia, las entrevistas realizadas en este trabajo están enfocadas a informantes que no pertenecían a una estructura de poder dominante al momento de la estandarización de las técnicas de biología molecular e ingeniería genética. Por el contrario, eran estudiantes que comenzaban una carrera científica e iniciaban sus redes de colaboración en una práctica totalmente novedosa para México y para las instituciones que apenas comenzaban a construirse y estructurarse en el área de la genética molecular bacteriana.

---

<sup>25</sup> De Chadarevian, “Using interviews,” 52, 58; Lara y Antúnez, “La historia oral como alternativa,” 48.

<sup>26</sup> De Chadarevian, “Using interviews,” 56; Lara y Antúnez, “La historia oral como alternativa,” 53.

## Capítulo 3

### México, 1970-1990: la construcción de la genética molecular bacteriana

En el siglo XXI, al menos en el año 2021, es relativamente sencillo que casi cualquier persona que haya profundizado en temas de genética y biología molecular pueda hablar de biotecnología, ingeniería genética, enzimas de restricción y DNA recombinante. Sin embargo, y aludiendo al artículo de Lorraine Daston sobre la naturalización de la objetividad y la verdad, pocas veces los y las científicas nos preguntamos por qué utilizamos y replicamos ciertas técnicas de laboratorio y no otras, o por qué existen ciertas prácticas científicas.<sup>1</sup> Esto es precisamente lo que este capítulo trata de ofrecer desde la historia de la ciencia: una respuesta a estas interrogantes y hacer notar la relevancia de algunas personas e instituciones que estuvieron involucradas en la construcción de la genética molecular bacteriana en México en las décadas de 1970-1990.

En el libro de Thomas Brock, *The emergence of bacterial genetics* publicado en 1990, el último capítulo lo dedica a lo que él llama la «revolución biotecnológica» y asegura que este gran cambio en la biología experimental se debe a las novedosas técnicas de DNA recombinante. Asimismo, afirma que sin la genética bacteriana esta nueva metodología en las ciencias biológicas nunca hubiera sido posible. En el contexto de Brock sólo existían dos únicos propósitos de la investigación del DNA recombinante y que aún perduran en este momento presente. El primero es producir copias de DNA (o lo que en los capítulos anteriores se ha denominado clonación molecular) que pueden ser utilizadas para las investigaciones bioquímicas y genéticas. El segundo es obtener la expresión de los genes clonados para producir

---

<sup>1</sup> Daston, “Leaves of truth,” 10.

grandes cantidades de proteína(s).<sup>2</sup> Las expectativas de esta nueva tecnología se dirigieron hacia una investigación aparentemente ilimitada para manipular la famosa «molécula de la vida» con múltiples fines e impactos.

### **Antes de que la ingeniería genética en bacterias llegara a México**

Fernando Bastarrachea Avilés (1933-2011) obtuvo su título de químico bacteriólogo parasitólogo por la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN con la tesis «Antibiótico de acción específica para mycobacteria producido por un *Streptomyces* del suelo» en el año de 1957. Durante las décadas de 1950 y 1960 publicó trabajos de investigación experimental con *Mycobacterium tuberculosis* en la *Revista Mexicana de Tuberculosis*, que después de 1962 cambió su nombre a *Neumología y Cirugía de Tórax*, en la *Revista Latinoamericana de Microbiología* y en el *Acta Tuberculosea Scandinavica*. Mucho de su trabajo con este bacilo tuberculoso lo realizó en el grupo del doctor Luis Bojalil en la Unidad de Patología de la UNAM, que actualmente es la Unidad de Investigación en Medicina Experimental de la Facultad de Medicina, UNAM y que se encuentra en el Hospital General de México «Dr. Eduardo Liceaga».<sup>3</sup>

Durante sus estudios en la Universidad de Wisconsin (1957-1959) para obtener el grado de Maestría en Ciencias (Bacteriología) continuó trabajando con *M. tuberculosis* y sus enzimas bajo la dirección del bioquímico estadounidense Dexter Stanley Goldman en el Tuberculosis Research Laboratory del Veterans Administration Hospital (actualmente el William S. Middleton Veterans Hospital) y publicó sus trabajos en el *Biochimica et Biophysica Acta* y en el *Journal of Bacteriology*.<sup>4</sup> Para ese momento, el doctor Goldman era un miembro

---

<sup>2</sup> Brock, *The emergence of bacterial genetics*, 325.

<sup>3</sup> Comunicación personal de Fernando Bastarrachea con Ana Barahona (2008) (2008); Vázquez-García, “La Sociedad Mexicana de Neumología,” 72; <https://www.revistanct.org.mx/lista.php> (página 4); <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/nlmcatalog/64754>; Camacho, “Obituario,” 10-11.

<sup>4</sup> Comunicación personal de Fernando Bastarrachea con Ana Barahona (2008); Bastarrachea, “Diphosphopyridine nucleotide,” 174-76; Bastarrachea, “Enzyme systems,” 94-100.

activo del Veterans Administration Hospital cuyas instalaciones desde la década de 1950 se enfocaron en el tratamiento e investigación de la tuberculosis. Lo anterior como resultado de los esfuerzos del gobierno norteamericano a través del médico estadounidense Martin Cummings, quien fuera director del *Research Service*, fundado en 1953, y que trabajó por mejorar las relaciones del Veterans Administration Hospital con las Facultades de Medicina de Estados Unidos que carecían de laboratorios de investigación.<sup>5</sup>

Una vez concluida la maestría con su tesis «Aldolase and phosphofrutokinase from *Mycobacterium tuberculosis*», Bastarrachea regresa a México y estudia el doctorado (1960-1965) en el CINVESTAV bajo la dirección del bioquímico mexicano Manuel Valerio Ortega.<sup>6</sup> El doctor Ortega fue uno de los fundadores del Departamento de Bioquímica del CINVESTAV en 1962, y durante esta misma década, impulsó la genética microbiana y la biología celular en México.<sup>7</sup> Bastarrachea comenzó las investigaciones bioquímicas y de mapeo genético en la bacteria *E. coli* obteniendo el grado de doctor con la tesis «Estudios sobre el fenómeno de la dependencia condicional a la estreptomycin en bacterias».<sup>8</sup>

Posteriormente decidió hacer estudios posdoctorales, de 1966 a 1967, en genética bacteriana con el genetista estadounidense Alvin J. Clark en el Departamento de Biología Molecular de la Universidad de California, Berkeley.<sup>9</sup> En la misma década el doctor Clark estaba adscrito al Departamento de Bacteriología y en colaboración con el microbiólogo estadounidense Michael Doudoroff y el microbiólogo canadiense Roger Stanier, desarrollaron una estrecha colaboración con el Departamento de Biología Molecular, lo cual impulsó el

---

<sup>5</sup> Hays, *A Historical Look at the Department of Veterans Affairs*, 183.

<sup>6</sup> Comunicación personal de Fernando Bastarrachea con Ana Barahona (2008).

<sup>7</sup> CINVESTAV Irapuato, “Dr. Manuel Valerio Ortega Ortega.”; CINVESTAV, “Departamento de Bioquímica.”; Barreda-Saldaña, “Ortega y Soberón. In Memoriam.”; Redacción, “Falleció el investigador Manuel Ortega.”

<sup>8</sup> Bastarrachea, “Biosynthesis of ornithine,” 151-62; Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: David Romero,” min 40:05.

<sup>9</sup> Comunicación personal de Fernando Bastarrachea con Ana Barahona (2008); Bastarrachea, “Isolation and characterization,” 641-60.

trabajo en los campos de conocimiento de la patología experimental, de la virología animal y de la microbiología.<sup>10</sup> Durante su estancia con el doctor Clark, Bastarrachea comenzó a desarrollar investigaciones sobre la recombinación del DNA con los plásmidos *F* de *E. coli* y:

diseñó una cepa de *E. coli* que llevaba tres factores *F* introducidos en diferentes puntos del cromosoma [...] y pasaba lo que era fácil de predecir. Los sectores aledaños en donde estaba cada uno de esos factores *F* se transfería muy temprano en la conjugación. Nadie pensaba que fuera posible porque pensaban que se iba a volver un verdadero desorden en términos de transferencia conjugativa, pero en la práctica funcionó muy bien y le ganó un artículo en *PNAS* [Proceedings of the National Academy of Sciences] con él [Fernando Bastarrachea] y Alvin Clark como autor.<sup>11</sup>

Durante la misma estancia posdoctoral, el trabajo de Bastarrachea le permitió convertirse en becario de la John Simon Guggenheim Memorial Foundation en el campo de la Biología Molecular y Celular en la categoría de Ciencias Naturales para Latinoamérica y el Caribe (**Fig. 1**). A su regreso a México en 1967 como experto en genética bacteriana, se incorporó al CINVESTAV como investigador con la línea de investigación de los genes de *E. coli* relacionados con la resistencia a estreptomicina y en esa época invitó a bacteriólogos internacionales de renombre como Françoise Jacob (**Fig. 2**).<sup>12</sup>

---

<sup>10</sup> University of California History Digital Archives, “Berkeley. Bacteriology and Immunology.”

<sup>11</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 2: David Romero,” min 9:26.

<sup>12</sup> Comunicación personal de Fernando Bastarrachea con Ana Barahona (2008); Bastarrachea, <https://www.gf.org/fellows/all-fellows/fernando-bastarrachea/>; Bastarrachea, “Isolation and characterization,” 641-60; Bastarrachea, “The elimination,” 153-66; “Dominance of streptomycin,” 759-74; López-Revilla, “A slow-growing,” 99-113; Willetts, “Genetic and physicochemical,” 1481-85; Sanchez-Anzaldo, “Genetic characterization,” 47-64; Sánchez-Anzaldo, “Paromomycin-resistant,” 123-28; Gómez-Eichelmann, “Mutaciones ‘sin sentido’,” 47-58; Camacho, “Obituario,” 10; Ortega, “Entrevista a Manuel V. Ortega,” 10.



**Figura 1.** Fernando Bastarrachea Avilés, ca. 1965-1966.  
(Imagen: John Simon Guggenheim Memorial Foundation.)



**Figura 2.** Fernando Bastarrachea (de izquierda a derecha, el tercero) con su grupo de trabajo en el CINVESTAV al lado de François Jacob (de izquierda a derecha, el quinto), ca. 1969.  
(Imagen: cortesía de David Romero.)

En 1978 dejó el CINVESTAV y se incorporó a la planta académica de la UNAM dentro del IIBm como Investigador Titular “C” para iniciar el proyecto «Genética Molecular del Metabolismo Nitrogenado», cuya línea de investigación, además de haber sido la más productiva, le abrió camino a la ingeniería genética y en particular a la genética molecular bacteriana que:<sup>13</sup>

[...] fue fundamental en México porque [...] estábamos [como grupo de trabajo] a un nivel muy similar a lo que estaba pasando en Estados Unidos tanto en la cuestión de [...] aislamiento de genes y su estudio como en el caso del metabolismo nitrogenado. [...] Jugábamos contra el grupo más fuerte de metabolismo nitrogenado que estaba en MIT (Massachusetts Institute of Technology) y era muy estimulante [...]. En ese sentido, la genética microbiana sí tuvo un impacto en México sin duda alguna.<sup>14</sup>

## **El amanecer de una práctica científica**

En la mayoría de los libros relacionados con la biotecnología, la historia de la ingeniería genética comienza con los experimentos realizados en los laboratorios de Herbert W. Boyer (1936- ) en la Universidad de California en San Francisco, y con los de Stanley N. Cohen (1935- ) en la Universidad de Stanford.<sup>15</sup> El primero mostró un interés muy temprano por las enzimas de restricción en sus estudios como bioquímico, mientras que el segundo, instruido en el área de la genética, estudió los plásmidos bacterianos y su papel en la resistencia a los antibióticos.<sup>16</sup>

---

<sup>13</sup> Comunicación personal de Fernando Bastarrachea con Ana Barahona (2008); Camacho, “Obituario,” 10.

<sup>14</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: Alejandra Covarrubias,” min 37:57.

<sup>15</sup> A finales de la década de 1970 Francisco Gonzalo Bolívar Zapata, a quien se mencionará más adelante, se incorporó al laboratorio de Boyer para realizar experimentos que le llevaron a la construcción de un plásmido capaz de expresar la proteína somatostatina. Eventualmente publicó su trabajo -en colaboración con el equipo del doctor Boyer- en uno de los artículos más citados en la historia de la biología molecular, el artículo del plásmido PBR322. En: Hughes, *Genentech*, 60-62 y Bolívar-Zapata, “Construction and characterization,” 95-96.

<sup>16</sup> Hughes, *Genentech*, 2-7; Stevens, *Biotechnology and society*, 41-43 y Jasanoff, *Can science make*, 48-49.

Esta conjunción de conocimientos fue posible cuando en noviembre de 1972 Boyer y Cohen coincidieron en un congreso dedicado a los trabajos sobre plásmidos bacterianos realizado en Honolulu, Hawai. En este *meeting* -organizado por Cohen, Tsutomu Watanabe y Donald Helinski- los y las asistentes hablaron sobre los recién descubiertos plásmidos de *E. coli* capaces de ser transferidos entre cepas bacterianas. Sin saber que serían los pioneros en ingeniería genética, Boyer y Cohen se encontraron en la playa Waikiki para dar un paseo que les permitiera un respiro del congreso y también un pequeño refrigerio. Pronto se les unieron los microbiólogos Stanley Falcon y Charles Brinton para entrar a un establecimiento de delicatessen donde se intercambiaron los resultados de sus respectivos laboratorios. Boyer habló sobre los datos de secuenciación obtenidos para el sitio de corte *EcoRI*<sup>17</sup> y Cohen sobre los experimentos de cortes en plásmidos, que en ese momento no se habían publicado. Cohen afirma que:

[...] mientras Herb y yo hablábamos, me di cuenta de que *EcoRI* era el ingrediente que faltaba para el análisis molecular de los plásmidos de resistencia a los antibióticos [...].<sup>18</sup>

Fue en ese momento tan informal, tan fuera del ambiente académico y del clásico laboratorio lleno de personas vistiendo batas blancas, que el grupo de especialistas en microbiología vislumbraron el potencial de combinar sus trabajos de las enzimas de restricción y de los

---

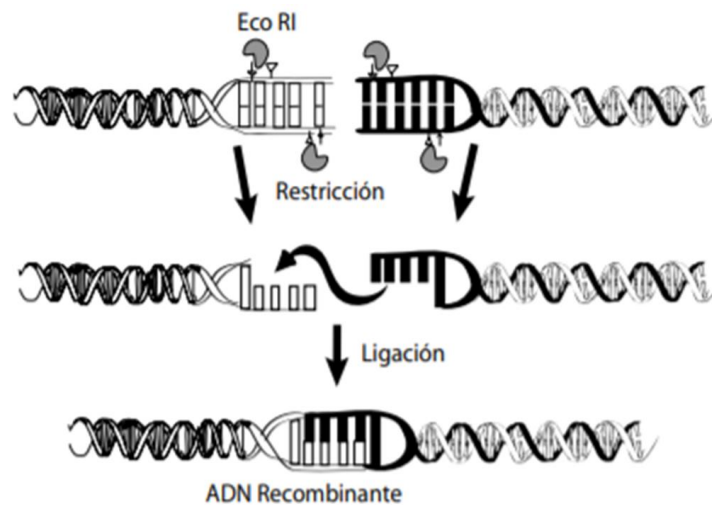
<sup>17</sup> *EcoRI* (eco erre uno) es una enzima de restricción aislada por el entonces estudiante de doctorado Robert N. Yoshimori, quien trabajó en el laboratorio de Boyer en 1971. Esta *EcoRI* es la misma que permitió a Paul Berg y Janet Mertz realizar las primeras técnicas de DNA recombinante para diferentes organismos. En particular, trabajaron para crear bacterias (*E. coli*) portadoras de genes víricos (SV40). En: Roberts, "How restriction enzymes," 5907. El acrónimo viene de *Escherichia coli*, cepa **RY13**, enzima de restricción **I**. En: Madigan, Brock. *Biología de los microorganismos*, 336.

<sup>18</sup> Cohen, "DNA cloning: a personal view," 15524.



plásmidos bacterianos para dar lugar a la biotecnología moderna, es decir, a la ingeniería genética.<sup>19</sup>

De manera muy general, la tecnología del DNA recombinante desarrollada por Boyer y Cohen puede resumirse de la siguiente manera: primero, se aísla el plásmido bacteriano para que luego la enzima de restricción *EcoRI* corte el DNA. Con ello, se dejan cadenas sencillas de un tamaño reducido con extremos sobresalientes (extremos cohesivos o *sticky ends*) en los que se pueden adherir los extremos cohesivos de otro fragmento de DNA que también ha sido cortado por la enzima de restricción. Luego, para unir ambos fragmentos, se utiliza la enzima ligasa -que promueve la unión del DNA- y ésta permite que el plásmido incorpore el DNA ajeno para posteriormente rehacer el plásmido con ahora una parte extra de material genético. Finalmente, se reinserta el plásmido a la bacteria y se hace crecer en medio de cultivo para que, al momento de reproducirse, haga copias del DNA extraño. Cada copia puede amplificarse tanto como las bacterias puedan dividirse (**Fig. 3**).<sup>20</sup>



**Figura 3.** Tecnología del DNA recombinante.  
(Imagen: Betancor, *Genética bacteriana*).

<sup>19</sup> Russo, "Special report," 456; Hughes, *Genentech*, 11; Stevens, *Biotechnology and society*, 43-45; Cohen, "DNA cloning: a personal view," 15524.

<sup>20</sup> Stevens, *Biotechnology and society*, 43-44; Madigan, *Brock. Biología de los microorganismos*, 336. Cohen, "DNA cloning: a personal view," 15525.

## Una gran convergencia: la ingeniería genética en bacterias llega a México

Para 1976, una joven estudiante egresada de la Facultad de Química de la UNAM realizó una estancia de investigación en el laboratorio de Boyer y aprendió «las misteriosas artes de la clonación molecular».<sup>21</sup> Esta joven, de nombre Alejandra Covarrubias, compartió mesa de trabajo durante su estancia en el extranjero con el entonces postdoctorante Francisco Bolívar Zapata, uno de los creadores del plásmido más utilizado en la biotecnología contemporánea, el pBR322.

[...] tuve esta oportunidad de irme justo un poco antes de empezar la maestría a San Francisco al laboratorio de Herb Boyer, que fue este personaje que inició el trabajo con DNA recombinante junto con otros de la Universidad de Stanford. Entonces [...] acababa de salir de la licenciatura y pues tenía la oportunidad [...] y ahí aprendí un buen de cosas, que fue un poco aplicar lo que fue mi tesis de licenciatura [...]. En ese momento las diferencias de tecnologías entre un lugar como México y los Estados Unidos, al menos en donde yo estaba, eran gigantescas. Mi tesis de licenciatura parecía un chiste porque básicamente fue purificar un plásmido que, cuando estuve ahí [en el laboratorio de Boyer], pues era rutina diaria [hacer purificaciones de plásmidos]. Ahí aprendí todo. Básicamente todo lo que uno quisiera aprender de biología molecular moderna, en ese entonces se llamaba así, que era purificar DNA, plásmidos, [...]. Prácticamente todo en bacterias porque [...] la biología molecular básicamente inició gracias, o en el marco, de una genética microbiana [...].<sup>22</sup>

Covarrubias terminó su estancia en 1978 y regresó a México para realizar su maestría en el IIBm bajo la tutoría del doctor Bastarrachea (**Fig. 4**). Para ese momento:

<sup>21</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: David Romero,” min 8:56.

<sup>22</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 2: Alejandra Covarrubias,” min 0:29.

[...] la intención del doctor Bastarrachea era tratar de entender justamente el mecanismo de regulación de esa enzima [la glutamino sintetasa] y, en general, de cómo la bacteria utilizaba el nitrógeno y regulaba las fuentes nitrogenadas [...].<sup>23</sup>

	Alejandra A. Covarrubias Robles	Mayo 2018
	<b>CURRICULUM VITAE</b>	
	<b>DATOS GENERALES:</b>	
	NOMBRE:	Covarrubias Robles, Alejandra Alicia
	LUGAR y FECHA DE NACIMIENTO:	PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES
	DOMICILIO:	PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES
	México.	
	TEL. OFICINA:	PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES
	CORREO ELECTRONICO:	PROTECCIÓN DE DATOS PERSONALES
	<b>FORMACION ACADEMICA:</b>	
	<b>LICENCIATURA:</b>	
	Químico Farmacéutico Biólogo (Area:Bioquímico Microbiólogo). Facultad de Química. UNAM. Tesis: Estabilización de Material Genético Heterólogo en <i>Escherichia coli</i> K.12. 1971-1975.	
	<b>MAESTRIA:</b>	
	Maestría en Investigación Biomédica Básica. Instituto de Investigaciones Biomédicas. (Unidad Académica de los Ciclos Profesional y de Posgrado del CCH) UNAM Tesis: Aislamiento y caracterización del gene estructural para glutamina sintetasa de <i>Escherichia coli</i> . 1978-1980.	
	<b>DOCTORADO:</b>	
	Doctorado en Investigación Biomédica. Instituto de Investigaciones Biomédicas (Unidad Académica de los ciclos Profesional y de Posgrado del CCH) UNAM. Tesis: Caracterización de la región <i>glnA-glnG</i> de <i>Escherichia coli</i> . 1980-1983.	
	<b>ESTANCIAS EN EL EXTRANJERO:</b>	
	- Universidad de California en San Francisco, CA. Lab. Dr. Herbert Boyer. DNA recombinante y Genética Molecular. 1976-1978	
	- Universidad de Stanford. Lab. Virginia Walbot. Biología Molecular de Plantas. 1988-1990	
	- Universidad de Massachusetts-Amherst. Lab. Elizabeth Vierling. Semestre Sabático. Marzo-Septiembre, 2014	
	<b>LABORES ACADEMICAS ANTERIORES</b>	
	- Instructor de laboratorio. Genética I. Facultad de Química, UNAM 1974-1975.	
	1	

**Figura 4.** Hoja no. 1 del Curriculum Vitae de Alejandra Covarrubias. (Imagen: Junta directiva, Universidad Autónoma Metropolitana).<sup>24</sup>

<sup>23</sup> Ornelas-Cruces, "Entrevista 1: Alejandra Covarrubias," min 6:04.

<sup>24</sup>[https://www.uam.mx/juntadirectiva/AlejandraAliciaCovarrubiasRobles/curriculum\\_DRA\\_ALEJANDRA\\_ALICIA\\_COVARRUBIAS\\_ROBLES.pdf](https://www.uam.mx/juntadirectiva/AlejandraAliciaCovarrubiasRobles/curriculum_DRA_ALEJANDRA_ALICIA_COVARRUBIAS_ROBLES.pdf)

La enzima glutamina sintetasa (llamada aquí como glutamino sintetasa) es fundamental en la asimilación de compuestos nitrogenados como el amoníaco ( $\text{NH}_3$ ) y en la síntesis del aminoácido glutamina. Esta enzima actúa como donadora de nitrógeno para la síntesis de proteínas y de ácidos nucleicos puesto que puede incorporar el  $\text{NH}_3$  a los compuestos orgánicos.<sup>25</sup>

Durante sus estudios de maestría, Alejandra Covarrubias quería:

[...] mostrar que era posible aislar un gen y que era funcional una vez que lo sacabas del genoma de la bacteria. Esa era una razón. La otra razón era que el metabolismo de nitrógeno es uno de los metabolismos, junto con el del carbono evidentemente, más importantes para cualquier organismo vivo y en ese momento la bacteria era el modelo. Y entonces, siendo la glutamino sintetasa una enzima central en ese metabolismo [del nitrógeno], pues el reto era, justamente, poder conocer más sobre la enzima, conociendo su secuencia [...]. Por otro lado, también conociendo [...] los diferentes datos [...] genéticos de regulación de la glutamino sintetasa podían conocerse con mayor detalle si nosotros aislábamos el gen y otros genes que estuvieran relacionados con el metabolismo [...].<sup>26</sup>

La oportunidad de Covarrubias de colaborar en otro nivel con el doctor Bastarrachea se vio materializada hasta 1980 cuando apenas terminó la tesis de maestría y:

[...] en esas épocas había plazas y entonces a mí me dieron una plaza de investigadora [en la UNAM]. Apenas tenía mi maestría. Entonces fue bien padre porque el doctor Bastarrachea tenía su laboratorio, donde trabajábamos siempre, y luego, en el otro lado, en el laboratorio que estaba al

---

<sup>25</sup> Madigan, *Brock. Biología de los microorganismos*, 252; Vegara-Luque, “Glutamina sintetasa recombinantes,” 43-45.

<sup>26</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: Alejandra Covarrubias,” min 13:20.

lado, fue el que me dieron a mí. Y entonces, nosotros [el nuevo grupo de Alejandra] seguimos haciendo la parte de biología molecular, pero siempre teníamos seminarios juntos [con el doctor Bastarrachea]. Para tener mayor relación, lo que hicimos fue hacer una puertecita entre los dos laboratorios [...] Mandamos a hacer la puerta y dijimos «No, pues somos como uno solo [laboratorio]» y ya teníamos pase directo. Los alumnos del doctor Bastarrachea -David Romero fue alumno de Bastarrachea [...] y los míos, en ese momento, pues empezamos a tener mucha complementación con la biología molecular y la genética. Entonces fue súper bueno para ambos.<sup>27</sup>

Alejandra Covarrubias y el doctor Bastarrachea entablaron una relación colaborativa, como si de simbiosis se tratase, ya que mientras ella aprendía genética bacteriana, él aprendía biología molecular. Dicha colaboración no fue sólo en el ámbito académico, también en el espacial. Construyeron un laboratorio en el Departamento de Biología Molecular del IIBm que les hizo acreedores a un área de trabajo en donde convergieron las dos prácticas científicas: la genética bacteriana y la biología molecular. Esto fue lo que David Romero, en aquel entonces un estudiante de la licenciatura en Investigación Biomédica Básica, observó y vivió durante su estancia en el laboratorio del doctor Bastarrachea:

[...] desde el inicio él [Bastarrachea] tuvo una colaboración muy estrecha con Alejandra Covarrubias. En ese entonces una joven investigadora que estaba todavía estudiando el doctorado. Ella regresaba después de una estancia en Estados Unidos [...]. Ambos estaban interesados en [el] metabolismo nitrogenado en *Escherichia coli*. Por un lado, Fernando trabajaba toda la parte de genética centrada alrededor del sistema de regulación para el *gene* glutamino sintentasa en *Escherichia coli* y Alejandra estaba interesada en las bases moleculares, quería conocer el *gene* [de la glutamino sintetasa] y ligar

---

<sup>27</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: Alejandra Covarrubias,” min 53:24.

la información que estaba obteniéndose en el laboratorio de Fernando [...]. Fue una colaboración, yo creo, muy venturosa [...] Entre los grupos de los dos no había, realmente, una frontera física. Los seminarios eran comunes, hablábamos diferentes lenguajes [genética y biología molecular] pero de lo que se trataba era aprender ambos lenguajes. [...] Salieron dos por el precio de uno. [...]. Una particularidad es que, por razones históricas, el laboratorio de Fernando y el de Alejandra estaban unidos. Se rompió una pared y había una comunicación entre los dos laboratorios, entonces, uno migraba de un laboratorio para el otro. Se hacían parte de los experimentos en el otro laboratorio, parte de los experimentos en uno y llegaron a un acuerdo bastante bueno, precursor del que después conocerían en el Centro de Fijación de Nitrógeno [...].<sup>28</sup>

El CIFN, desde sus inicios, mantuvo un *ethos* de colaboración interna que:

45

---

hacía avanzar las cosas bastante bien. [...] [y] formaba parte de la logística del propio Centro. [...] El Centro emanó de lo que era el Departamento de Biología Molecular del Instituto de Investigaciones Biomédicas [IIBm]. Los investigadores que ahí estaban, una parte como Fernando [Bastarrachea o] como Paco Bolívar, se dedicaban a trabajo con bacterias como *Escherichia coli* [y] colaboraban entre ellos [...].<sup>29</sup>

En esta búsqueda por conocer el metabolismo nitrogenado en *E. coli*, Alejandra Covarrubias y el doctor Bastarrachea lograron estandarizar las primeras técnicas de genética molecular bacteriana para entender la regulación del gen *glnA* para la glutamino sintetasa **(Figs. 5 y 6)** pues:

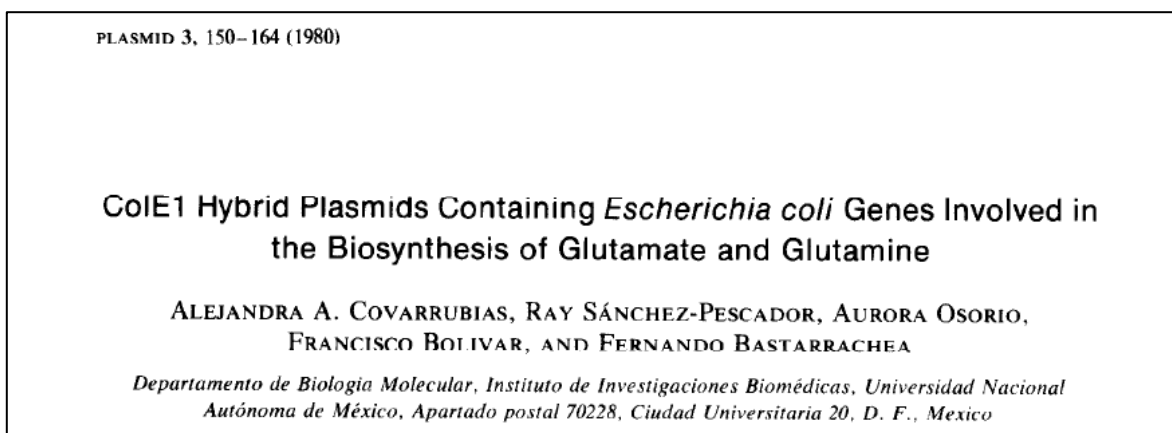
---

<sup>28</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: David Romero,” min 08:40.

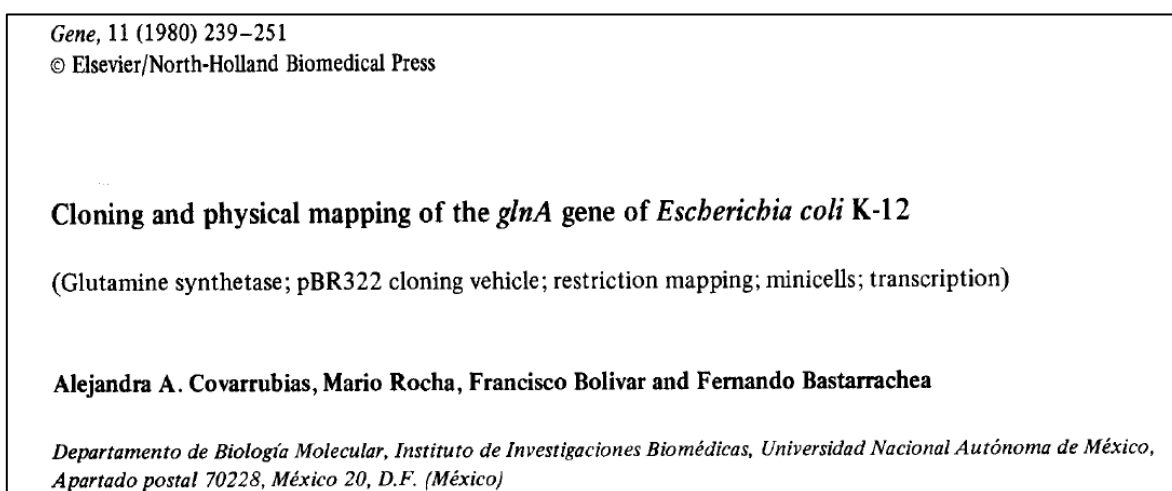
<sup>29</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 2: David Romero,” min 15:40.

[...] lo que hacía el doctor Bastarrachea, digamos, que la estrategia de estudio para tratar de dilucidar los mecanismos de control de la síntesis de glutamina pues era generar mutantes [...] que no crecieran bien en presencia de glutamina o en presencia de alguna otra fuente de nitrógeno, [...] mapear esas mutantes, y una vez que esas mutantes estaban en el genoma de *E. coli*, la idea era clonar [y] tratar de ver si esas mutaciones correspondían o no a genes que estaban relacionados con el control de la glutamino sintetasa. Entonces, él [Bastarrachea] hacía toda esta parte de generación de las mutantes [y de] caracterización de las mutantes, ya sea por cruces para ver que las mutaciones estuvieran en un gen particular, etc. [Y para ver] cómo afectaba esto a la síntesis de glutamina, entonces se medían los niveles de glutamina, o los niveles de amonio en las bacterias, etc. [...] Con los fenotipos de las bacterias, si la bacteria crecía más lento o menos lento en glutamina o en algunas otras fuentes de nitrógeno, uno podía deducir si esas mutaciones estaban en genes que regulaban a la [glutamino sintetasa] o no. Entonces fue así como se determinó que había mutaciones que afectaban la síntesis de glutamina que no estaban en el gen para la glutamino sintetasa, sino que estaban en otros genes que entonces se dedujo que eran genes que regulaban la síntesis. Y los mapeos genéticos permitían entonces definir dónde estaba el gen más o menos. Entonces, [...] en el laboratorio del doctor Bastarrachea, podían decir «el gen está cerca o está lejos». Eso es una primera parte. [...] Después de clonar el gen de glutamino sintetasa, la idea era tratar de buscar aquellos genes que correspondían a estas otras mutantes, o genes mutados, que daban estos otros fenotipos. [...] Para hacer eso, lo que uno en principio plantea es: «tienes [...] el genoma de la bacteria, lo cortas en pedacitos con enzimas de restricción, esas enzimas de restricción las metes en plásmidos y luego transformas a la bacteria que está mutada en esos genes y ves si hay una complementación de los fenotipos a un fenotipo silvestre». Y esa es la manera

de buscar los genes, que eso era lo que hacíamos nosotros [el grupo de Alejandra], buscar los genes que complementaban esas mutaciones y determinar si esos genes realmente eran [...] y dónde estaban. Y entonces fue así como nosotros y el otro grupo con el que competíamos [en el MIT, Fig. 7] pues más o menos llegamos a la misma conclusión [...] al mismo tiempo, que era, que al menos dos de los genes reguladores estaban [muy cerca] del gen glutamino sintetasa y determinamos que era un operón [el glnALG].<sup>30</sup>



**Figura 5.** Publicación de la construcción de bacterias mutantes para la glutamino sintetasa. (Imagen: Covarrubias, “ColE1 hybrid plasmids,” 150).



**Figura 6.** Publicación de la clonación y mapeo del gen para la glutamino sintetasa en *E. coli*. (Imagen: Covarrubias, “Cloning,” 239).

<sup>30</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 2: Alejandra Covarrubias,” min 33:55.



*Proc. Natl. Acad. Sci. USA*  
Vol. 77, No. 12, pp. 7372-7376, December 1980  
Genetics

**Regulation of expression from the *glnA* promoter of *Escherichia coli* in the absence of glutamine synthetase**

(nitrogen metabolism/operon fusion/*glnF/glnG/glnD*)

DAVID M. ROTHSTEIN, GREG PAHEL, BONNIE TYLER\*, AND BORIS MAGASANIK

Department of Biology, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts 02139

Contributed by Boris Magasanik, September 4, 1980

**Figura 7.** Publicación de la expresión del gen *glnA* para la glutamino sintetasa en *E. coli*.  
(Imagen: Rothstein, "Regulation," 7372).

### **Del Green al Gene**

El interés por conocer la fijación biológica del nitrógeno responde a las cuestiones que se discutían a una escala internacional durante la década de 1980 como consecuencia de la Revolución Verde (RV). Este nuevo «paquete tecnológico» tenía como objetivo el «rápido crecimiento de la producción granera del Tercer Mundo asociada con la introducción de un paquete de insumos agrícolas tropicales» y pretendía «la inserción del campo en un cierto modelo de desarrollo capitalista». La RV tiene sus antecedentes en México en el año de 1943 con la colaboración entre el gobierno federal -a través del Programa Agrícola Mexicano de la Oficina de Estudios Especiales- y la Fundación Rockefeller de Estados Unidos, y que se consolidó en ese mismo año con la creación del Centro Internacional de Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) y que adquirió este nombre hasta 1966. Dicha colaboración duró cerca de 20 años y a lo largo de este periodo, la tecnología prometedora de la RV se transfirió a los demás países de Latinoamérica entre las décadas de 1960 a 1980. Con ello, se propició el estudio de la

genética vegetal y su aplicación industrial, con la finalidad de resolver los problemas agrícolas a través de la explotación y el rendimiento de nuevas variedades de semillas.<sup>31</sup>

Sin embargo, la RV desencadenó una serie de problemas en diferentes ámbitos. El primero de ellos es la alteración de la siembra y la cosecha tradicionales, sustituyendo la rotación de cultivos por los monocultivos. Asimismo, la dieta de los agricultores fue afectada de una manera negativa, ya que la rotación de cultivos traía consigo una variedad de productos alimenticios. El segundo problema fue el efecto de los fertilizantes, los herbicidas y los insecticidas, los cuales redujeron la biodiversidad en las áreas de cultivo. El tercer problema estuvo relacionado con el impacto económico, pues los agricultores necesitaban comprar semillas, fertilizantes, pesticidas e incluso maquinaria específica cada año. Quienes no pudieran pagar estos insumos, o bien tuvieron que solicitar préstamos económicos, o bien se vieron obligados a abandonar sus tierras por el aumento de la competencia entre agricultores. Por último, las consecuencias de la RV en el ambiente implicaron una desecación de los ríos y un incremento tanto en la salinidad del suelo como en los niveles de nitrógeno.<sup>32</sup>

Con el desarrollo de la ingeniería genética y la nueva fase de globalización característica de los últimos años de la Guerra Fría, la mejora vegetal en conjunto con la entonces nueva biotecnología se enfocó en aumentar la tolerancia a los herbicidas y pesticidas, a crear tolerancia a la sequía, a la salinidad o a las plagas y a disminuir los excesivos niveles de nitrógeno causados por el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados.<sup>33</sup> Por esta razón, la investigación en México, con respecto a la fijación de nitrógeno, se desarrolló en el CIFN con un enfoque de biología molecular dedicado a estudiar las características genéticas de los

---

<sup>31</sup> Barajas-Ochoa, "Biotecnología y Revolución Verde," 25-26. Gaona-Robles, "La introducción de la genética," 33; Barahona, "Introduction and Institutionalization," 280; Alonso-Pavón, "Genetics in Mexico," en prensa.

<sup>32</sup> Stevens, *Biotechnology and society*, 100.

<sup>33</sup> Parayil, "Mapping technological trajectories," 981; Dávila-Ramos, "La biología genómica," 73-74; San Martín, "Nitrogen, science and environmental change," 778-79.

microorganismos fijadores de nitrógeno -como el hongo *Neurospora crassa* y las bacterias *Rhizobium etli* y *E. coli*- para que en el largo plazo se crearan plantas capaces de fijar el nitrógeno por sí mismas mediante la manipulación y transferencia de los genes fijadores de nitrógeno. En este contexto, en el año de 1980 el Consejo Universitario de la UNAM aprobó la creación del CIFN y sus instalaciones fueron inauguradas un año después en la ciudad de Cuernavaca en los terrenos que la Universidad Autónoma del Estado de Morelos cedió a la misma UNAM.<sup>34</sup>

[...] El Departamento de Biología Molecular [del IIBm] en algún momento se separó. Al decir «se separó» quiero decir que un grupo de investigadores, Jaime Mora y Rafael Palacios convencieron al rector en turno, Guillermo Soberón, como para que financiara un centro de investigación que tenía que estar fuera de la Ciudad de México. En ese entonces no había nada de la UNAM fuera de la Ciudad de México. La noción era empezar a ir hacia entidades de la República [Mexicana] como para que la UNAM empezara a tener presencia en los estados. El Centro [de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno] fue el primer experimento que hizo la UNAM, en conjunto con el Observatorio de San Pedro Mártir, para tener algo fuera de la Ciudad de México. Y se escogió Cuernavaca por su proximidad. Estaba convenientemente cerca de la Ciudad de México y era un punto importante dado que en ese entonces muchos de los trámites tenían que seguirse haciendo en la Ciudad de México. Entonces, las decisiones siempre fueron irse [o] a Toluca, [o] a Cuernavaca, [o] a Pachuca, o si acaso, a Querétaro. Ganó Cuernavaca por proximidad, buen clima y por un trato que en ese entonces parecía bueno con la Universidad [Autónoma] del Estado [de Morelos].<sup>35</sup>

---

<sup>34</sup> Casas-Guerrero, *La investigación biotecnológica en México*, 91-92,172; Hernández-Delgado, “El Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno,” 65, 67-68; Alonso-Pavón, “Genetics in Mexico,” en prensa.

<sup>35</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 1: David Romero,” min 28:26.

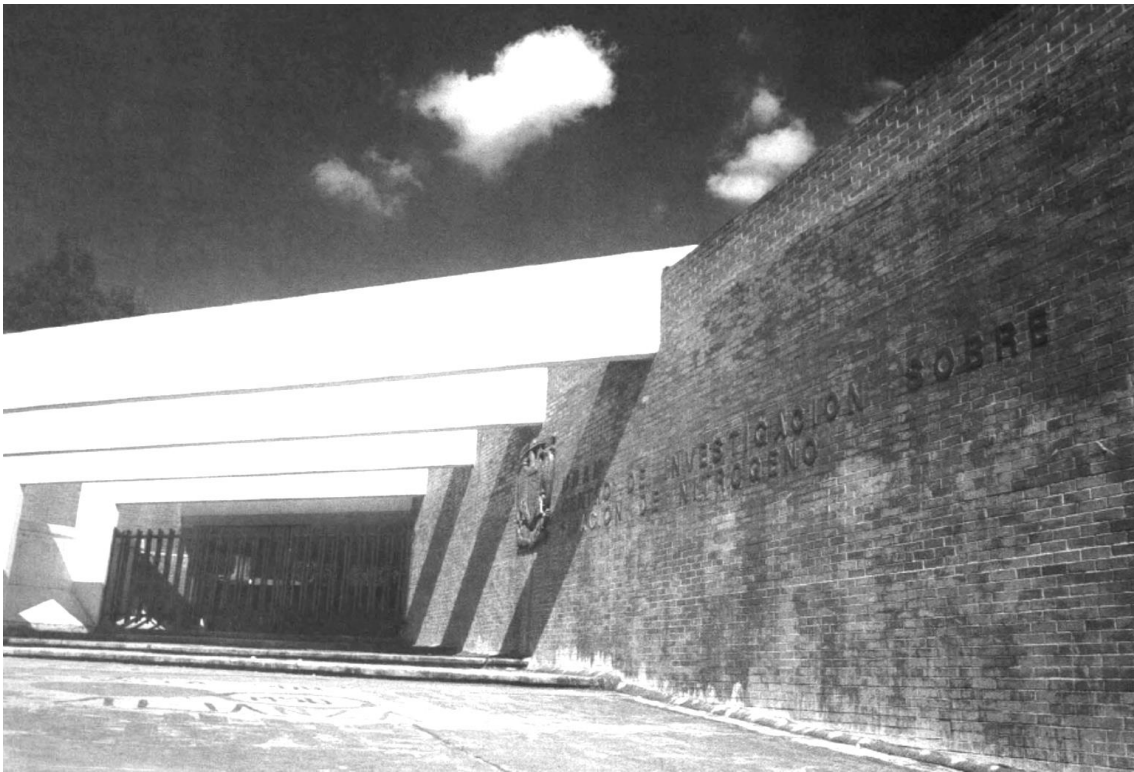
El CIFN (**Fig. 8**) tuvo como objetivos, además de los ya mencionados anteriormente, «realizar proyectos genómicos de bacterias y plantas [y] contribuir al desarrollo de las ciencias genómicas en México».<sup>36</sup>

Lo que se quería conocer eran las bases genéticas [y] las bases moleculares del proceso de fijación biológica del nitrógeno, y aplicarlo a la agricultura. En particular, [...] a una planta que fuera importante para el país [...] y dado que el maíz no fija nitrógeno por sí solo, [...] se fue hacia el frijol. Hay bacterias, *Rhizobium fascioli* se le llamaba en ese entonces, que eran capaces de asociarse con la planta de frijol y establecer una simbiosis fijadora de nitrógeno. Eso es lo que hace que el frijol sea independiente [...] de fertilización nitrogenada para poder crecer. La asociación con *Rhizobium* [spp.] puede dar todas las necesidades nitrogenadas de la planta de frijol. En ese momento la veíamos [a la bacteria y a la simbiosis fijadora de nitrógeno] como una especie de biofertilizante. Entonces, [...] queríamos conocer los determinantes genéticos por el lado de la bacteria, que eran importantes para nodulación y para fijación de nitrógeno. El sueño [era] que eso [los determinantes genéticos para nodulación y fijación de nitrógeno] se iba a poder transferir con facilidad a casi cualquier bacteria y que al poder hacer eso, tal vez podíamos transferirlo a una bacteria que se asociara con las raíces de maíz y tal vez darle la capacidad de nodular y fijar nitrógeno al maíz. [...] ¿Y qué tal si le introducimos todo eso a las plantas? Hacemos una planta transgénica que tenga la capacidad, si no de nodular, por lo menos de fijar nitrógeno y nos olvidamos de bacterias y todo. Ya es una planta autosuficiente. Esos eran los sueños de ese entonces.<sup>37</sup>

---

<sup>36</sup> Hernández-Delgado, “El Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno,” 67.

<sup>37</sup> Ornelas-Cruces, “Entrevista 2: David Romero,” min 11:50.



**Figura 8.** Entrada del Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno.  
(Imagen: Hernández-Delgado, "El Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno," 66).

El doctor Fernando Bastarrachea y sus estudiantes trabajaron poco más de un decenio, de 1980 y hasta 1992, con el metabolismo nitrogenado de *E. coli* tanto en el CIFN como en el entonces nuevo CIIGB. Ambos centros se construyeron gracias a las colaboraciones entre los y las científicas de la época que se dedicaban a la biología molecular y que pertenecían al Departamento de Biología Molecular del IIBm.<sup>38</sup>

En realidad, lo que fue ese Departamento de Biología Molecular [del IIBm], fue lo que dio fuente a la biología molecular que existe actualmente en varias de las instituciones universitarias. Mucha [biología molecular] terminó en Cuernavaca por el movimiento de ese Departamento de Biología Molecular [...] inicialmente [...] como Centro de Fijación de Nitrógeno [CIFN]. La otra parte se fue tres años después como Centro de [Investigaciones] sobre Ingeniería Genética y Biotecnología, actualmente el Instituto de Biotecnología. De un día para otro la biología molecular que se hacía en la UNAM terminó en Cuernavaca [...]. No era el único lugar donde se hacía biología molecular, desde luego, en el país. El otro lugar, muy importante, era el CINVESTAV, de donde había salido Fernando [Bastarrachea] y donde habían quedado otros investigadores con los cuales había colaborado [...].<sup>39</sup>

En 1993, Alicia González, Carmen Gómez, Guadalupe Espín y Gloria Soberón, organizaron en honor al doctor Bastarrachea el Simposium Internacional de «Genética Molecular de Microorganismos» que duró tres días y al cual asistieron poco más de 100 participantes tanto nacionales como internacionales (entre ellos su profesor Alvin J. Clark). Al año siguiente, la revista *Critical Reviews in Microbiology* dedicó en su totalidad el número 2 del volumen 20 con revisiones escritas de quienes participaron en este Simposium.<sup>40</sup>

---

<sup>38</sup> Camacho, "Obituario," 10.

<sup>39</sup> Ornelas-Cruces, "Entrevista 2: David Romero," min 37:52.

<sup>40</sup> Camacho, "Obituario," 11.

Cuando él [Fernando Bastarrachea] cumplió 60 años en el 93, se hizo un simposio conmemorativo [...] se invitaron, como era su costumbre, a un montón de investigadores del extranjero. Pero también a muchos nacionales que tuvimos que ver con él de diferentes maneras. Eso fue en San José Vista Hermosa [Morelos]. No es que pensara retirarse, él en realidad lo que quería era, por un lado, hacer una estancia en Brasil -otro de los lugares que le fascinaban- como para aprender algo más sobre la bacteria fijadora de nitrógeno que le estaba llamando la atención: *Azospirillum* [spp.], y posteriormente lo que quería hacer era migrar a Yucatán, a su tierra natal, para trabajar en la Universidad de Yucatán haciendo investigación ahí. Eso lo hizo, se fue para Yucatán [y] estuvo varios años [...] pero desgraciadamente el desarrollo no era el que él necesitaba [...] y entonces buscó regresar a la propia UNAM. Fue una danza apache porque ya se había jubilado, entonces había que revertir esa jubilación y contratarlo, y más bien lo que se hizo fue contratarlo de una manera parcial [con] pocas facilidades [ya que] él ya había perdido el laboratorio; más bien le dieron [un] laboratorio pequeño y una microayuda en términos técnicos. Pero Fernando en ese entonces ya estaba metiéndose en algo que con el tiempo resultó ser bastante bueno. Él tenía la noción de que los antibióticos hacían algo más que matar [...] lo que podían inducir era un estado de hipermutación en las células [...] a eso dedicó sus últimos años de trabajo antes de morir en 2011.<sup>41</sup>

Con mucho orgullo Rafael Camacho, Laura Camarena, Carmen Gómez, y Luis Servín (IIBm); Alicia González (Instituto de Fisiología Celular) y Alejandra Covarrubias (IBT) escriben en el *Obituario* del doctor Bastarrachea (**Fig. 9**), publicado en la Gaceta del IIBm, que:

---

<sup>41</sup> Ornelas-Cruces, "Entrevista 1: David Romero," min 44:00.

[...] Sus estudiantes, sus colegas y amigos lo vamos a recordar leyendo absorto, en los últimos años lupa en mano, artículos y libros, o platicando con sus alumnos crítica en ristre, con su genuino y generoso deseo de ayudar y de mejorar el trabajo que se le presentaba. Lo recordamos ensimismado en su pesimismo, con su visión de la realidad, frecuentemente en blanco y negro, que nos provocaba a reflexionar, pero también con su risa sonora y radiante, entusiasmado con resultados promisorios. Lo vemos en la memoria, con su aversión a impartir cursos o dictar conferencias, pero también con su gusto bohemio por la trova yucateca y el bossa nova. El Maestro [como comúnmente se le conocía] es, sin duda, una persona que todos vamos a extrañar, pero que mantendremos viva en nuestra memoria y en nuestro quehacer como investigadores.<sup>42</sup>



**Figura 9.** Fernando Bastarrachea Avilés.  
(Imagen: Camacho, “Obituario,” 11).

---

<sup>42</sup> Camacho, “Obituario,” 11.



## Conclusiones

Las reconstrucciones históricas que utilizan la circulación del conocimiento y las redes de colaboración conducen a una historia global de la ciencia que, si bien no tiene una metodología exacta, proporciona una serie de herramientas teóricas que muestran la descentralización de las narrativas occidentales, alejándose así de la tradición euroamericana. En este trabajo he encontrado que la genética molecular bacteriana surge de la conjunción de dos prácticas científicas relativamente nuevas en el México de la segunda posguerra: la genética bacteriana y la biología molecular.

En general, el giro global en la historia de la ciencia permite ir más allá de las explicaciones históricas centradas en Europa y Estados Unidos al abordar cuestiones relacionadas con el poder y el colonialismo, retomando figuras clave que habían sido borradas de las narrativas tradicionales, así como sus prácticas. Tal y como se ha expuesto en los capítulos anteriores, la biología molecular no es únicamente el producto del trabajo de quienes hacen ciencia en Estados Unidos o Europa, también en México se hizo (y se hace) biología molecular e ingeniería genética de gran calidad. Mucho de lo que se fue gestando con respecto a la ingeniería genética en bacterias y lo que Thomas Brock llama la «revolución biotecnológica» en *The emergence of bacterial genetics*, principalmente en Estados Unidos, todavía se conserva en este siglo XXI y sus primeras dos décadas.

El conocimiento científico, en tanto práctica, y sus materiales circulan a través de las redes de colaboración que se crean por las interconexiones del quehacer científico. Por ello, la historia global de la ciencia pone de relieve la interacción de expertos de diferentes nacionalidades. Y aunque la historia global no implica una historia total, el panorama general es importante, ya que destaca la movilidad como rasgo constitutivo del conocimiento científico. Este nuevo modelo historiográfico permite entender que la genética molecular bacteriana se

construye en el contexto global de la Guerra Fría como una práctica resultante de las condiciones sociales, políticas y económicas de la época y que, incluso, está(ba) altamente influida en el nivel del lenguaje al proporcionar términos como «información» o «código».<sup>1</sup>

Por otro lado, la noción de culturas epistémicas permite comprender y explicar toda la maquinaria social que subyace a la construcción de una práctica científica y hace de lo aparentemente obvio -como que la genética molecular bacteriana sea la conjunción de dos prácticas científicas- un objeto de investigación esclarecedor para entender por qué tenemos unas prácticas científicas y no otras. Dicho esto, es importante resaltar que pocas veces, y me atrevería a decir que casi nunca, estas dinámicas sociales se encuentran o son visibles en los archivos históricos o los *papers* que publican los y las científicas. En consecuencia, y con la metodología de las entrevistas cualitativas en profundidad, es posible construir una historia capaz de dar cuenta de los múltiples procesos sociohistóricos y, al mismo tiempo, convertir los testimonios orales en nuevas fuentes primarias.

En el laboratorio de Fernando Bastarrachea y de Alejandra Covarrubias, inicialmente al interior del IIBm, se construyó una puerta -en sentido literal y figurado- que permitió el ir y venir de materiales, de conceptos e incluso de jóvenes científicos en formación como David Romero. Todo ello abrió caminos para nuevas investigaciones y construyó diversas prácticas científicas para el estudio de las moléculas y mecanismos genéticos de la fijación del nitrógeno en *E. coli*. Y posteriormente para otros microorganismos como el hongo *Neurospora crassa* y la bacteria *Rhizobium etli*. La genética molecular bacteriana puso a México a la vanguardia en un punto tal que se hicieron las inversiones necesarias por parte de las diferentes instituciones capaces de patrocinar semejantes proyectos para formar parte de los primeros proyectos de secuenciación genómica al final de lo que Evelyn Fox Keller llama «el siglo del gen».

---

<sup>1</sup> Kay, *Who wrote the book of life?*, 1-2

## Referencias

**Alonso-Pavón, José Antonio**, Jocelyn Cheé-Santiago, Martha Lucía Granados-Riveros, Marco Ornelas-Cruces, Erica Torrens-Rojas y Ana Barahona. "Genetics in Mexico: mapping the discipline." *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, en prensa.

**Álvarez, Marisa Alejandra** y Celia Georgina Medina. "El debate constructivismo social/realismo científico: Knorr Cetina y Philip Kitcher." *Cuadernos de la Facultad de Humanidades y Ciencias Sociales*, no. 47 (2015):233-249.

**Barahona, Ana**, Susana Pinar y Francisco J. Ayala. "Introduction and Institutionalization of Genetics in Mexico." *Journal of the History of Biology* 38 no. 2 (Junio 2005): 273-299.

**Barahona, Ana**. "Local, global and transnational perspective on the history of biology". En *Handbook of the historiography of biology*, editado por Michael R. Dietrich, Oren Harman, Mark Borrello, 229-250 Springer Nature, 2020.

**Barajas-Ochoa, Rosa Elvia**. "Biotecnología y Revolución Verde: especificidades y divergencias." Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma Metropolitana, 1992.

**Barreda-Saldaña, Hugo Alberto**. "Ortega y Soberón. In Memoriam a dos paladines de la Ciencia Mexicana." en *Ciencia UANL*. Acceso Enero 13, 2021. <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=10772>

**Basalla, George**. "The spread of western science." *Science* 156, no. 3775 (Mayo 1967): 611-22.

**Bastarrachea, Fernando** y Dexter S. Goldman. "Diphosphopyridine nucleotide-linked nitrate reductase from *Mycobacterium tuberculosis*." *Biochimica et Biophysica Acta* 50, no. 1 (Junio 1961): 174-176.

**Bastarrachea, Fernando**, David G. Anderson y Dexter S. Goldman. "Enzyme systems in the Mycobacteria XI. Evidence for a Functional Glycolytic System." *Journal of bacteriology* 82, no. 1 (Julio 1961): 94-100.

**Bastarrachea, Fernando** y Manuel V. Ortega. "Biosynthesis of ornithine transcarbamylase in *Escherichia coli* during phenotypic suppression by streptomycin." *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Nucleic Acids and Protein Synthesis* 138, no. 1 (Marzo 1967): 151-162.

**Bastarrachea, Fernando** y Neil S. Willetts. "The elimination by acridine orange of F30 from recombination-deficient strains of *Escherichia coli* K12." *Genetics* 59, no. 2 (Junio 1968): 153-166.

**Bastarrachea, Fernando** y Alvin J. Clark. "Isolation and characterization of an *Escherichia coli* strain harboring three sex factors." *Genetics* 60, no. 4 (Diciembre 1968): 641-660.

**Bastarrachea, Fernando**, Esther Tam y Alicia González. "Dominance of streptomycin sensitivity over dependence in *Escherichia coli* K12 merodiploids." *Genetics* 63, no. 4 (Diciembre 1969): 759-774.

**Betancor, Laura**, M. Gadea y Karina Flores. "Genética bacteriana." En *Temas de Bacteriología y Virología Médica*. Montevideo: Facultad de Medicina, Universidad de la República, 2008.

**Birn, Anne-Emanuelle** y Raúl Necochea-López. "Footprints on the future: looking forward to the history of Health and Medicine in Latin America in the twenty-first century." *Hispanic American Historical Review* 91, no. 3 (Agosto 2011): 503-27.

**Bolívar-Zapata, Francisco**, Raymond L. Rodríguez, Patricia J. Greene, Mary C. Betlach, Herbert W. Boyer, Jorge H. Crosa y Stanley Falkow. "Construction and characterization of new cloning vehicles. II. A multipurpose cloning system." *Gene* 2, no. 2 (Noviembre 1977): 95-113.

**Brock, Thomas D.** *The emergence of bacterial genetics*. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1990.

**Camacho, Rafael,** Laura Camarena, Carmen Gómez, Luis Servín, Alicia González y Alejandra Covarrubias. "Obituario. Fernando Bastarrachea Avilés." *Gaceta Biomédicas* 16, no. 3 (Marzo 2011).

**Casas-Guerrero, Rosalba.** *La investigación biotecnológica en México: tendencias en el sector agroalimentario*. México: Instituto de Investigaciones Sociales-UNAM, 1993.

**CINVESTAV Departamento de Bioquímica.** "Departamento de Bioquímica." Acceso Enero 13, 2021. <https://www.biochem.cinvestav.mx/Bienvenido>

**CINVESTAV Irapuato.** "Dr. Manuel Valerio Ortega Ortega." Acceso Enero 13, 2021. <https://www.ira.cinvestav.mx/Principal/DrManuelValerioOrtegaOrtega/tabid/1465/language/es-MX/Default.aspx>

**Cohen, Stanley N.** "DNA cloning: a personal view after 40 years." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 110 no. 39 (Septiembre 2013): 15521-15529.

**Conrad, Sebastian.** *What is global history?*. New Jersey: Princeton University Press, 2016.

**Covarrubias, Alejandra,** Ray Sánchez-Pescador, Aurora Osorio, Francisco Bolívar y Fernando Bastarrachea. "ColE1 hybrid plasmids containing *Escherichia coli* genes involved in the biosynthesis of glutamate and glutamine." *Plasmid* 3, no. 2 (Marzo 1980): 150-164.

**Covarrubias, Alejandra,** Mario Rocha, Francisco Bolívar y Fernando Bastarrachea. "Cloning and physical mapping of the *glnA* gene of *Escherichia coli* K-12." *Gene* 11, no. 3-4 (Noviembre 1980): 239- 251.

**Dados, Nour** y Raewyn Connell. "The global south." *Contexts* 11, no. 1 (Febrero 2012): 12-13.

**Dale, Jeremy** y Simon F. Park. *Molecular genetics of bacteria*. London: John Wiley & Sons, 2013.

**Daston, Lorraine**. "Science studies and the history of science." *Critical inquiry* 35, no. 4 (Junio-Septiembre 2009): 798-813.

\_\_\_\_\_. "Leaves of truth." *Max Planck Research* 2, no. 16 (Abril 2016): 10-15.

**Dávila-Ramos, José Guillermo**. "La biología genómica en el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno." *Revista de la Universidad de México* 629 (Noviembre 2003): 73-76.

**De Chadarevian, Soraya**. "Using interviews to write the history of science" en *The historiography of contemporary science and technology*. New York: Routledge, 2012.

**De Chadarevian, Soraya** y Harmke Kamminga, ed. *Molecularizing Biology and Medicine. New practices and alliances, 1910-1970s*. Sydney: Harwood Academic Publishers, 1998.

**Fleck, Ludwik**. *La genesis y el desarrollo de un hecho científico. Introducción a la teoría de estilo de pensamiento y del colectivo de pensamiento*. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

**Flick, Uwe**. *Introducción a la investigación cualitativa*. Madrid: Ediciones Morata, 2007.

**Gaona-Robles, Ana Lilia** y Ana Barahona. "La introducción de la genética en México: la genética aplicada al mejoramiento vegetal." *Asclepio* 53, no. 2 (Diciembre 2001): 23-44.

**Gavrus, Delia**. "Émigré scientists and the global turn in the history of science: A commentary on the special issue 'New Perspectives on Forced Migration in the History of Twentieth-Century Neuroscience'." *Journal of the History of the Neurosciences* 25, no. 3 (Julio, 2016): 363-68.

**Golinski, Jan**. *Making natural knowledge*. Chicago: University of Chicago Press, 2005.

**Gómez-Eichelmann, Carmen** y Fernando Bastarrachea. "Mutaciones 'sin sentido' en el gene *strA* de *Escherichia coli*." En *Los perfiles de la bioquímica en México*, editado por Jaime Mora,

Sergio Estrada, Jaime Martuscelli, 47-58. México: Universidad Nacional Autónoma de México, 1974.

**González-Silva, Matiana** y Stefan Pohl-Valero. "La circulación del conocimiento y las redes del poder: en la búsqueda de nuevas perspectivas historiográficas sobre la ciencia." *Memoria y Sociedad* 13, no. 27 (Octubre 2009): 7-11.

**González, Víctor**, Rosa I. Santamaría, Patricia Bustos, Ismael Hernández-González, Arturo Medrano-Soto, Gabriel Moreno-Hagelsieb, Sarath Chandra Janga, Miguel A. Ramírez, Verónica Jiménez-Jacinto, Julio Collado-Vides y Guillermo Dávila. "The partitioned *Rhizobium etli* genome: Genetic and metabolic redundancy in seven interacting replicons." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 103, no. 10 (Marzo 2006): 3834-3839.

**Hays, Marguerite T.** *A Historical Look at the Department of Veterans Affairs Research and Development Program*. Washington DC: U.S. Department of Veterans Affairs, 2019.

**Hernández-Delgado, Georgina.** "El Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno." *Revista de la Universidad de México* 629 (Noviembre 2003): 65-68.

**Hughes, Sally Smith.** *Genentech: the beginnings of biotech*. Chicago: University of Chicago Press, 2011.

**Iggers, Georg G.**, Q. Edward Wang, y Supriya Mukherjee. *A global history of modern historiography*. New York: Taylor & Francis, 2013.

**Jasanoff, Sheila.** *Can science make sense of life?* United Kingdom: Polity, 2019.

**Jiménez-García, Sara Aliria.** "Nociones de la sociología cultural que explican el trabajo científico y la formación de investigadores. Un análisis comparativo." *Perfiles educativos* 33, no. 132 (Enero 2011): 128-141.

**Kay, Lily E.** *Who wrote the book of life?: A history of the genetic code*. California: Stanford University Press, 2000.

**Knorr-Cetina, Karin.** *Epistemic cultures*. Cambridge: Harvard University Press, 1999.

\_\_\_\_\_. *La fabricación del conocimiento: un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia*. Buenos Aires: Universidad Nacional de Quilmes Editorial, 2005.

**Kragh, Helge**. *Introducción a la historia de la ciencia*. Barcelona: Crítica, 2007.

**Lara, Pablo** y Ángel Antúnez. "La historia oral como alternativa metodológica para las ciencias sociales." *Revista de teoría y didáctica de las ciencias sociales* no. 20 (Enero-Diciembre 2014): 45-62.

**Latour, Bruno**. *La esperanza de Pandora*. Barcelona: Gedisa, 2001.

**Latour, Bruno** y Émilie Hermant. "Esas redes que la razón ignora: laboratorios, bibliotecas, colecciones," en *Retos de la postmodernidad: ciencias sociales y humanas*, ed. Fernando J. García Selgas y José B. Monleón, 161-83. Madrid: Trotta, 1999.

**Lindee, Susan**. *Moments of truth in genetic medicine*. Maryland: Johns Hopkins University Press, 2005.

**Livingstone, David N.** *Putting science in its place*. Chicago: University of Chicago Press, 2003.

**Lombardi, Olimpia** y Ana Rosa Pérez Ransanz. *Los múltiples mundos de la ciencia. Un realismo pluralista y su aplicación a la filosofía de la física*. México: Siglo XXI Editores, 2012.

**López-Revilla, Rubén** y Fernando Bastarrachea. "A slow-growing, streptomycin resistant mutant of *Escherichia coli* affected in protein synthesis and ribosomal assembly." *Molecular and General Genetics MGG* 113, no.2 (Junio 1971): 99-113.

**Madigan, Michael T.**, John M. Martinko, Kelly S. Bender, Daniel H. Buckley y David A. Stahl. *Brock. Biología de microorganismos*. 14ª Edición. Madrid: Pearson Educación, 2015.

**Matharan, Gabriel Augusto**. "Reflexiones sobre el carácter situado de la ciencia: sus aportes para una historia de la Microbiología en América Latina." *Dialogos Revista Electrónica* 21, no. 1 (Enero-Junio 2020): 166-84.



**McCook, Stuart.** "Focus: Global currents in national histories of science: the 'global turn' and the history of science in Latin America." *Isis* 104, no. 4 (Diciembre, 2013): 773-76.

**Meunier, Robert** y Karin Nickelsen. "New perspectives in the history of twentieth-century life sciences: Historical, historiographical and epistemological themes." *History and Philosophy of the Life Sciences* 40 no. 1 (Enero 2018): 1-13.

**Meusburger, Peter,** David Livingstone y Heike Jöns. *Geographies of science*. Vol. 3. Netherlands: Springer Science & Business Media, 2010.

**Nappi, Carla.** "The global and beyond: Adventures in the local historiographies of science." *Isis* 104, no. 1 (Marzo 2013): 102-10.

**Ortega, Guadalupe.** "Entrevista a Manuel V. Ortega." *Avance y Perspectiva* 23, no. 2 (Abril-Junio 2004): 7-15.

**Parayil, Govindan.** "Mapping technological trajectories of the Green Revolution and the Gene Revolution from modernization to globalization." *Research Policy* 32, no. 6 (Junio 2003): 971-990.

**Pestre, Dominique.** "Debates in transnational and science studies: a defence and illustration of the virtues of intellectual tolerance." *The British Journal for the History of Science* 45, no. 3 (Septiembre 2012): 425-42.

**Pimentel, Juan.** "¿Qué es la historia cultural de la ciencia?." *Arbor* 186, no. 743 (Mayo-Junio 2010): 417-424.

**Raj, Kapil.** "Beyond postcolonialism... and postpositivism: circulation and the global history of science." *Isis* 104, no. 2 (Junio 2013): 337-47.

\_\_\_\_\_. "Thinking without the Scientific Revolution: global interactions and the construction of knowledge." *Journal of Early Modern History* 21, no. 5 (Octubre 2017): 445-58.

**Redacción.** "Falleció el investigador Manuel Ortega." *El Universal*, Abril 19, 2017.  
<https://www.eluniversal.com.mx/articulo/ciencia-y-salud/ciencia/2017/04/19/fallecio-manuel-ortega-ortega-impulsor-de-la-ciencia-en>

**Roberts, Richard J.** "How restriction enzymes became the workhorses of molecular biology." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 102, no.17 (Abril 2005): 5905-5908.

**Rothstein, David M,** Greg Pahel, Bonnie Tyler y Boris Magasanik. "Regulation of expression from the *glnA* promoter of *Escherichia coli* in the absence of glutamine synthetase." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 77, no.12 (Diciembre 1980): 7372-7376.

**Russo, Eugene.** "Special Report: The birth of biotechnology." *Nature* 421, (Enero 2003): 456-457.

**Safier, Neil.** "Global knowledge on the move: itineraries, Amerindian narratives, and deep histories of science." *Isis* 101, no. 1 (Marzo 2010): 133-45.

**San Martín, William.** "Nitrogen, science, and environmental change: the politics of the Green Revolution in Chile and the global nitrogen challenge." *Journal of Political Ecology* 24, no. 1 (Septiembre 2017): 777-796.

**Sánchez-Anzaldo, Francisco Javier** y Fernando Bastarrachea. "Genetic characterization of streptomycin-resistant and-dependent mutants of *Escherichia coli* K12." *Molecular and General Genetics* 130, no. 1 (Marzo 1974): 47-64.

**Sánchez-Anzaldo, Francisco Javier,** R. Gómez y Fernando Bastarrachea. "Paromomycin-resistant mutants of *Escherichia coli* K12 I. Cross-resistance to streptomycin and synergism of the mixture of both antibiotics." *Revista Latinoamericana de Microbiología* 21, no. 3 (Julio-Septiembre 1979): 123-128.

**Secord, James.** "Knowledge in transit." *Isis* 95, no. 4 (Diciembre 2004): 654-72.

**Sivasundaram, Sujit.** "Focus: Global histories of science. Introduction." *Isis* 101, no. 1 (Marzo, 2010): 95-97.

\_\_\_\_\_. "Sciences and the global: on methods, questions, and theory." *Isis* 101, no. 1 (Marzo 2010): 146-58.

**Stevens, Hallam.** *Biotechnology and society: an introduction*. Chicago: University of Chicago Press, 2016.

**Taylor, Steve J.,** y Robert Bogdan. *Introducción a los métodos cualitativos de investigación*. Barcelona: Paidós, 1987.

**University of California History Digital Archives.** "Berkeley. Bacteriology and Immunology Department." Acceso Enero 12, 2021. [https://www.lib.berkeley.edu/uchistory/general\\_history/campuses/ucb/departments\\_b.html#bacteriology](https://www.lib.berkeley.edu/uchistory/general_history/campuses/ucb/departments_b.html#bacteriology)

**Valera-Pacheco, Perla Patricia.** "Hacia una nueva historia global no eurocéntrica: un balance crítico." *Trashumante: Revista Americana de Historia Social*, no. 9 (Enero-Junio 2017).

**Vázquez-García, Juan Carlos.** "La Sociedad Mexicana de Neumología y Cirugía de Tórax: de un gran pasado a un mejor futuro." *Neumología y cirugía de tórax* 76, no.2 (Abril-Junio 2017): 68-77.

**Vegara-Luque, Anna.** "Glutamina sintetasas recombinantes de *Haloferax mediterranei*." Tesis doctoral, Universidad de Alicante, 2018.

**Vinck, Dominique.** *Ciencias y sociedad: sociología del trabajo científico*. Barcelona: Editorial Gedisa, 2015.

**Walker, Mark.** "The 'national' in international and transnational science." *The British Journal for the History of Science* 45, no. 3 (Septiembre 2012): 359-76.

**Willetts, Neil** y Fernando Bastarrachea. "Genetic and physicochemical characterization of *Escherichia coli* strains carrying fused F' elements derived from KLF1 and F57." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 69, no. 6 (Junio 1972): 1481-1485.

**Zabala, Juan Pablo.** “Reseña de *Epistemic Cultures. How sciences make knowledge* de Karin Knorr Cetina.” *Redes* 7, no.15 (Agosto 2000): 209-213.

**Zabala, Juan Pablo** y Nicolás Facundo Rojas. “Historia de la microbiología en América Latina desde la perspectiva de los Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología.” *Diálogos Revista Electrónica* 21, no. 1 (Enero-Junio 2020): 138-65.

## Referencias de las historias orales

**Ornelas-Cruces, Marco.** “Entrevista 1: David Romero.” 11 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://1drv.ms/u/s!AhBbAz0JIFF4jnCCFpbbaLP8XkDO?e=5MpRU0>



**Ornelas-Cruces, Marco.** “Entrevista 2: David Romero.” 27 de noviembre de 2020. Disponible en: <https://1drv.ms/u/s!AhBbAz0JIFF4kUK1oGJKndYngiTV?e=4RQMqi>



**Ornelas-Cruces, Marco.** “Entrevista 1: Alejandra Covarrubias.” 8 de enero de 2021. Disponible en: <https://1drv.ms/u/s!AhBbAz0JIFF4kiaF6l7XyyL6QRSQ?e=k7yxaX>

68

---



**Ornelas-Cruces, Marco.** “Entrevista 2: Alejandra Covarrubias.” 19 de enero de 2021. Disponible en: <https://1drv.ms/u/s!AhBbAz0JIFF4kmfNFNumNH40tUy ?e=NH2l8q>

