

**Vicisitudes de la transferencia tecnológica en México:
arenas epistémicas, coproducción y uso
social de la bacteria *Bacillus subtilis* ***

**Vicissitudes da transferência tecnológica no México:
areias epistêmicas, coprodução e uso
social da bactéria *Bacillus subtilis***

***Vicissitudes of the Technological Transfer in Mexico:
Epistemic Sands, Coproduction and the Social Use
of the Bacillus subtilis Bacteria***

César Guzmán Tovar **

Este artículo analiza el proceso que demandó la producción de conocimientos biotecnológicos para el control biológico de organismos fitopatológicos en México. Se tomó como caso de estudio el biofungicida Fungifree AB, producto elaborado por Agro&Biotecnia, una empresa *spin-off* del Instituto de Biotecnología de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). La metodología usada se basó en entrevistas en profundidad, revisión documental y visitas guiadas a los laboratorios de investigación. El análisis se realizó con base en tres categorías centrales: arenas epistémicas, coproducción de conocimientos y usos sociales del conocimiento. Al vincular estas categorías, se pudo observar, desde una nueva perspectiva, diferentes dimensiones que componen las redes sociotécnicas. Se evidenció también la complejidad y las encrucijadas que caracterizan a las iniciativas de transferencia tecnológica en México.

131

Palabras clave: producción de conocimientos; innovación biotecnológica; *spin-offs*; México

* Recepción del artículo: 29/08/2019. Entrega de la evaluación final: 25/11/2019.

** Becario del Programa de Becas Posdoctorales de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) en el Instituto de Investigaciones Sociales (IIS-UNAM). Doctor de investigación en ciencias sociales con mención en sociología por FLACSO-México. Correo electrónico: cgt003@gmail.com. Se agradece a los doctores Enrique Galindo y Leobardo Serrano por los comentarios realizados a una versión preliminar de este artículo.

Este artigo analisa o processo que exigiu a produção de conhecimentos biotecnológicos para o controle biológico de organismos fitopatológicos no México. O biofungicida Fungifree AB foi tomado como caso de estudo, produto elaborado pela Agro&Biotecnia, uma empresa *spin-off* do Instituto de Biotecnologia da Universidade Nacional Autónoma do México (UNAM). A metodologia utilizada foi baseada em entrevistas detalhadas, revisão documental e visitas guiadas aos laboratórios de pesquisa. A análise foi realizada com base em três categorias centrais: areias epistêmicas, coprodução de conhecimentos e usos sociais do conhecimento. Ao vincular essas categorias foi possível observar, sob uma nova perspectiva, diferentes dimensões que compõem as redes sociotécnicas. A complexidade e as encruzilhadas que caracterizam as iniciativas de transferência tecnológica no México também foram evidentes.

Palavras-chave: produção de conhecimentos; inovação biotecnológica; *spin-offs*; México

This paper analyzes the process required by the production of biotechnological knowledge to biologically control phytopathological organisms in Mexico. The Fungifree AB biofungicide was taken as a case study. The product was created by Agro&Biotecnia, a spin-off company of the Biotechnology Institute of the National Autonomous University of Mexico (UNAM, due to its initials in Spanish). The methodology used was based on in-depth interviews, documentary review and guided visits to laboratories. There were three central categories to this research: epistemic sands, coproduction of knowledge and social uses of this knowledge. By linking these categories, it was possible to observe from a new perspective the different dimensions that comprise sociotechnical networks. The complexity and crossroads that characterize technological transfer initiatives in Mexico were also shown.

Keywords: production of knowledge; biotechnological innovation; *spin-offs*; Mexico

Introducción

La biotecnología moderna, como área institucionalizada de estudio científico, empezó a desarrollarse en México en la década del 60 del siglo pasado. La biotecnología agroindustrial tuvo sus primeros orígenes en la década del 60 con la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN), específicamente con investigaciones de los microorganismos en desechos industriales y sus usos para la producción de proteína unicelular. Por su parte, la biotecnología vegetal se inició en 1969 con el primer laboratorio dedicado al cultivo de tejidos vegetales en el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo (Casas, 1993).

Esta importante trayectoria ha hecho de la biotecnología un área de especial interés para el sector político, el sector académico y, en menor medida, el sector empresarial. Este creciente interés se ha manifestado, por ejemplo, a través de la inclusión de “Biotecnología y Ciencias Agropecuarias” como el Área VI de las áreas del conocimiento definidas por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt); la inclusión de la biotecnología como área prioritaria en diferentes versiones del Programa Especial de Ciencia y Tecnología (PECiTI); los crecientes programas de grado y posgrado creados desde 1970 y el número de investigadores dedicados a la biotecnología; y las empresas dedicadas al desarrollo de productos biotecnológicos.¹

Dentro de ese creciente panorama de la biotecnología en México, se destaca el papel de instituciones como la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), y el Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados (Cinvestav) del mismo IPN, la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM) y el Instituto Tecnológico de Monterrey (Morales y Amaro, 2017; Stezano, 2012). Dentro de la UNAM, el Instituto de Biotecnología (IBT) es la institución líder en el campo. En 1982 se creó el Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología (CIIGB), el cual se transformó el 19 de septiembre de 1991 en el actual Instituto de Biotecnología con sede en Cuernavaca (Bolívar, 2008). El IBT ha generado importantes avances para el campo de la biotecnología a nivel nacional e internacional a través de la consolidación de sus proyectos académicos, la importancia científica de éstos y la madurez profesional de sus investigadores (Didou y Remedi, 2008).

Una de las fortalezas del IBT son los procesos de transferencia tecnológica y los vínculos derivados con el sector empresarial.² Igualmente, el IBT ha facilitado la generación de empresas derivadas (*spin-off*) de las actividades de investigación de sus miembros. Hasta la fecha se han creado nueve empresas derivadas del IBT, una de ellas es Agro&Biotecnia, empresa creadora del fungicida orgánico Fungifree AB®,

1. Sobre el desarrollo y consolidación de la biotecnología en México, más información en: Casas, Chauvet y Rodríguez (1992); Casas (1993); Bolívar Zapata (2002; 2003); Uribe (2008); Amaro y Villavicencio (2015); Chauvet (2015); Manzano *et al.* (2017); Morales y Amaro (2017 y 2019).

2. De acuerdo con el *Informe de actividades 2018*, entre 2014 y 2018 los investigadores del IBT generaron proyectos de investigación y desarrollo con vinculación de 39 empresas mexicanas y 18 empresas extranjeras.

el cual se utiliza actualmente en 20 tipos de cultivos agrícolas para el control de cuatro enfermedades fúngicas.

Apoiado en la perspectiva de los estudios sobre ciencia, tecnología y sociedad (CTS), en el presente artículo se analizará la genealogía de la invención de dicha tecnología como caso de estudio describiendo las aristas sociales y científicas que posibilitaron su ideación, producción, patentación y comercialización. Dentro de esa matriz analítica, el objetivo del artículo es comprender el rol de los diferentes sujetos que intervinieron en la producción de la tecnología Fungifree AB®. La metodología utilizada se basó en revisión documental (artículos científicos y de divulgación sobre Fungifree AB®), en entrevistas en profundidad a investigadores del IBT y visitas a los laboratorios del mismo instituto entre el 6 mayo y el 18 de junio de 2019.

En la primera parte del artículo se hace una contextualización del caso dentro de la investigación desarrollada. En la segunda parte se explora el caso de Fungifree AB® y se analizan las interacciones entre los diferentes sujetos para su concepción, las dinámicas institucionales que los investigadores tuvieron que sortear durante el proceso de creación de la nueva tecnología, los aprendizajes señalados por sus protagonistas y el camino recorrido hasta la comercialización del producto y su aplicación en algunos cultivos de México. En el tercer apartado se conectará la historia de Fungifree AB® con tres categorías que se han desarrollado dentro de los estudios CTS: las arenas transepistémicas (Knorr-Cetina, 1996), la coproducción de conocimientos (Jasanoff, 2004b) y el uso social de conocimientos (Vaccarezza y Zabala, 2002; Zabala, 2004). Con ello se buscará resaltar cómo una investigación básica puede devenir en una tecnología para su uso agrícola. Siguiendo la concepción de Arellano (2012), en esta parte del artículo se destaca la red sociotécnica que dio posibilidad a la existencia de Fungifree AB®, no como una descripción de dicha realidad, sino como un recurso metodológico. En la última parte se exponen algunas conclusiones donde se discute cuáles son las principales vicisitudes que se deben enfrentar en los senderos que llevan de la producción de conocimientos en el laboratorio hacia su uso en la sociedad. El caso de la coproducción de Fungifree AB® puede resultar sugerente para los estudios CTS porque, al referirse a órdenes de tipo social y natural, puede otorgar poder explicativo acerca de la ciencia como una actividad humana de tipo cultural y político (Jasanoff, 2004b) dentro del contexto latinoamericano.

134

1. El contexto del estudio de la biotecnología Fungifree AB®

El IBT es uno de los institutos de mayor reconocimiento en el campo de la biotecnología en México. Es imprescindible mencionarlo cuando se estudia la biotecnología mexicana; su referencia aparece frecuentemente en los estudios CTS y en los estudios de innovación que se hacen en el país (Amaro y Morales, 2010; Amaro y Robles, 2013; Casas, 1993; Didou y Remedi, 2008; De Gortari *et al.*, 2017; Dutrénit *et al.*, 2010; Manzano *et al.*, 2017; Morales y Amaro, 2017; Stezano, 2012). Con esos antecedentes bibliográficos y las referencias de investigadores, resulta interesante conocer “la vida en el laboratorio” de los investigadores del IBT.

Nuestra investigación se centró en la relación entre la producción de conocimientos científicos y el vínculo con la sociedad.³ La premisa de partida era que la percepción sobre el papel de la ciencia en la sociedad de cada investigador era construida socialmente a través de los modelos de hacer ciencia y a través de las dinámicas institucionales. Nuestro interés, entonces, estaba puesto en identificar los perfiles de los investigadores vinculados al IBT a través de sus trayectorias, prácticas y experiencias científicas y así comprender el papel otorgado al vínculo de la ciencia con la sociedad, entendido este vínculo como el papel de la producción de conocimientos científicos en la posible solución de problemas sociales a nivel local o regional.

No pasó mucho tiempo ni muchas entrevistas en el IBT para que fuera mencionada la empresa Agro&Biotecnía, la cual había sido constituida por uno de los investigadores del instituto. Así, nos pusimos en contacto con el doctor Enrique Galindo, cofundador de la empresa. El doctor Galindo abrió las puertas de su laboratorio, nos mostró todos sus equipos y nos facilitó toda la documentación disponible sobre el proceso de creación del fungicida Fungifree AB®. El estudio sobre esta biotecnología mexicana se deriva, pues, de la investigación precedente sobre el vínculo de la ciencia con la sociedad. En el siguiente apartado se describe el proceso de creación del producto desde su génesis hasta su comercialización. Ese rastreo genealógico es complementado en el tercer apartado con las categorías de análisis principales (arenas o campos transepistémicos, coproducción de conocimientos y uso social del conocimiento) para conformar metodológicamente la red sociotécnica de donde emergió la biotecnología y así dar cuenta de cómo una preocupación desde la ciencia básica se pudo vincular a un problema que afectaba a un sector de los agricultores mexicanos.

135

2. Génesis y explotación de una idea⁴

La antracnosis es la principal enfermedad del mango (*Mangifera indica* L.); uno de los agentes que causa dicha enfermedad es el hongo fitopatógeno *Colletotrichum gloeosporioides*, el cual puede atacar las hojas, las flores y los frutos del árbol generando manchas oscuras en dichas partes (Galindo *et al.*, 2005 y 2013). El biofungicida Fungifree AB® contiene la bacteria *Bacillus subtilis* cepa 83 que actúa como agente antagonístico del *C. gloeosporioides*, la cual, después de aplicarse a través de un polvo (material sólido), antagoniza el crecimiento del hongo fitopatógeno sobre la planta.

Para rastrear la génesis de Fungifree AB® debemos remontarnos a finales de la década de 90 del siglo pasado y trasladarnos al estado de Sinaloa, al norte de México.

3. Nos referimos a la investigación de la cual se desprende este artículo, titulada "La configuración de perfiles científicos y el vínculo de la ciencia con la sociedad. Estudio de las subjetividades científicas en tres centros de investigación en México", desarrollada gracias al Programa de Becas Posdoctorales de la UNAM en el Instituto de Investigaciones Sociales.

4. A menos que se indique lo contrario, la información de este apartado fue obtenida a través de las entrevistas realizadas al doctor Enrique Galindo el 9 y el 15 de mayo de 2019. Para una síntesis gráfica véase la **Figura 1** al final de este mismo apartado.

Allí, en el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD-Culiacán) —que es uno de los 26 centros públicos de investigación pertenecientes al Conacyt—, un grupo de investigación liderado por Raúl Allende Molar, Raymundo García y Armando Carrillo Fasio (UNAM-DGCS, 2015) se encontraba desarrollando un proyecto de investigación que consistía en “la identificación y selección de microorganismos antagónicos a los patógenos fúngicos en las etapas de pre y poscosecha del mango, fundamentalmente la antracnosis” (Galindo *et al.*, 2015: 53).

Por aquellos días de fin de milenio, la sede del CIAD ubicada en Culiacán, estado de Sinaloa, tenía unos pocos años de vida, mientras que el IBT se acercaba a sus 20 años de existencia. No había brotado previamente comunicación entre los investigadores protagonistas de este estudio y su primer contacto, ciertamente, fue fortuito. Sucedió en marzo de 2000, cuando Enrique Galindo y Raúl Allende coincidieron en un congreso organizado por el Conacyt en el cual participaban los responsables de los proyectos financiados por este organismo para darse a conocer entre los colegas de todo el país. Aunque el congreso no era de mucho interés —el mismo Galindo bromea diciendo que “la única ventaja era que se iba a hacer en Acapulco”—, este acontecimiento puede considerarse la génesis de todo lo que sucedió después.

Por una de esas afortunadas casualidades que acompañan casi todos los hechos científicos, Galindo y Allende fueron ubicados uno al lado del otro para presentar sus respectivos proyectos a través de posters. En algún momento, durante el congreso, empezaron a hablar sobre sus trabajos más allá de los proyectos que Conacyt les financiaba en ese entonces y se dieron cuenta que tenían un interés común. El grupo del CIAD estaba estudiando la patología de las plantas y había logrado el aislamiento de microorganismos con el fin de encontrar alternativas para el control biológico de la antracnosis del mango.⁵ Para la fecha del congreso en Acapulco, el grupo había realizado algunas pruebas “con resultados interesantes”, como mencionó Galindo en una de las entrevistas, es decir: tenían cientos de cepas aisladas con ciertas características antagónicas al hongo *C. gloeosporioides*. Las limitaciones del CIAD tenían que ver con la infraestructura para escalar los resultados ya obtenidos y la falta de experiencia en aspectos de bioingeniería puesto que ellos eran especialistas en fitopatología.

Al saber que esas limitaciones podrían ser solventadas por su grupo de investigación, Galindo le propone a Allende unir capacidades, ya que su grupo era experto en bioingeniería y el IBT contaba con los equipos necesarios para escalar las pruebas que ya se habían hecho en el CIAD. Esto significaba pasar de la producción

5. Esta línea de investigación desarrollada por el CIAD no tiene nada de fortuito. Según datos de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa), en 2016 México fue el quinto productor mundial de mango con un volumen de 1.88 millones de toneladas (Sagarpa, 2017). Sinaloa es el estado con mayor número de hectáreas sembradas con mango (30,095 ha), seguido de Chiapas (27,095 ha) y Nayarit (25,221 ha) (SIA, 2015). Ante tal envergadura del cultivo de mango a nivel nacional y regional se entiende a todas luces la importancia territorial del proyecto del CIAD desarrollado por entonces. Para una contextualización más completa de la producción del mango en México, véanse De Gortari *et al.* (2017), Galindo *et al.* (2015) y Serrano *et al.* (2010).

del *Bacillus* en los matraces agitados (**Imagen 1**) a biorreactores de mayor capacidad para realizar los experimentos.^{6,7}

Después de las conversaciones, que duraron aproximadamente un año, y con un nivel de confianza sólido, los dos grupos presentaron un proyecto conjunto al fondo sectorial entre la Secretaría de Agricultura y Conacyt.⁸ Con la aprobación de ese primer proyecto entre el IBT y el CIAD, las cepas del CIAD emprendieron un viaje desde Culiacán hasta Cuernavaca para ser analizadas en los fermentadores del IBT. De los microorganismos aislados que el CIAD tenía, el grupo del IBT debía seleccionar aquellos con mayor potencial para actuar como antagonico del *C. gloeosporioides*. A cambio de las cepas, el IBT enviaba periódicamente los resultados de sus análisis y el proceso de selección que se derivaban de ellos. El objetivo era buscar microorganismos que pudieran esporular (formar esporas) para actuar contra el hongo, porque las esporas son más resistentes que las células vegetativas, lo cual daría mayor probabilidad de éxito. La tarea del grupo del IBT era, entonces, seleccionar de los cientos de cepas del grupo del CIAD los microorganismos potenciales para ser comercializados; este proceso duró más o menos dos años y medio. De la primera selección resultaron ocho microorganismos potenciales, luego la selección se cerró a dos (una bacteria y una levadura), y finalmente se quedaron con la bacteria porque poseía las características buscadas. La bacteria triunfadora en este largo proceso de selección fue la ya mencionada *Bacillus subtilis* 83.

6. Los matraces agitados son recipientes de vidrio diseñados en 1861 por el químico alemán Emil Erlenmeyer (Trujillo, 2015); se utilizan para múltiples experimentaciones, entre ellas la fermentación y el crecimiento de microorganismos en medio líquido en los laboratorios. Su volumen es de máximo un litro (los más comunes son de 500 mililitros). Los matraces son insuficientes para producir cultivos para una producción a nivel comercial, para esos fines se utilizan tanques agitados. Otra limitación es que no se puede introducir un electrodo al matraz para la medición del oxígeno disuelto, procedimiento importante para monitorear la oxigenación del cultivo.

7. Numerosos artefactos (entendidos como herramientas, equipos, instrumentos, mobiliarios, recipientes, etc.) hacen parte de la fabricación del producto biotecnológico aquí reseñado; un análisis específico sobre la relación entre estos artefactos y los científicos sería bastante interesante en el sentido de proveer una comprensión clara sobre la cotidianidad de las prácticas de laboratorio en los procesos biotecnológicos. Para una noción amplia de "artefacto" y su papel en la vida social cotidiana en tanto tecnología, véase Thomas y Buch (2013).

8. Estos fondos ya no están activos; las últimas convocatorias de los fondos sectoriales se llevaron a cabo en el primer semestre de 2018.

Imagen 1. Matracas agitados de 500 ml

Fuente: foto tomada por el autor con autorización del doctor Galindo

Con el microorganismo adecuado identificado, el siguiente paso era generar un producto biotecnológico para probar su eficacia en campo. En esta fase, las capacidades tecnológicas y científicas del IBT se pusieron a prueba a través de la expertise de sus investigadores y de los equipos disponibles para realizar la producción escalada del prototipo del biofungicida. Dos de los artefactos protagonistas durante este proceso fueron los fermentadores de tanque agitado de alta capacidad (Imagen 2) que se encuentran en la Unidad de Escalamiento y Planta Piloto (UEPP) del IBT.⁹ Gracias a ellos, los científicos pudieron escalar la producción del *Bacillus subtilis* 83 a niveles de prototipo.

138

Ya con el producto semi-comercial desarrollado en los laboratorios del IBT (en esta época se producía bajo una formulación líquida; luego pasaría a una formulación sólida), se tenía que aplicar en campo en los cultivos de algunos agricultores cooperantes en el noroeste del estado de Sinaloa (Galindo *et al.*, 2015). Aquí, los investigadores del CIAD jugaron un papel muy importante porque fueron ellos los encargados de convencer a los agricultores de probar el producto en sus cultivos; esto fue posible gracias a la relación que existía de tiempo atrás entre los científicos y los agricultores.

9. Para ese entonces el IBT contaba con una de las escasas plantas piloto a nivel nacional adecuada con equipos de fermentación, recuperación y acondicionamiento de los agentes de control biológico (De Gortari, Medina y Cabrera, 2017).

Imagen 2. Fermentadores de tanque agitado de 50 lts (izquierda) y 100 lts (derecha)



Fuente: fotos tomadas por el autor con autorización del doctor Galindo

Otro factor operativo importante fue el traslado del prototipo del fungicida líquido desde Cuernavaca hasta Culiacán (1.070 kilómetros) (**Mapa 1**). Aquí fue determinante la intermediación de la única aerolínea que en aquel momento volaba directamente de Cuernavaca a Culiacán, llamada Aerolíneas Internacionales.¹⁰ Gracias a esto, uno de los técnicos académicos del IBT salía sin restricción alguna del aeropuerto de Cuernavaca con el producto bacteriano en botes a las 8 AM, y a las 12 horas del día ya se estaban fumigando los árboles en la región de El Rosario, en Sinaloa.¹¹

139

El objetivo principal de estas pruebas era ver el comportamiento de la bacteria en campo (en otras palabras, observar si el producto funcionaba en realidad). A esto se les denomina “pruebas de concepto”:

“No teníamos toda la tecnología desarrollada, pero queríamos saber si ese microorganismo ya se comportaba como se había comportado a nivel de invernadero, pero ya en árboles de mango (todavía poquitos porque nuestra capacidad para producir altos volúmenes era relativamente poca) [...] mandábamos normalmente 20 litros en 5 botes de 4 litros cada uno [...] Eran máximo 10 árboles [fumigados] en cada huerta, no era un riesgo muy grande para los agricultores” (Galindo, entrevista del 15 de mayo de 2019).

10. Se utiliza el término “intermediación” en el sentido que le da Latour (1998 y 2001): los intermediarios se definen plenamente por sus datos o acciones de entrada y salida en una práctica o red sociotécnica. La acción de los intermediarios no generan traducciones en los objetos o sujetos, mientras que el papel de las mediaciones conlleva a procesos de traducción. La intermediación de Aerolíneas Internacionales no generó ningún tipo de transformación o reconfiguración en el proceso de creación de Fungifree AB®, mientras que el rol de, por ejemplo, los matraces y tanques agitados sí establecieron una mediación en la fabricación del conocimiento biotecnológico.

11. “Era muy sencillo subirte al avión con tus botes de bacterias; en cambio por Ciudad de México hubiera sido imposible” (Galindo, entrevista del 15 de mayo de 2019).

Las pruebas de concepto duraron aproximadamente dos años y resultaron positivas. Los agricultores vieron que sus cosechas de mango eran de buena calidad y sin antracnosis. La indicación inicial era aplicar el producto cinco veces desde la floración en enero hasta 15 días antes de la cosecha en junio. Pero gracias a pruebas posteriores los investigadores comprobaron que, si se hacía una sexta fumigación una semana antes de las lluvias de junio, se generaba un aumento de dos semanas con mango de calidad aún con las lluvias. Este tiempo extra les abría a los agricultores una ventana de oportunidad en la que podían vender mango, cuando en otros estados del país ya no había (especialmente para la exportación a los Estados Unidos) y con ello aprovechaban el incremento de precios derivado de la escasez del mango.

Mapa 1. Recorrido del prototipo desde Cuernavaca hasta Culiacán



140

Fuente: modificado de <https://www.mapasparacolorear.com/mexico/mapa-mexico.php>

El prototipo de la biotecnología sufre una transformación: pasa de la formulación líquida a la formulación sólida porque los investigadores encontraron que el líquido no iba a tener potencial técnico y comercial por la vida en anaquel (la efectividad de las esporas dura menos en agua que si están secas). Durante dos años y medio, el grupo del IBT se concentró en preparar una solución en polvo, que es la que se mantiene hasta el día de hoy, con lo cual se generó un mecanismo de clausura y estabilidad de la tecnología a partir de un criterio técnico referido a la utilidad y eficacia de la solución sólida frente a la líquida.¹²

12. “La clausura en la tecnología involucra la estabilización de un artefacto y la ‘desaparición’ de problemas” (Pinch y Bijker, 2013: 55).

Durante esta etapa se obtuvo financiamiento por parte de un fondo sectorial Sagarpa-Conacyt, además de dos apoyos adicionales por parte de la Dirección General de Asuntos del Personal Académico de la UNAM (DGAPA-UNAM). Con esos recursos se optimizó el proceso de fermentación, se identificaron los compuestos antibióticos y se realizaron las pruebas de campo para determinar las dosis y los intervalos de tiempo en la aplicación del biofungicida (Galindo *et al.*, 2015).

Luego de obtener la primera formulación sólida se trabajó en 2005 en la elaboración y solicitud de la patente correspondiente, la cual fue registrada para su solicitud en 2006 ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI). Para ello, la UNAM y el CIAD firmaron un convenio que estipulaba que la UNAM “se hacía responsable de las negociaciones de la tecnología [...] El CIAD aceptó muy generosamente que la UNAM hablara a nombre de los dos, negociara. Y obviamente con ciertos estándares en términos de las regalías y de pago frontal” (Galindo, entrevista del 9 de mayo de 2019). La patente es, entonces, compartida entre la UNAM y el CIAD y fue otorgada en México en 2011 y en Brasil en 2016.¹³ Todo el proceso de escritura de la patente y solicitud contó con el apoyo de Mario Trejo y Martín Patiño (coautores en Galindo *et al.*, 2013), técnicos académicos del IBT que a partir de esa experiencia institucionalizaron este tipo de servicios a través de la Secretaría Técnica de Gestión y Transferencia de Tecnología del IBT.

La siguiente etapa del proceso fue la publicación de un artículo de divulgación en la revista *Claridades Agropecuarias*. Allí, miembros del IBT y del CIAD publicaron las potencialidades de la nueva tecnología que habían creado mostrando sus resultados sin revelar los aspectos confidenciales del proyecto (Galindo *et al.*, 2005). Esta publicación fue leída por el ingeniero Miguel Ángel Wong, director de la empresa El Rodeo Fruit S.A. de C.V. (en adelante ERF), quien contactó a los autores en búsqueda del producto biofungicida referenciado en el artículo para usarlo comercialmente en los cultivos de mango.

A partir de allí, inicia una nueva etapa pues con la entrada de ERF en escena se inicia un proceso de aprendizaje de transferencia de tecnología para los científicos. Ante la ausencia de la capacidad económica para producir cantidades industriales del producto en el laboratorio del IBT, la propuesta de la empresa fue que se ampliara el volumen de prueba a los clientes de ERF, encargándose la empresa sólo de los costos de producción. La UNAM no podía vender algo que todavía no era un producto comercial.

Desde el sector empresarial, el director de ERF hizo algo que el IBT no habría podido hacer: le dio a sus clientes un bono (después de probar el producto en su propia huerta) con la bitácora de cómo usarlo, si los agricultores lo usaban él se comprometía a pagarles una bonificación sobre el precio normal. El primer año logró convencer sólo

13. La solicitud de patente en México costó aproximadamente 10.000 pesos mexicanos; la de Brasil cerca de 30.000 pesos. Éstas fueron pagadas con los recursos otorgados por el fondo mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Morelos. La excesiva “tramitología” y los altos costos impidieron que la patente fuera presentada en Estados Unidos y Ecuador, como estaba previsto en un inicio.

a uno de sus clientes, que representaba algo así como 100 árboles y ya se entendía como una huerta comercial. Al tercer año ya eran varios clientes de ERF que estaban probando el prototipo del fungicida en polvo sobre sus cultivos. El papel de ERF durante esos tres años fue muy importante para el surgimiento del producto: gracias a esa empresa se rompió el círculo vicioso de no poder hacer pruebas por falta de dinero y de no poder comercializar el producto por falta de pruebas. ERF proporcionó el salto comercial que el IBT no tenía la capacidad de dar.

Lo siguiente fue buscar una empresa que comprara la tecnología y la licenciara, y así poder lanzarla comercialmente. Se alcanzaron a realizar negociaciones sucesivas con tres compañías productoras de agroquímicos para la transferencia tecnológica, pero finalmente éstas desistieron (Galindo *et al.*, 2015). Luego de tres años (2006-2008) de tocar las puertas de las empresas y de asistir a congresos de control biológico y de productores de mango para llevar a cabo la transferencia de la tecnología sin éxito, los investigadores se enfrentaron a tres alternativas:

- 1) Seguir promoviendo la tecnología sin la seguridad de encontrar una empresa interesada, sumado a la ausencia de recursos para la promoción porque los proyectos derivados de la investigación ya habían terminado.
- 2) Darse por vencidos respecto a la transferencia tecnológica, “un camino que no es muy raro entre los investigadores; termina un ciclo de investigación con un proyecto y se dedica a otras cosas” (Galindo, entrevista del 19 de mayo de 2019). En este caso podían publicar en revistas científicas y de divulgación todo lo que no habían publicado por las restricciones con las patentes.
- 3) Por sugerencia del entonces director del Centro Morelense de Innovación y Transferencia de Tecnología (CEMITT), entidad del gobierno del estado de Morelos, Antonio del Río, la tercera opción era generar una empresa propia para comercializar la tecnología.

142

Guiado por la tercera opción, el doctor Galindo, junto con el doctor Leobardo Serrano (quien es su colaborador en el IBT y había participado en parte de los proyectos) y Carlos Roberto Gutiérrez (un amigo suyo que trabajaba en el sector industrial), decidió formar una empresa mediante la cual llevarían la formulación de la bacteria a nivel comercial. Así, nace en 2008 la empresa Agro&Biotecnía S. de R.L. MI (en adelante A&B). La primera acción fue inscribirla en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (Reniecyt). Con ese registro se pudo acceder a los recursos otorgados por el fondo mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Morelos, con los cuales se inició el proceso de incubación con el CEMITT.¹⁴

El programa de incubación duró dos años, periodo en el cual se asignó a la empresa asesores para que acompañaran a los investigadores en aspectos legales, imagen, registros, finanzas, etc. Todo este periodo fue de aprendizaje para los ahora dueños

14. La última convocatoria que se abrió para participar en este tipo de fondos fue en 2018.

de A&B, y gracias a la asesora de registros, Emma Rayo (coautora en Galindo *et al.*, 2013), obtuvieron el registro ante Sagarpa sobre la efectividad del pesticida biológico.¹⁵ Los registros de Sagarpa se otorgan a través de un perito (agronomo) que audita los protocolos de un experimento y que visita uno de los cultivos para certificar que sí está en funcionamiento el producto.

Con este registro, A&B tuvo que acudir a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (Cofepris) para demostrar la inocuidad del producto, es decir, que el pesticida no es nocivo para la salud humana. En este caso, el registro se otorga después de los análisis toxicológicos de todo tipo: toxicidad dérmica, en ojos y de inhalación en ratas, ratones, peces y conejos. Cofepris otorga sus registros a través de laboratorios certificados, quienes se encargan de validar los análisis toxicológicos. En este procedimiento, algunos de los análisis se tuvieron que hacer fuera de México porque los laboratorios que hacían los análisis necesarios no estaban certificados ante Cofepris. Estos trámites de certificación duraron tres años, tiempo durante el cual seguían haciendo prototipos y pruebas, pero no podían hacer ventas del biofungicida.¹⁶

Por otro lado, A&B entró en la búsqueda de una empresa distribuidora que le diera salida al producto a una escala comercial importante. Gracias a la trayectoria previa, a los aprendizajes adquiridos y con la eficiencia comprobada del producto, A&B pudo escoger la empresa que más le convenía para esta fase. La propuesta que más convenció fue la de la comercializadora Food Machinery and Chemical Corporation (en adelante FMC), una multinacional con filial en México y amplia experiencia en distribución de productos y tecnologías de aplicación para el agro. Se estableció un contrato de exclusividad para la distribución de Fungifree AB®. FMC es el único cliente de A&B, pero está asegurada la distribución a diferentes partes del país.

15. "Formamos la empresa, decidimos meternos a ser empresarios y... formamos la empresa en 2008 y la empresa hizo todo lo que le faltaba a la tecnología, porque la tecnología estaba hasta nivel piloto pero le faltaba, sobre todo el escalamiento del proceso a nivel industrial, le faltaba la obtención de los registros [...]. La empresa escaló el proceso, la UNAM le transfirió la tecnología a esta empresa, aunque las negociaciones con la UNAM nos tomaron dos años y medio porque había un posible conflicto de interés por el hecho de que dos de los socios de la empresa también son inventores en la patente" (Galindo, en entrevista del 9 de mayo de 2019).

16. Mientras se adelantaban los trámites ante Sagarpa y Cofepris (en total el costo de los certificados fue de cerca de 40.000 dólares), el grupo ya había escalado la fermentación gracias a la subcontratación de una empresa de fermentación (cuyo nombre se mantiene en reserva por disposición del contrato).

Imagen 3. Producto biotecnológico Fungifree AB®

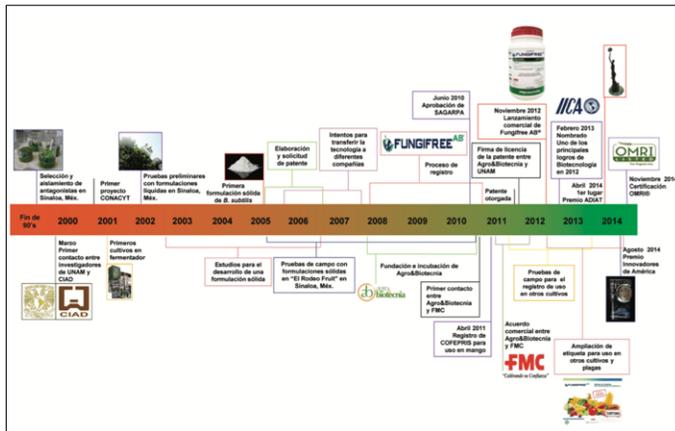


Fuente: foto tomada por el autor con autorización del doctor Galindo

Cofrepis les otorgó el registro el 29 de abril de 2011, día que se considera el momento fundacional de Fungifree AB® como producto, pues ya puede ser comercializado. Con todos los trámites en regla, el producto fue lanzado comercialmente en noviembre de 2012 en la Expo Agroalimentaria de Irapuato, en el estado de Guanajuato. De esta manera, la biotecnología surgida en laboratorios de investigación y transferida a una empresa *spin-off* logró, al fin, el inicio de su uso social.

Actualmente el biofungicida tiene registros para ser aplicado en 23 cultivos diferentes a lo largo y ancho de México, entre los que se encuentran mango, papaya, aguacate, calabacita, melón, pepino, berenjena, chile, jitomate y —más recientemente— el café (La Crónica, 2019); ha ganado varios premios a nivel agropecuario y se está en espera de poder comercializarlo en Estados Unidos y Sudamérica.

Figura 1. Línea del tiempo del desarrollo de Fungifree AB® hasta 2014



Fuente: Galindo *et al.* (2015: 54)

3. Fungifree AB® en las arenas epistémicas y su uso social

En este apartado se analizará la fabricación del producto biotecnológico Fungifree AB® desde el punto de vista de su importancia social, gracias a la transferencia de conocimientos llevada a cabo y a su respuesta a una problemática concreta en el sector agrícola. El análisis se hilvana a través de tres conceptos que han tenido una repercusión importante en los estudios sociales de la ciencia: 1) arenas transc científicas; 2) coproducción de conocimientos; y 3) uso social del conocimiento.

145

3.1. La biotecnología más allá de los laboratorios

En 1981 la socióloga austriaca Karin Knorr-Cetina publicó *Manufacture of knowledge: An essay on the constructivist and contextual nature of science*, un libro ya clásico dentro de los estudios de laboratorio que hacen parte del campo CTS. Uno de los principales argumentos novedosos que expuso allí Knorr-Cetina fue que en la fabricación de conocimientos intervienen diferentes tipos de actores más allá de las comunidades científicas que trabajan en los laboratorios. Los científicos no se encuentran aislados de la sociedad dentro de sus laboratorios; al contrario, están socialmente situados: para realizar sus investigaciones deben interactuar con personas que hacen parte de otros campos distintos a la ciencia como financiadores, empresarios, proveedores de insumos, burócratas y políticos. A este conjunto de actores Knorr-Cetina los ubicó dentro de “campos transc científicos”, haciendo referencia a que estas personas, imprescindibles para el desarrollo de la investigación científica, interactúan, sin embargo, bajo una racionalidad epistémica diferente a la de los científicos.

“Supongo que se considerará obvio que los razonamientos de laboratorio constantemente nos remiten afuera del sitio de la

acción del laboratorio. Probablemente se admitirá también que ese razonamiento nos lleva más allá de la especialidad en la que un científico —o una investigación— es clasificada. ¿Se supone, entonces, que llegamos a la conclusión de que la organización contextual relevante de la producción de laboratorio no es la comunidad científica sino campos transestémicos variables que en principio trascienden las redes de especialidad de los estudios sociales de la ciencia? Presumiblemente, ahora hemos traspasado los límites del acuerdo” (Knorr-Cetina, 2005 [1981]: 202 y 203).

Algunos años después de la publicación del libro, la misma autora publicó un artículo donde se desligó de la idea de “campo” a cambio de la noción de “arena” (Knorr-Cetina, 1996). De esta manera, la autora no sólo se apartó del concepto de “campo científico” elaborado por Bourdieu (2008 [1976]), sino que también criticó la lógica economicista que estaba detrás de dicho concepto: “El campo científico ya no fue visto como una comunidad de especialistas compitiendo por realizaciones creativas, sino como el lugar [*locus*] de una lucha competitiva por un monopolio del crédito científico” (Knorr-Cetina, 1996: 135). La crítica a esta lógica se sustentaba en que “los modelos económicos de la ciencia han definido consistentemente sus objetivos en términos de explicar el sistema (social) de la ciencia más que dar cuenta del comportamiento de los científicos individualmente” (Knorr-Cetina, 2005: 187).

146

La principal característica de las arenas epistémicas es que son el *locus* donde se desarrollan las relaciones simbólicas y negociaciones contractuales para la obtención de insumos o apoyos para la investigación: “El punto crucial aquí es que estamos hablando de relaciones, y que estas relaciones organizan las transacciones tanto entre especialistas como entre científicos y no-científicos” (Knorr-Cetina, 1996: 153).

Cuando la autora menciona relaciones entre científicos y no científicos se está refiriendo a una interacción entre diversas culturas epistémicas (Knorr-Cetina, 1999) donde especialistas de diferentes áreas de conocimientos organizan las actividades científicas y generan prácticas que varían de acuerdo con la expertise de cada uno de ellos. Knorr-Cetina plantea que los análisis sobre la fabricación del conocimiento nos remiten fuera de la acción del laboratorio; de esta manera, da cuenta de las relaciones de recursos que no siempre tienen objetivos capitalistas en el sentido de obtención de recursos económicos.

“Así como no hay ninguna razón para creer que las interacciones entre los miembros de un grupo de especialidad sean puramente ‘cognitivas’, tampoco hay razón para creer que las interacciones entre los miembros de una especialidad y otros científicos o no-científicos se limiten a transferencias de dinero u otros intercambios comúnmente categorizados como ‘sociales’” (Knorr-Cetina, 1996: 151).

Como se vio en el apartado anterior de este artículo, muchos fueron los actores involucrados indirectamente en la fabricación de FungifreeAB®. Desde el acontecimiento mismo del encuentro entre los investigadores del IBT y del CIAD en el evento de

Acapulco, podemos hablar de la mediación del Conacyt como un sujeto no científico.¹⁷ Efectivamente, el Conacyt, en tanto organismo nacional de ciencia y tecnología, es una institución política que en este caso propició indirectamente el intercambio de saberes expertos entre dos científicos. A pesar de la poca trascendencia científica otorgada al congreso de Conacyt, fue el momento que marcó la génesis de Fungifree AB®; un evento administrativo se convirtió en el hito de la fabricación de la tecnología. La participación de Conacyt también fue definitiva gracias al otorgamiento de recursos financieros a través de los fondos (mixtos y sectoriales) que fueron entregados en diferentes etapas del proceso.

La intervención de Conacyt debe entenderse dentro del esquema de relaciones sociales con fines no lucrativos, mientras que las relaciones establecidas por los científicos con las empresas El Rodeo Fruit, FMC y la empresa anónima de fermentación a gran escala fueron relaciones sociales de tipo comercial. Por otro lado, están las relaciones entre el IBT y el CIAD, establecidas netamente por su carácter científico (cognitivo, según la definición de Knorr-Cetina).

Otro esquema distinto caracterizó la relación de la empresa Agro&Biotecnia con las autoridades de la UNAM (su oficina jurídica) y con las autoridades de agricultura y salud de México (Sagarpa y Cofepris), pues cada actor tenía unos marcos epistémicos distintos (burocráticos en el caso de la UNAM, técnicos en el caso de Sagarpa y Cofepris). De la misma manera se debe entender la relación establecida con el IMPI, entidad encargada de otorgar las patentes solicitadas en México. En síntesis, aunque todos los actores se mueven en las arenas de la producción de conocimientos científicos y la transferencia tecnológica, cada uno lo hace en diferentes dimensiones y etapas y bajo diferentes marcos epistémicos. Estudiar estos diferentes tipos de interacciones entre los científicos y los otros sujetos hace que el *locus* de la acción científica trascienda los espacios de los laboratorios y complejizan la producción de biotecnología, entendida como una fabricación social y contextual (Knorr-Cetina, 2005). Como pudimos ver con el ejemplo de Fungifree AB®, la transferencia tecnológica no es un proceso lineal y simple. Las negociaciones se dan entre álgidos debates y divergencias de intereses; algunos actores colaboran, otros se oponen y otros más desisten (como las empresas que se abstuvieron de firmar el contrato de transferencia tecnológica con la UNAM).

La propuesta de Knorr-Cetina de analizar la fabricación del conocimiento a partir de esas divergencias epistémicas enriquece la comprensión de las prácticas desarrolladas por los científicos. Esas prácticas remiten no sólo a sus acciones dentro de los laboratorios con colegas expertos, sino también a tipos de interacciones y aprendizajes que adquieren los científicos fuera de su ambiente social próximo: el laboratorio.

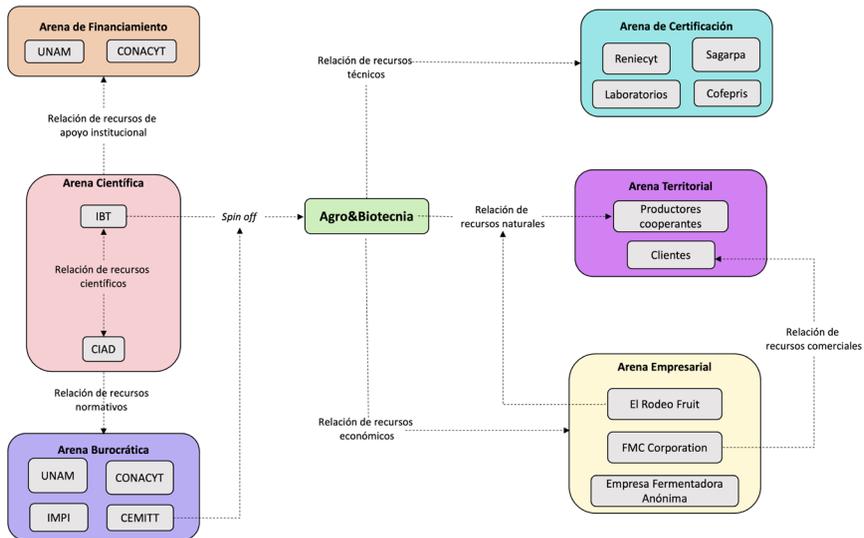
La **Figura 2** muestra las diversas arenas epistémicas que intervinieron en la fabricación Fungifree AB®. Cada arena está constituida por sus respectivos actores y

17. Nos referimos al término “acontecimiento” en el sentido que le otorga Lazzarato: “El acontecimiento no es la solución de un problema sino una apertura de posibles” (2007: 25). El encuentro de los dos científicos abrió una posibilidad tangible de crear nuevos conocimientos para dar solución al problema de la antracnosis del mango.

tipos de relaciones bajo las cuales interactúan y se conectan con las demás arenas. Siguiendo la propuesta de Knorr-Cetina, las arenas transepistémicas se configuran a través de relaciones de recursos bajo las cuales los participantes interpretan las transacciones simbólicas que pueden ser cognitivas o sociales.¹⁸ Para el caso de Fungifree AB®, se identificaron seis arenas epistémicas, la principal de ellas constituida por los miembros del IBT y del CIAD. La relación establecida entre ellos se basa en el intercambio de recursos científicos (sus transacciones simbólicas son de carácter cognitivo), ya que todos conforman un grupo de especialistas aun cuando hagan parte de diferentes disciplinas científicas. La arena científica se relaciona con la arena de financiamiento a través de recursos de apoyo institucional donde la UNAM y el Conacyt son los actores con los cuales se interactúa, puesto que son ellas las instituciones de adscripción del IBT y del CIAD. El apoyo institucional, aunque importante (por ejemplo, el papel protagónico que jugaron la DGAPA-UNAM y el fondo mixto Conacyt-Gobierno del Estado de Morelos), no sólo se refiere a las subvenciones económicas, sino también a los espacios físicos disponibles, al aprovechamiento de las capacidades tecnológicas, a la posibilidad de estructurar una trayectoria, a las redes facilitadas y a todos los instrumentos institucionales de fomento a la investigación científica. El IBT y el CIAD reciben apoyos de la UNAM y del Conacyt y éstos son retribuidos con la generación de nuevos conocimientos que los posicionan como entidades de alto nivel dentro del sistema científico mexicano.

Figura 2. Arenas epistémicas en la fabricación y uso de Fungifree AB®

148



Fuente: elaboración propia

18. Las relaciones de recursos son "relaciones a las cuales se recurre, o de las cuales se depende, para obtener insumos o apoyo [...] El punto crucial aquí es que estamos hablando de relaciones, y que estas relaciones organizan las transacciones tanto entre especialistas como entre científicos y no-científicos" (Knorr-Cetina, 1996: 153, cursivas en el original).

Por otra parte, la misma arena científica debía actuar bajo la normatividad establecida dentro de la arena burocrática (constituida por la UNAM, el Conacyt, el IMPI y el CEMITT). Las relaciones de recursos normativos establecidas entre ellas se identificaron, por ejemplo, en las negociaciones con la UNAM para la solicitud de la patente, donde los investigadores del IBT aceptaron que los beneficios obtenidos de ella no serían para lucro personal, sino que se invertirían en su grupo de investigación. Luego de este acuerdo entre las partes se realizó la solicitud de patente por parte del IMPI. Por parte del CEMITT, la relación con la arena científica se estableció a través de la capacitación que otorgó a la *spin-off* Agro&Biotecnia luego del programa de incubación de dos años para que se integrara un plan y modelo de negocio que potenciara las posibilidades de éxito comercial de la empresa.

Ya con la empresa A&B constituida bajo la normatividad de la arena jurídica, los científicos del IBT ahora empezaron a interactuar con los miembros de las otras arenas como empresarios. Esto significó la interiorización de otra cultura epistémica (Knorr-Cetina, 1999) distinta a la científica. Relacionarse como empresarios implicó adquirir *habitus* y *ethos* empresariales que debían ponerse en práctica para interactuar con otras arenas y culturas epistémicas.¹⁹ Así, en la relación establecida con la arena de certificación técnica, los ahora empresarios de A&B tenían que interactuar con las entidades encargadas de otorgar los registros correspondientes. Primero con el Reniecyt para registrar la empresa como una entidad de ciencia y tecnología con lo cual podrían solicitar fondos gubernamentales de apoyo a las empresas innovadoras; luego con Sagarpa, para los registros de uso, demostrando que Fungifree AB® funcionaba para el control de la antracnosis del mango; y más adelante con los laboratorios certificados ante Cofepris para demostrar la inocuidad del producto a la salud humana. Todas estas relaciones se basaron en recursos técnicos porque A&B debía diligenciar documentos especializados, así como realizar pruebas y experimentos auditados por peritos para demostrar su eficiencia como empresa innovadora y como producto biotecnológico.

149

Otra arena epistémica identificada es la territorial, correspondiente a los productores cooperantes y los clientes en una relación primordialmente basada en los recursos naturales. Los primeros accedieron a prestar sus huertas durante el periodo de pruebas *in situ* del producto, el papel del CIAD y de El Rodeo Fruit (ERF) en esta etapa fue muy importante porque la transacción de recursos fue posible gracias a la confianza entre ellos y los agricultores. Se movilizó este bien simbólico para que accedieran a aplicar un biofungicida desconocido hasta ese momento en los árboles de sus huertas.

También se tuvo que establecer relaciones con la arena empresarial. Aquí A&B tuvo que negociar y llegar a acuerdos económicos respecto a la producción del biofungicida a nivel semicomercial (ERF), comercial (FMC) y a escala industrial (empresa anónima). Los recursos que ordenaron las relaciones aquí fueron de tipo

19. "Cuando iniciamos el proyecto ni siquiera sabíamos todo lo que teníamos que resolver, sobre todo en la parte de registros, pues no sabíamos nada porque no es algo que uno haga en el trabajo académico" (Galindo, entrevista del 15 de mayo de 2019).

económico: las ganancias para cada participante como bien simbólico y el dinero como bien material. Específicamente, FMC interactúa desde la arena empresarial con la arena territorial al comercializar a sus clientes el biofungicida a nivel territorial en amplias zonas del país. Para los miembros de A&B, el rol de la empresa FMC ha sido fundamental porque, sin ella, Fungifree AB® no habría podido llegar a las zonas en donde hoy se comercializa; FMC ha sido un socio determinante en la trayectoria de Fungifree AB® y un mediador de primer orden en el uso social de dicho producto biotecnológico.

Como se observa en la **Figura 2**, la fabricación y comercialización de Fungifree AB® se ha movilizado por distintas arenas transcendentales; la acción de los científicos ha trascendido el locus del laboratorio para interactuar con otras culturas epistémicas. Ellos mismos han tenido que adentrarse y apropiarse de la cultura empresarial para crear una *spin-off* y así llevar a cabo la transferencia tecnológica con éxito. Esto significó un proceso de aprendizaje que los terminó posicionando no sólo en la arena empresarial, sino también en la arena científica al obtener premios y reconocimientos en el campo biotecnológico (**Figura 1**).

3.2. Los aprendizajes en la coproducción

La coproducción es un proceso que requiere “la fabricación simultánea de los hechos, criterios de validez, demostraciones públicas, procedimientos administrativos confiables y discursos de la razón que tengan peso para los políticos y el público” (Jasanoff, 2013: 468). Todo ello involucra el nexo entre el orden natural y el orden social, el cual se puede comprender a través de los siguientes aspectos (Jasanoff, 2004a: 39-41):

1. *Producción de identidades*: relaciones entre lo humano y lo no humano; entre lo individual y lo colectivo; la identidad de los expertos.
2. *Producción de instituciones*: relaciones de poder y de conocimiento y el control que ejercen sobre los comportamientos.
3. *Producción de discursos*: nuevos lenguajes o modificación de los existentes; públicos y audiencias; estrategias discursivas y relatos en la producción de conocimientos.
4. *Producción de representaciones*: cómo se hacen inteligibles los fenómenos humanos y materiales; representaciones sociales y políticas; influencias históricas, políticas y culturales en las representaciones de las prácticas científicas.

¿Tiene la historia narrada de Fungifree AB® los elementos antes señalados para ser considerada esta biotecnología como un hecho científico que ha sido coproducido social y cognitivamente? Y si es así, ¿cuáles fueron los principales aprendizajes de los participantes en dicha coproducción?

Siguiendo las ideas de Jasanoff, en este apartado nos proponemos demostrar que la coproducción ha sido una idea potente para los estudios CTS porque ayuda a comprender los hechos científicos más allá de la dicotomía internalismo-externalismo.

Como aporte adicional, sugerimos que la coproducción invita a rastrear los aprendizajes de los participantes derivados de ella en términos sociotécnicos.

La fabricación del biofungicida Fungifree AB® nace de la lucha de unos fitopatólogos ubicados en Culiacán contra un hongo que afecta la salud del mango. La lucha se había iniciado a finales de la última década del siglo XX; aunque parecía que los científicos avanzaban creando conocimientos importantes acerca del comportamiento de su enemigo, la guerra por aquella época estaba lejos de culminar. El hongo *Colletotrichum gloeosporioides* persistía en su propia batalla apareciendo y atacando en cada temporada de cosecha los árboles del mango dañando sus frutos o dejándolos sin la calidad necesaria para la exportación. Ciertamente, a partir de proyectos de investigación básica, el CIAD de Culiacán había adquirido importantes aprendizajes sobre el *C. gloeosporioides* y a partir de ello tenía aislados un potencial ejército de 120 cepas (5 levaduras y 115 bacterias) para combatir el hongo (Carrillo *et al.*, 2005). Sin embargo, el arsenal tecnológico con el cual contaban los científicos era insuficiente para seguir avanzando en el aprendizaje para identificar cuál de esos microorganismos podía actuar como el antagonista perfecto.

Como el conocimiento no puede existir sin los apoyos sociales apropiados (Jasanoff, 2004b), el avance en la lucha se dio cuando el CIAD y el IBT se unieron en un proyecto conjunto complementando las capacidades científicas y tecnológicas de cada uno. Adicionalmente, el estudio de un problema desde múltiples miradas disciplinares —o culturas epistémicas, en términos de Knorr-Cetina (1999)— enriqueció su conceptualización y del diseño de metodologías experimentales. Como dicen Rebeca de Gortari y sus colaboradoras al analizar este mismo caso de Fungifree AB®:

“Las colaboraciones y alianzas establecidas por los investigadores en puntos críticos del desarrollo científico y tecnológico, fueron cruciales para la construcción de un caso exitoso de transferencia de conocimiento y tecnología, y de puesta en marcha dentro de un mercado altamente competitivo” (De Gortari *et al.*, 2017: 183).

Otro de los aprendizajes que más destacan durante todo el proceso de innovación fue el referido a la creación e incubación de una empresa *spin-off*. Esta etapa, que congregó a autoridades jurídicas y gubernamentales de la UNAM, a los científicos de la UNAM y a miembros del estado de Morelos en apoyo de transferencia tecnológica, fue la de mayor intensidad en términos de coproducción de conocimientos porque A&B fue la primera experiencia de una empresa *spin-off* en el IBT que logra introducir un producto en el mercado. Los vacíos y obstáculos burocráticos pusieron a los investigadores en una situación de presión del tiempo en términos de acuerdos de patentes, certificaciones, registros y demás frente a la versatilidad de algunas empresas para suscribir los convenios.

La ralentización de ese tipo de procedimientos fue el reflejo de la inexperiencia de los investigadores y de la rigidez (y a veces ambigüedad) de la cultura burocrática de las instituciones. Todo ello generó aprendizajes y conocimientos construidos conjuntamente, pues, como dicen De Gortari *et al.*, “las barreras más complicadas,

como el vacío en la legislación universitaria, fueron sorteadas sentando jurisprudencia, lo que puede convertirse en un incentivo para que los investigadores orienten su trabajo no solamente a la ciencia aplicada sino a la resolución de problemas planteados por la sociedad” (2017: 187).

La fabricación de esta biotecnología no hubiese sido posible sin la negociación y los procesos de traducción entre las distintas culturas epistémicas. Fungifree AB® debe entenderse, desde la perspectiva de la coproducción, como una tecnología que logró estabilizar una parte de la naturaleza (controlar la acción negativa del hongo *C. gloeosporioides* sobre el mango a través de la bacteria *Bacillus subtilis* 83) gracias a la reorganización de una parte de la sociedad (la creación de la empresa A&B en interacción con sus socios comerciales). Para lograr dicha estabilización de la naturaleza, los científicos tuvieron que moverse e interactuar en diversas arenas epistémicas de la sociedad; esto significó el aprendizaje tanto del comportamiento de microorganismos como de diferentes entramados culturales humanos. En todo ese aprendizaje se fueron construyendo nuevas interacciones que, tomadas en conjunto, significó la fabricación social de Fungifree AB®; es decir, una coproducción de participantes sociales y naturales en un contexto concreto.

Y aquí es interesante ver cómo se impulsó una dinámica social y cognitiva que influyó, paralelamente, en la configuración de un orden microsocioal (la gestación y certificación de Agro&Biotecnica) y en la acción instrumental sobre un microorganismo (la fermentación a nivel industrial del *Bacillus*). Ambas prácticas se recombinaron para generar un nuevo ethos en los investigadores que establecieron una simetría entre los intereses de la investigación netamente científica y la intención de generar estrategias de utilidad social.

“La ciencia, en el marco de coproducción, no se entiende como un simple reflejo de la verdad sobre la naturaleza ni como un fenómeno de intereses sociales y políticos. Más bien, la coproducción es simétrica porque llama la atención sobre las dimensiones sociales de los compromisos y entendimientos cognitivos, al tiempo que subraya los correlatos epistémicos y materiales de las formaciones sociales” (Jasanoff, 2004b: 3).

Hoy el producto creado se usa en el sector agrícola de la sociedad mexicana gracias a la estabilización que se produjo entre el conocimiento científico básico, la investigación aplicada, la creación de una *spin-off* y los aciertos en la comercialización del producto.

3.3. Del laboratorio al campo: los usos sociales de la bacteria *Bacillus subtilis*

Cuando la empresa FMC empezó a comercializar el biofungicida por diferentes estados de México, la bacteria *Bacillus subtilis* dejó de ser un objeto de estudio para el grupo de científicos del IBT (por lo menos temporalmente) y se transfiguró en una mercancía fitosanitaria normalizada contenida en envases de plástico (**Imagen 3**). Esta incorporación al orden social tuvo trayectoria compleja con variaciones técnicas, obstáculos burocráticos y aprendizajes culturales. Luego de sortear estas vicisitudes,

la transferencia de tecnología pudo explotarse para dar solución a un problema que había afectado por décadas a los productores agrícolas.

En este apartado nos centraremos en ese último recorrido del microorganismo *Bacillus subtilis* para dar cuenta de su actual uso social. El recorrido de la investigación en el laboratorio a los anaqueles de las tiendas de productos agroindustriales significó una resignificación de la bacteria para los científicos y un descubrimiento para los agricultores. El descubrimiento refiere a una participación indirecta (y final) de los compradores en los ensamblajes técnicos y científicos previos realizados en las diferentes fases de la investigación básica y aplicada como un continuum biotecnológico. A su vez, la resignificación implica la caracterización de un nuevo rol de los científicos en la sociedad, porque buscan vincular sus conocimientos a un problema social:

“... la apelación a la vinculación remite a distintos niveles de organización: se refiere a la reorganización de la universidad como institución, al significado de la ciencia en la sociedad, a los cambios en la participación del científico en la sociedad, a la resignificación del sentido de utilidad social” (Vaccarezza y Zabala, 2002: 16).

Si los científicos del CIAD tenían una noción internalista de la ciencia durante los años de trabajo aislando microorganismos, en el momento de entrar en contacto con Galindo, esta visión se fue transformando gracias al aprendizaje adquirido en los proyectos multidisciplinarios que emprendieron para el control biológico de fitopatógenos (Serrano y Galindo, 2007). Así, fueron adquiriendo un *ethos* que los vinculaba más abiertamente con la generación de conocimientos aplicados. Los investigadores del CIAD decidieron mantenerse en la arena científica mientras que los del IBT decidieron incursionar en la arena empresarial. No se está sugiriendo que una decisión haya sido mejor que la otra; simplemente se señala que cada grupo de investigadores optó por diferentes niveles y lógicas de vinculación: el grupo del CIAD a escala local y con interacciones cercanas con los productores de Sinaloa a través de investigaciones fitopatológicas en sus huertas; el grupo del IBT a escala nacional a través de la transferencia de tecnología y la subsecuente mediación de otros actores para la generación de un producto aplicable a nivel comercial.

153

Para los miembros del IBT, más que para los del CIAD, esto significó la interpelación de su vida cotidiana como personas dedicadas a la investigación (básica o aplicada) y la adquisición de prácticas complementarias a las tradicionales del laboratorio. En otras palabras, hubo una reconfiguración de sus subjetividades científicas:

“Desde el punto de vista de la subjetividad de los investigadores científicos como actores sociales, el traspaso de un marco de referencia de la acción como la comunidad científica, la disciplina, el *ethos* científico tradicional, el campo científico que orienta en la definición de objetivos, temas, medios, relaciones, etc., a otro en el que los aspectos utilitarios y económicos del conocimiento adquieren relevancia igual o superior a la resolución de las cuestiones teóricas

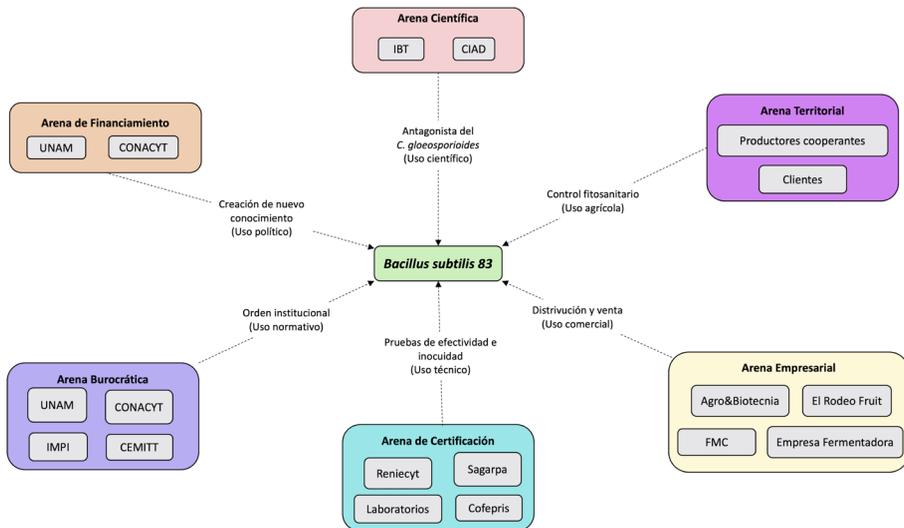
en la confección de la agenda de investigaciones no se resuelve de manera lineal, simple, unívoca o regular” (Vaccarezza y Zabala, 2002: 26-27).

Para los autores citados, la utilidad social de un conocimiento se define en términos subjetivos; es la atribución de sentido por parte del científico donde lo determinante de la utilidad no es la generación de un beneficio, sino la expectativa respecto a la utilidad del objeto o la tecnología para otros actores (Vaccarezza y Zabala, 2002). En el caso que estoy analizando, los científicos se sumergieron en la búsqueda de un biofungicida que pudiera controlar efectivamente la antracnosis. Sus expectativas estaban puestas en dar solución a este fenómeno natural independientemente de los reconocimientos y réditos académicos que eso pudiera significar porque aún no sabían siquiera que encontrarían una solución efectiva. Cuando encontraron la bacteria antagonista que podía controlar la antracnosis y la estabilizaron de forma sólida en esporas bajo técnicas de fermentación novedosas, reconocieron un uso social de su innovación, pero no sabían si iba ser aceptada por los empresarios, primero, y por los agricultores, después.

En cada etapa la utilidad social de la biotecnología se fue movilizando desde las expectativas subjetivas de los científicos hacia las expectativas de los demás miembros de las arenas epistémicas participantes. Así pues, el uso social de la bacteria *Bacillus subtilis* tiene diferentes significaciones según el grupo de actores con el que interactúe (**Figura 3**).

154

Para los investigadores de la arena científica, el *Bacillus* tuvo un uso científico como microorganismo antagonista del *C. gloeosporioides*. Para la UNAM y el Conacyt, como actores dentro de la arena de financiamiento, las expectativas de uso se establecieron como un objeto de estudio con potencial para generar nuevo conocimiento, lo cual a cada una de las instituciones le generaría utilidades en sus estadísticas de apoyo a la investigación científica; por ello el uso fue político. En la arena burocrática, el *Bacillus* tuvo un uso normativo, ya que las expectativas de sus actores era generar jurisprudencia y orden institucional respecto a los convenios y las patentes. En la arena de certificación, el microorganismo tuvo un uso técnico alrededor de las pruebas de efectividad e inocuidad que se le aplicaron tanto en laboratorios certificados como en campo. En la arena empresarial, el uso fue netamente comercial, ya que a través de él se logró un incremento en la distribución, venta y exportación del mango, generando utilidades económicas a las empresas. Finalmente, para los agricultores de la arena territorial la bacteria tiene un uso agrícola, ya que, gracias a ella, pueden realizar un control fitosanitario a sus cultivos y así erradicar el riesgo de la aparición de la antracnosis. Siguiendo la propuesta de Vaccarezza y Zabala (2002), al conjunto de esos diversos tipos de utilidades lo podemos caracterizar como la dimensión subjetiva del uso social del *Bacillus subtilis* 83.

Figura 3. Usos sociales de la bacteria *Bacillus subtilis* 83

Fuente: elaboración propia

De acuerdo con Zabala (2004), la utilidad de la ciencia puede ser analizada en el nivel macrosocial, institucional y de interacción entre actores. Aquí nos hemos centrado en la utilidad desde el nivel de las interacciones de los sujetos. Como se observa en la **Figura 3**, las expectativas orientan las estrategias de acción de cada actor dando a la apropiación diferentes significados y recursos simbólicos. Por ello se dice que la utilidad es el resultado de una construcción social (Zabala, 2004). Las diferentes relaciones de recursos e intercambios durante la producción de conocimientos en el proceso de creación y comercialización de Fungifree AB[®] dieron la posibilidad de que el producto llegara a las huertas y fincas de los agricultores, quienes son ajenos a la cultura científica. Así, un conocimiento generado en el laboratorio a partir de investigación básica y las capacidades tecnológicas del CIAD y del IBT posibilitaron que la bacteria *Bacillus subtilis* 83 fuera adquiriendo nuevas significaciones en cada interacción con las arenas participantes hasta convertirse en un biofungicida con alto reconocimiento por su efectividad en los cultivos y por la innovación introducida a nivel tecnológico. Tal vez no todos sean conscientes de ello, pero hoy ninguno de los actores puede dudar de que la bacteria tuvo una utilidad específica acorde con sus esquemas de intereses e intenciones. He ahí, en cada tipo de apropiación, el sentido del uso social del conocimiento.

Conclusiones

Como fue mencionado en apartados anteriores, hoy no sólo los productores sinaloenses de mango hacen uso del producto biotecnológico Fungifree AB[®]; su uso como fungicida

efectivo se ha extendido a 20 cultivos diferentes para cuatro enfermedades causadas por hongos en diversas regiones del país. La barrera de los agricultores sobre la venta o exportación sus productos por cuenta de la antracnosis se ha erradicado en un alto porcentaje, pues la germinación de las esporas para que empiecen a hacer su trabajo una vez aplicado el producto es de 90% (Galindo, entrevista del 15 de mayo de 2019). La alta calidad de los productos agrícolas en términos de ausencia de enfermedades y de residuos tóxicos ha sido posible porque hubo una recombinación de inquietudes cognitivas, experticias científicas, capacidades tecnológicas, efectividad técnica, voluntades institucionales y asimilación de riesgos comerciales.

Fungifree AB[®] es un caso paradigmático en el conjunto trifásico de creación de una empresa *spin-off*, transferencia de conocimientos y apropiación social del conocimiento. Aunque el relato expuesto omite ciertos detalles en aras de la simplicidad en la exposición, en realidad toda la historia fue bastante difícil y de largo aliento (aproximadamente 12 años). Se alcanza a vislumbrar, empero, la complejidad que existe en llevar a éxito un triple proceso como este. Dicha complejidad se identificó en la multidisciplinariedad con la cual se inició el proyecto. Las negociaciones entre especialistas de la fitopatología (grupo del CIAD) y la biotecnología (grupo del IBT) dieron la oportunidad de respuesta a un problema concreto que interesaba a ambos; los acuerdos cognitivos se estipularon dentro de la cordialidad y el respeto entre colegas, y ello se logró gracias a los efectivos procesos de traducción entre diferentes culturas epistémicas correspondientes a la arena científica (ingeniería química, ingeniería bioquímica, ingeniería agronómica, etc.). También se identificó en los trámites burocráticos que tuvieron que sortear los investigadores durante la creación de A&B, así como en la firma de los convenios en donde la UNAM tuvo participación. Fueron meses de negociaciones y de espera sobre la toma de decisiones de tipo jurídico donde los científicos no tenían poder directo. Algo similar sucedió con los rigurosos trámites para las certificaciones otorgadas por Sagarpa y Cofepris.

156

Vale la pena destacar que las subvenciones financieras otorgadas por las entidades gubernamentales fueron fundamentales para llevar a cabo los distintos proyectos que fueron vinculados. Aquí se evidencia una fortaleza institucional que favorece el desarrollo de la investigación científica en México. Los instrumentos de política científica y tecnológica como los fondos mixtos y sectoriales del Conacyt fueron fundamentales para la innovación biotecnológica en este caso y son un buen ejemplo de la importancia de los organismos nacionales de ciencia y tecnología en el impulso a las capacidades científicas de un país. Por eso, no deja de llamar la atención que se haya decidido no darle continuidad a estos recursos.

Por último, y tal vez lo más importante en términos sociales, es la solución de un problema que había afectado a los agricultores por años. Al poner este conocimiento a disponibilidad de su uso social, se mejoraron los rendimientos de las cosechas y, al mismo tiempo, se eliminaron los riesgos para la salud: “Una ventaja fundamental de los ACB [agentes de control biológico] sobre los del tipo agroquímico es la ausencia de efectos nocivos para el medio ambiente y la salud, además de representar menores pérdidas poscosecha” (De Gortari *et al.*, 2017: 183). Esta biotecnología posibilitó

el cumplimiento de los criterios de exportación exigidos por países como Japón en términos fitosanitarios y de calidad del producto.²⁰

Para los estudios sociales de la ciencia y la tecnología, el caso analizado permitió ensamblar algunas de las categorías más importantes, y de allí se derivan algunas preguntas que orientarán futuras investigaciones. ¿Cuáles fueron los diferentes perfiles de los científicos y técnicos que participaron en las diferentes etapas del proceso de la transferencia de tecnología? ¿Cómo influyen dichos perfiles en las nociones de “ciencia” construidas durante las trayectorias científicas? ¿Existe una percepción compartida, en los miembros de las diversas arenas epistémicas, sobre el papel de la ciencia en solución de problemas sociales?

Bibliografía

AMARO, M. y MORALES, M. (2010): “La Biotecnología en México, una aproximación desde los sistemas sectoriales de innovación”, *Ideas CONCYTEG*, vol. 5, n° 64, pp. 1224-1246.

AMARO, M. y ROBLES, E. (2013): “Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana”, *Entreciencias: diálogos en la Sociedad del Conocimiento*, vol. 1, n° 2, pp. 107-119.

AMARO, M. y VILLAVICENCIO, D. (2015): “Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola-alimentaria en México”, *Estudios Sociales del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo*, n° 45, pp. 35-62.

BOLÍVAR ZAPATA, F. (2002): *Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI: retos y oportunidades*, México D.F., CONACYT y Fondo de Cultura Económica.

BOLÍVAR ZAPATA, F. (2003): *Recomendaciones para el desarrollo de la biotecnología en México*, México, D.F., CONACYT y Academia Mexicana de Ciencias.

BOLÍVAR ZAPATA, F. (2008): “Creación y consolidación del Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología y su transformación en el Instituto de Biotecnología de la UNAM”, *Una ventana al quehacer científico*. Instituto de Biotecnología de la UNAM 25 aniversario, México D.F., IBT-UNAM, pp. 13-20.

20. “El producto fue sometido a diversas pruebas, y las realizadas ante la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (Sagarpa) demostraron que la proporción de la cosecha de mango con calidad de exportación puede alcanzar hasta un 80%, mientras que con los agroquímicos va del 25 al 30 por ciento” (Innovación UNAM, 2016).

BOURDIEU, P. (2008 [1976]): "El campo científico", en Bourdieu, Pierre. *Usos sociales de la ciencia*, Buenos Aires, Ediciones Nueva Visión, pp. 11-57.

CARRILLO, J. *et al.* (2005): "Control biológico de la antracnosis [Colletotrichum gloeosporioides (Penz.) Penz. y Sacc.] y su efecto en la calidad poscosecha del mango (*Mangifera indica* L.) en Sinaloa, México", *Revista Mexicana de Fitopatología*, vol. 23, n° 1, pp. 24-32.

CASAS, R. (1993): *La investigación biotecnológica en México: tendencias en el sector agroalimentario*, México D.F., Instituto de Investigaciones Sociales-Universidad Nacional Autónoma de México.

CASAS, R.; CHAUVET, M y RODRÍGUEZ, D. (1992): *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*. México D. F., Universidad Autónoma Metropolitana, IIE-UNAM, IIS-UNAM.

CHAUVET, M. (2015): *Biotecnología y sociedad*. México, D.F., Universidad Autónoma Metropolitana-Unidad Iztapalapa.

DE GORTARI, R., MEDINA, N. y CABRERA, E. (2017): "Fungifree AB®", en D. Villavicencio (coord.): *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*, México D.F., Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 171-190.

158

DIDOU, S. y REMEDI, E. (2008): *De la pasión a la profesión: investigación científica y desarrollo en México*. México D.F., CINVESTAV.

DUTRÉNIT, G. *et al.* (2010): *El sistema nacional de innovación mexicano: instituciones, políticas, desempeño y desafíos*, México D.F., Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

GALINDO, E. *et al.* (2005): "Tecnologías para el control biológico de la principal enfermedad del mango (antracnosis) y su efecto en la poscosecha", *Claridades Agropecuarias*, n° 148, pp. 50-59.

GALINDO, E. *et al.* (2013): "The challenges of introducing a new biofungicide to the market: A case study", *Electronic Journal of Biotechnology*, vol. 16, n° 6. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.2225/vol16-issue3-fulltext-6>.

GALINDO, E. *et al.* (2015): "Desarrollo histórico y los retos tecnológicos y legales para comercializar Fungifree AB®, el primer biofungicida 100% mexicano", *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 18, n° 1, pp. 52-60.

INSTITUTO DE BIOTECNOLOGÍA (2018): *Sexto informe de actividades 2018*. Disponible en: http://www.ibt.unam.mx/computo/pdfs/6to_informe.pdf

JASANOFF, S. (2004a): "Ordering knowledge, ordering society", *States of knowledge. The co-production of science and social order*, Londres, Routledge, pp. 13-45.

JASANOFF, S. (2004b): “The idiom of co-production”, *States of knowledge. The co-production of science and social order*, Londres, Routledge, pp. 1-12.

JASANOFF, S. (2013): “Ensamblando el aire: una coproducción de materia y materia discutible”, en O. Restrepo (ed.): *Proyecto Ensamblado en Colombia. Tomo 1. Ensamblando estados*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, Centro de Estudios Sociales (CES), pp. 465-475.

KNORR-CETINA, K. (1996): “¿Comunidades científicas o arenas transepistémicas de investigación? Una crítica de los modelos cuasi-económicos de la ciencia”, *REDES*, vol. 3, n° 7, pp. 129-160.

KNORR-CETINA, K. (1999): *Epistemic Cultures. How sciences make knowledge*. Cambridge, Harvard University Press.

KNORR-CETINA, K. (2005 [1981]): *La fabricación del conocimiento. Un ensayo sobre el carácter constructivista y contextual de la ciencia*, Bernal-Argentina, Universidad Nacional de Quilmes.

LATOURETTE, B. (1998): “De la mediación técnica: filosofía, sociología, genealogía”, en M. Domènech y F. Tirado (comps.): *Sociología simétrica. Ensayos sobre ciencia, tecnología y sociedad*, Barcelona, Gedisa, pp. 249-302.

LATOURETTE, B. (2001): *La esperanza de Pandora. Ensayos sobre la realidad de los estudios de la ciencia*, Barcelona, Gedisa.

159

LAZZARATO, M. (2007): “El acontecimiento y la política. La filosofía de la diferencia y las ciencias sociales”, en M. Zuleta, H. Cubides y M. Escobar (eds.): *¿Uno solo o varios mundos? Diferencia, subjetividad y conocimientos en las ciencias sociales contemporáneas*, Bogotá, Universidad Central y Siglo del Hombre.

MANZANO, F., RIVERA, D. y BRACAMONTES, J. (2017): “Situación actual de las Tecnologías de Propósito General en México: biotecnología, nanotecnología y tecnologías ambientales”, en D. Villavicencio (coord.): *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*. Ciudad de México, Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 305-350.

MORALES, A. y AMARO, M. (2017): “Panorama general de la biotecnología en México y el mundo” en D. Villavicencio (coord.): *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*, México D. F., Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco, pp. 33-67.

MORALES, A. y AMARO, M. (2019): *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*, México D. F., Facultad de Economía, UNAM.

PINCH, T. y BIJKER, W. (2013). “La construcción social de hechos y de artefactos: o acerca de cómo la sociología de la ciencia y la sociología de la tecnología pueden

beneficiarse mutuamente”, en H. Thomas y A. Buch (coords.): *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Bernal-Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 19-62.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA, GANADERÍA, DESARROLLO RURAL, PESCA Y ALIMENTACIÓN (2017): *Planeación agrícola nacional 2017-2030. Mango mexicano*, Ciudad de México, SAGARPA.

SERVICIO DE INFORMACIÓN AGROALIMENTARIA Y PESQUERA (2015): *Agricultura: Producción anual*. México: SAGARPA. Disponible en: <http://www.siap.gob.mx/agriculturaproduccion-anual/>

SERRANO, L. *et al.* (2010): “Biofungicidas para el control de la antracnosis del mango: logrando frutos de alta calidad internacional para mercados exigentes”, *Claridades Agropecuarias*, n° 208, pp. 28-37.

SERRANO, L y GALINDO, E. (2007): “Control biológico de organismos fitopatógenos: un reto multidisciplinario”, *Ciencia*, pp. 77-88.

STEZANO, F. (2012): “Transferencia de conocimientos entre ciencia e industria en el sector de la biotecnología en México”, en J. Carrillo, A. Hualde y D. Villavicencio (coords.): *Dilemas de la innovación en México. Dinámicas sectoriales, territoriales e institucionales*, Tijuana y México D. F., El Colegio de la Frontera Norte/Red Temática Complejidad, Ciencia y Sociedad de Conacyt, pp. 143-184.

THOMAS, H. y BUCH, A. (2013): *Actos, actores y artefactos. Sociología de la tecnología*, Bernal-Argentina, Universidad Nacional de Quilmes.

TRUJILLO, M. (2015): “Usos y costumbres acerca del fermentador más común en biotecnología: el matraz agitado”, *Biotecnología en movimiento*, n° 3, pp. 25-27.

URIBE, M. (2009): “Health Science”, en J. P. Laclette (ed.): *Science in Mexico 2008: present state and perspectives*, México D.F., Academia Mexicana de Ciencias, pp. 239-275.

VACCAREZZA, L. y ZABALA, J. P. (2002): *La construcción de la utilidad social de la ciencia. Investigadores en biotecnología frente al mercado*, Bernal-Argentina, Universidad Nacional de Quilmes.

VILLAVICENCIO, D. (2017): *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México*, México D. F., Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.

ZABALA, J. P. (2004): “La utilidad de los conocimientos científicos como problema sociológico”, en P. Kreimer, H. Thomas, P. Rossini y A. Lalouf (eds.): *Producción y uso social de conocimientos. Estudios de sociología de la ciencia y la tecnología*, Bernal-Argentina, Universidad Nacional de Quilmes, pp. 151-172.

Notas periodísticas

LA CRÓNICA: “Biofungicida combate roya de café y protege a más de 20 cultivos”, 18 de junio de 2019. Disponible en: https://www.cronica.com.mx/notas-biofungicida_combate_roya_del_cafe_y_protege_a_mas_de_20_cultivos-1122606-2019?fbclid=IwAR0IBeVmyC0miO3_oldttXNzMjZiYuncIPomoeOTazMslyuAnygdBx_DCw%23.XQpaXnYr1pM.twitter.

INNOVACIÓN UNAM: “Comercializan con éxito biofungicida 100 por ciento mexicano”, 1 de octubre de 2016. Disponible en: http://www.innovacion.unam.mx/noticiero/noticia_22.html.

UNAM-DGCS (2015): “Certifican primer biofungicida mexicano, desarrollado en la unam, como producto orgánico”, Boletín UNAM-DGCS 060. Disponible en: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2015_060.html.

Cómo citar este artículo

GUZMÁN TOVAR, C. (2020): “Vicisitudes de la transferencia tecnológica en México: arenas epistémicas, coproducción y uso social de la bacteria *Bacillus subtilis*”, *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad — CTS*, vol. 15, n° 45, pp. 131-161.