



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE POSGRADO EN ECONOMÍA

FACULTAD DE ECONOMÍA ♦ DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

**Capacidades tecnológicas en empresas biotecnológicas mexicanas
relacionadas con el sector agroindustrial alimentario**

TESIS

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

Maestra en Economía

PRESENTA:

Myrsia Eliany Sánchez Goicochea

TUTOR:

Dra. Marcela Amaro Rosales
Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM

MIEMBROS DEL JURADO:

Dr. Héctor Eduardo Díaz Rodríguez
Facultad de Economía, UNAM

Dr. Mario Alberto Morales Sánchez
Facultad de Economía, UNAM

Dr. José Luis Solleiro Rebolledo
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, UNAM

Dr. Daniel Villavicencio Carbajal
Universidad Autónoma Metropolitana, Xochimilco



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Agradecimientos institucionales

Agradezco a la Dra. Marcela Amaro Rosales, por guiar la presente investigación y ser un pilar fundamental en mi formación profesional. Por su disposición, escucha y atención a cada una de mis inquietudes; por confiar en mí, por motivarme a enfrentar nuevos retos y por darme la oportunidad de seguir creciendo en el ámbito profesional y personal. Gracias por su apoyo incondicional.

A los miembros del jurado: a los Dres. Alberto Morales Sánchez y Héctor Díaz Rodríguez, quienes comentaron y retroalimentaron mi investigación durante mis estudios de maestría, enriqueciendo mi trabajo; a los Dres. José Luis Solleiro Rebolledo y Daniel Villavicencio Carbajal por leer mi trabajo, por sus comentarios y recomendaciones, gracias por sus valiosos aportes.

Esta investigación es producto del apoyo recibido por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del Programa de Becas Nacionales del Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC).

De igual manera esta investigación estuvo apoyada por el Proyecto de Investigación PAPIIT IA300620, “Capacidades tecnológicas, instituciones, e innovación en la biotecnología agroindustrial y farmacéutica en México”, haciendo posible la culminación de esta.

Agradecimientos personales

A mis padres Cesar y María, a mi hermana Valeria y a mi sobrino Mateo por su amor, paciencia y sus consejos. Gracias por su apoyo incondicional, por darme alas para volar, por estar conmigo en las buenas y en las malas; pero sobre todo gracias por recordarme que mi voz es mi poder, mi inteligencia mi mejor arma y que en mi corazón está mi grandeza.

A mis abuelitos, amigos y familia en general, gracias por sus palabras, por confiar y estar al pendiente de mí; todos hicieron que este camino fuera más fácil. Gracias por ser mi soporte emocional siempre, a pesar de la distancia.

A mis tíos Oscar Goicochea, Ramón Sánchez y Oscar Medina gracias por enseñarme que se vale equivocarse y también evolucionar; por enseñarme a luchar, y demostrarme que la educación es uno de los primeros pasos para lograr el cambio. Ya no están con nosotros, pero su legado continuará.

A todas las empresas que me abrieron sus puertas, a los colaboradores y distintas personas que me donaron su tiempo y disposición en cada entrevista. La información que me proporcionaron fue muy valiosa para esta investigación.

INDICE GENERAL

Introducción.....	7
1. Capacidades y aprendizaje tecnológico	13
1.1 Marco de referencia.....	13
1.2 Concepto de capacidades tecnológicas.....	16
1.3 Clasificación de las capacidades tecnológicas.....	18
1.4 Aprendizaje tecnológico.....	26
1.5 Adaptación de la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología.....	28
2. Estructura y contexto de la biotecnología	36
2.1 Biotecnología y conceptos básicos.....	36
2.2 Biotecnología asociada al sector agroindustrial alimentaria.....	41
2.3 Panorama de la biotecnología en el mundo.....	44
2.4 Panorama de la biotecnología en México.....	52
3. Construcción metodológica	64
3.1 Objetivo y pregunta de investigación.....	64
3.2 Características de la investigación.....	64
3.3 Definición del sector agroindustrial-alimentario y técnicas biotecnológicas asociadas.....	65
3.4 Universo de estudio.....	68
3.5 Método: estudio de casos múltiples.....	72
3.6 Técnica de recolección de información.....	77
3.7 Trabajo de campo.....	79
3.8 Explicación de la adaptación de la matriz de CT para la biotecnología.....	80
4. Capacidades tecnológicas en empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario	86
4.1 Biofábrica Siglo XXI.....	86
4.1.1 Características de la empresa.....	86
4.1.2 Capacidades tecnológicas de la empresa.....	89
4.1.3 Capacidades tecnológicas en I+D.....	92
4.1.4 Capacidades tecnológicas de inversión.....	93
4.1.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización.....	94
4.1.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación.....	94
4.2 Agro & Biotecnia.....	96
4.2.1 Características de la empresa.....	96
4.2.2 Capacidades tecnológicas de la empresa.....	98
4.2.3 Capacidades tecnológicas en I+D.....	101
4.2.4 Capacidades tecnológicas de inversión.....	103
4.2.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización.....	103
4.2.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación.....	104
4.3 Applied Biotec.....	105
4.3.1 Características de la empresa.....	105
4.3.2 Capacidades tecnológicas de la empresa.....	108
4.3.3 Capacidades tecnológicas en I+D.....	108
4.3.4 Capacidades tecnológicas de inversión.....	109
4.3.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización.....	111
4.3.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación.....	112
4.4 Nutravia.....	113

4.4.1 Características de la empresa.....	113
4.4.2 Capacidades tecnológicas de la empresa.....	117
4.4.3 Capacidades tecnológicas en I+D.....	119
4.4.4 Capacidades tecnológicas de inversión.....	120
4.4.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización.....	120
4.4.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación.....	121
4.5 Metco.....	122
4.5.1 Características de la empresa.....	122
4.5.2 Capacidades tecnológicas de la empresa.....	124
4.5.3 Capacidades tecnológicas en I+D.....	127
4.5.4 Capacidades tecnológicas de inversión.....	128
4.5.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización.....	128
4.5.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación.....	129
4.6 Síntesis de resultados.....	130
Conclusiones y propuesta de un modelo de innovación.....	137
Referencias bibliográficas.....	150

INDICE DE TABLAS

Tabla 01: Estado del Arte de Investigaciones sobre Capacidades Tecnológicas.....	15
Tabla 02: Matriz ilustrativa de capacidades tecnológicas a nivel firma propuesta por Lall (1992).....	22
Tabla 03: Matriz de capacidades tecnológicas propuesta por Bell & Pavitt (1995).....	24
Tabla 04: Matriz de CT para la biotecnología agroindustrial alimentaria en México.....	34
Tabla 05: Conceptos básicos relacionados con la biotecnología.....	40
Tabla 06: Cambios en las principales empresas capitalizadas en los mercados de Estados Unidos..	50
Tabla 07: Indicadores de capacidades científicas relacionadas con la biotecnológicas en México....	55
Tabla 08: Programas de Conacyt para fomentar la inversión en I+D e innovación.....	56
Tabla 09: Unidades económicas dedicadas a las actividades del sector agroindustrial-alimentario...	66
Tabla 10: Técnicas biotecnológicas usadas en el sector agroindustrial alimentario.....	67
Tabla11: Empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario	69
Tabla 12: Criterios de validez de la investigación.....	77
Tabla 13: Entrevistas realizadas.....	79
Tabla 14: Explicación de la adaptación de la matriz CT para la biotecnología agroindustrial alimentaria en México.....	83
Tabla 15: Características generales de la empresa Biofábrica Siglo XXI.....	88
Tabla 16: Matriz de capacidades tecnológicas de Biofábrica Siglo XXI.....	90
Tabla 17: Características generales de la empresa Agro&Biotecnia.....	98
Tabla 18: Matriz de capacidades tecnológicas de Agro&Biotecnia.....	100
Tabla 19: Características generales de la empresa Applied Biotec.....	107
Tabla 20: Matriz de capacidades tecnológicas de Applied Biotec.....	110
Tabla 21: Características generales de la empresa Nutravia.....	114
Tabla 22: Matriz de capacidades tecnológicas de Nutravia.....	118
Tabla 23: Características generales de la empresa Metco.....	124
Tabla 24: Matriz de capacidades tecnológicas de Metco.....	126
Tabla 25: Síntesis de los resultados de las capacidades tecnológicas de las empresas estudiadas..	130
Tabla 26: Actores y factores determinantes del éxito en biotecnología.....	145

INDICE DE FIGURAS

Figura 01: Evolución de la Biotecnología (principales sucesos, desarrollos y descubrimientos).....	37
Figura 02: Ámbitos de aplicación de la biotecnología por colores.....	39
Figura 03: Número de empresas biotecnológicas (2017 o último año disponible).....	45
Figura 04: Valor del mercado global de biotecnología por segmento (2012).....	46
Figura 05: Gasto del sector empresarial en I+D en biotecnología (2017 o último año disponible).....	48
Figura 06: Gasto del sector público en I+D en Biotecnología (2017 o último año disponible).....	48
Figura 07: Participación (%) de los países en patentes relacionadas con la biotecnología (2007y 2017)...	49
Figura 08: Empresas activas en biotecnología en México.....	53
Figura 09: Distribución de patentes con titulares mexicanos en IMPI (2009-2014).....	57
Figura 10: Patentes biotecnológicas PCT para México.....	58
Figura 11: Marco Regulatorio de la Industria Biotecnológica en México.....	61
Figura 12: Empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agrícola.....	75
Figura 13: Empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agrícola.....	76
Figura 14: Historia de Biofábrica Siglo XXI.....	87
Figura 15: Etapas de innovación y desarrollo de Biofábrica Siglo XXI.....	93
Figura 16: Historia de Agro&Biotecnia.....	95
Figura 17: Historia de Applied Biotec.....	106
Figura 18: Ecosistemas de empresas formadas alrededor de Nutravia.....	116
Figura 19: Historia de Metco.....	123
Figura 20: Modelo integral del templo para la innovación en Biotecnología.....	144
Figura 21: Ambiente de innovación en biotecnología.....	145

INTRODUCCIÓN

La presente investigación tiene como objetivo caracterizar y analizar las capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario. En la actualidad, distintas investigaciones alertan acerca de los desafíos económicos, sociales y ambientales que enfrentaremos a futuro, tales como: el crecimiento de la población, la seguridad alimentaria, el agotamiento de los recursos naturales, el cambio climático, así como la necesidad de generar fuentes de energía alternativa; los cuales nos llevan a una reflexión profunda acerca del modo de producción y consumo actual, al mismo tiempo que nos exhortan a buscar nuevas soluciones para hacer frente a estos escenarios desafiantes (Anlló, Bisang & Trigo, 2018; Otero, 2018).

En este sentido, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OECD) y la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), consideran a la *bioeconomía*¹, como una alternativa para abordar de manera integral los desafíos presentados anteriormente, así como una opción de desarrollo y mayor bienestar para los países, en particular para los países en desarrollo. Por ende, la producción basada en recursos y procesos biológicos, permitirían a las economías ser más competitivas y tener importantes contribuciones socioeconómicas; con beneficios en la salud, productividad agrícola, procesos industriales, sostenibilidad ambiental, entre otros.

A la luz de las alternativas generadas por la bioeconomía, surge la posibilidad de responder a estos desafíos a través de la *biotecnología*, que es “toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos” (Ruane & Zimmermann, 2003). Es importante resaltar que la biotecnología moderna², es una disciplina transversal basada directamente en la actividad científica, que en su parte industrial conforma un sector económico intensivo en conocimiento ya que mantiene una dependencia muy significativa de la investigación que se

¹ Desde una perspectiva económica, la *bioeconomía* puede definirse como el conjunto de actividades económicas relacionadas con la invención, desarrollo, producción y uso de recursos y procesos biológicos para proporcionar bienes y servicios de forma sostenible en todos los sectores económicos (OECD, 2009). A su vez la bioeconomía implica el puente de conexión entre la ciencia empírica de la biología y la teoría económica.

² Cuando la biología da pasos prometeicos al identificar el código genético de los seres vivos (ADN), la *moderna biotecnología* abre la posibilidad de desarrollo de nuevas enzimas recombinantes hasta el desarrollo de nuevos biopolímeros que sustituyen la producción de plástico en numerosas aplicaciones industriales (Gutman & Lavarello, 2014).

realiza en universidades y centros de investigación públicos y privados³. Otros autores, consideran que la biotecnología es un conjunto de técnicas habilitantes con fuerte contenido de diversas ciencias y a la vez una tecnología de uso transversal aplicables a distintas áreas como: agricultura, alimentación, farmacéutica, química, preservación del medio ambiente, entre otros (Amaro, 2018; Trejo, 2010).

Las prácticas agrícolas modernas generan distintos problemas tales como: erosión, degradación del suelo, salinización, contaminación del agua y la excesiva dependencia de recursos no renovables; los cuales han llevado a sectores, como el agroindustrial alimentario a buscar prácticas agrícolas alternativas que permitan lograr viabilidad tanto económica como ambiental. En este sentido, cabe resaltar que la biotecnología moderna resultante de la aplicación de los progresos de la ingeniería genética y más ampliamente de los procesos industriales utilizadores de biomasa, conduce a mediano y largo plazo a una profunda transformación de la agricultura; al tener un fuerte potencial para promover una agricultura alternativa, que evite los problemas creados por las tecnologías agrícolas modernas, al tiempo que preservan el medio ambiente y aumentan la productividad (Arroyo, 1988; Otero,1991; Morales & Amaro, 2017).

Partiendo de la premisa de la biotecnología como una tecnología de aplicación transversal que ofrece amplias ventanas de oportunidad, resulta fundamental discutir la importancia de las capacidades tecnológicas en los sectores que desarrollan esta tecnología. De acuerdo con Pavitt (1984), existen sectores económicos cuyas trayectorias de innovación se encuentran fuertemente ligadas al desarrollo del conocimiento científico. La biotecnología es una disciplina intensiva en conocimiento, donde los desarrollos científicos realizados por las empresas y otras organizaciones académicas pueden ser directamente valorizadas en el mercado; es decir, existe una fuerte relación entre generación de conocimiento y creación de valor (Pisano, 2006). Es por ello, que, en la biotecnología, el desarrollo y acumulación de capacidades tecnológicas es fundamental para transformar el conocimiento científico⁴ en conocimiento tecnológico⁵, generar innovación y así poder ser más competitivos en el mercado.

Las diversas teorías del cambio tecnológico sostienen que el proceso de acumulación y combinación de conocimientos al interior de las propias empresas, la cual se expresa en la

³ Citado en Morales & Díaz (2019), Perspectiva general y delimitación del sector biotecnológico desde la Economía de la Innovación.

⁴ **Conocimiento científico:** es la explicación del que, de las cosas, relacionado con el cúmulo de recursos y aptitudes desarrolladas por los agentes involucrados en las actividades científicas (Morales & Amaro, 2017).

⁵ **Conocimiento tecnológico:** es el cómo hacer las cosas, relacionado con el conjunto de técnicas que desarrolla la sociedad para modificar su entorno (Mokyr, 2002).

obtención sistémica de ciertas capacidades, y el generado fuera de ella a través de otras organizaciones como universidades, centros de investigación, entre otras, constituyen el antecedente inmediato de la innovación a nivel empresarial (Nelson & Rosenberg, 1993). En consecuencia, para lograr la innovación a nivel empresarial se necesita una base mínima de conocimiento tecnológico obtenido a partir de la generación y acumulación de capacidades tecnológicas.

Estas son de acuerdo con Kim (1997) las habilidades necesarias “para hacer uso efectivo del conocimiento tecnológico, mediante esfuerzos de asimilación, uso, adaptación y cambio de las tecnologías existentes”. En otras palabras, las capacidades tecnológicas son las habilidades necesarias que incluye destrezas, conocimientos y experiencias (utilizar de manera eficiente el hardware y el software de la tecnología), para generar y administran el cambio técnico, distintas de las requeridas para operar los sistemas técnicos (Bell & Pavitt, 1993).

En este sentido, cabe resaltar que el problema crucial para el desarrollo de capacidades tecnológicas (CT) consiste en transformar el conocimiento científico en conocimiento tecnológico; es decir, en transitar del saber a la acción para la solución de problemas concretos. Actualmente, el conocimiento científico juega un papel central en el proceso de innovación tecnológica; si bien no existe una relación directa entre estos dos tipos de conocimiento, porque no todo conocimiento científico se convierte en conocimiento tecnológico, se asume que, a mayor cúmulo de conocimientos científicos, mayor probabilidad de desarrollar conocimiento tecnológico y generar innovación (Morales & Villavicencio, 2015).

En suma, numerosos estudios destacan que el desarrollo de CT por parte de las empresas es uno de los pilares fundamentales para la creación y sostenimiento de ventajas competitivas entre países, regiones y empresas (sobre todo aquellas, cuyas actividades sean intensivas en tecnología). Por ende, bajo el argumento anterior, las capacidades tecnológicas desarrolladas por las empresas les permitirán competir en los mercados, y a partir de su éxito, ampliar su porcentaje de participación, obtener beneficios a largo plazo, crecer y mantenerse en un ambiente de constantes cambios (Arocena & Sutz, 2013; Canales & Godínez, 2015).

Es importante mencionar, que la generación y acumulación de CT no solo depende de un conjunto de factores relacionados con los flujos de conocimiento internos de la empresa, sino son el resultado de la participación conjunta de actores sociales configurados en un sistema estructurado e interrelacionado; esto involucra la combinación de estrategias dinámicas de

distintas instituciones públicas y privadas que tengan influencia en la creación y difusión del conocimiento tecnológico. En consecuencia, las empresas son el elemento central del sistema, debido a que representan al único agente capaz de introducir al mercado nuevos productos y procesos; pero estas no innovan en aislamiento sino articuladas a una red de agentes que coadyuvan al proceso (Lundvall, 1992).

Dada la discusión presentada en la problematización, se considera que a pesar de que México está rezagado en materia biotecnología es necesario estudiar una tecnología estratégica a nivel mundial, y las posibilidades que tienen las empresas biotecnológicas mexicanas para desarrollar capacidades tecnológicas que les permitan aprovechar las ventanas de oportunidad que ofrece esta tecnología, sobre todo la biotecnología relacionada con el sector agroindustrial alimentario, dado que cuentan con potencial claro de expansión y mayores posibilidades de aprovechar los desarrollos biotecnológicos (biomasa excedentaria, menores costos en los segmentos básicos de la cadena de valor en comparación con la farmacéutica, entre otros).

Por lo tanto, cabe preguntarse ¿qué tipo de capacidades tecnológicas desarrollan las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario? y ¿qué factores y relaciones determinan el nivel de capacidad tecnológica que desarrollan las empresas biotecnológicas mexicanas del sector agroindustrial alimentario? En efecto, la hipótesis planteada considera que las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario desarrollan capacidades tecnológicas diferenciadas que están en función del vínculo e interacciones que desarrollan con otras instituciones, de la edad de la empresa, del aprendizaje tecnológico, de la gestión de la tecnología, del capital humano especializado y de la combinación de actividades de carácter científico, tecnológico, financiero, productivo, organizativo y comercial que realizan. No obstante, se supone que las empresas han desarrollado capacidades avanzadas en términos de I+D e interacción y vinculación; mientras que relacionadas con las actividades de inversión, producción y comercialización han desarrollado capacidades básicas con rasgos de intermedias y avanzadas.

Así mismo, pese a que existen diversas investigaciones a nivel país, sectores y estudios de caso de las CT, aún el estudio de estas en la biotecnología es de alcance limitado por la complejidad metodológica que esta tecnología implica. Para el caso de México, existen pocos estudios que indaguen al respecto en la biotecnología y consideren algún tipo de capacidades tecnológicas, tales como: Gonsen, 1998; Morales & Chiapa, en prensa; Oliver & Stezano, 2019; Morales & Díaz, 2019; Amaro & Natera, 2020. Por ello, a través de esta investigación se pretende aportar

evidencia empírica, a la discusión del marco analítico de capacidades tecnológicas y al abordaje teórico-metodológico de una matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria, en la caracterización y análisis de empresas mexicanas biotecnológicas del sector agroindustrial alimentario (llenar vacíos en el tema) y si bien no se podrán realizar generalizaciones, esta investigación ayudará a tener un panorama más amplio de la dinámica de las empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario y a comprender algunas particularidades de esta tecnología.

Para dar respuesta al objetivo planteado, esta investigación es de corte analítico-cualitativo, con base al método del estudio de casos múltiples bajo una lógica comparativa en el diseño de la investigación; para ello, se usó información secundaria y primaria recolectada a través de la técnica de la entrevista semiestructurada enfocada y se recurrió al uso de una matriz de capacidades tecnológicas adaptada para la biotecnología. Cómo la biotecnología es una tecnología emergente en México, la investigación es pertinente a nivel microeconómico, en este caso particular nos permitirá comprender un fenómeno bien delimitado que no ha sido ampliamente abordado (estado exploratorio) como lo son las capacidades tecnológicas en empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas al sector agroindustrial alimentario.

Así mismo, para estudiar a las empresas biotecnológicas fue necesario replantear la lógica de la matriz y adaptar algunos segmentos teniendo en cuenta las características, requerimientos y particularidades de esta tecnología porque las taxonomías de capacidades tecnológicas propuestas anteriormente han sido útiles para analizar empresas manufactureras. En este sentido, este trabajo propone una matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria.

En el primer capítulo se presenta una revisión general de la literatura sobre capacidades tecnológicas, el cual permite identificar los avances y vacíos en el tema; se introducen y discuten los conceptos de capacidades tecnológicas, aprendizaje tecnológico y las propuestas de Lall (1992), Bell & Pavitt (1993) y otras más recientes sobre la taxonomía de capacidades tecnológicas; y finalmente se presenta una propuesta teórica de adaptación de la matriz para la biotecnología.

En el segundo capítulo se aborda la estructura y contexto de la biotecnología. Dado que la biotecnología pertenece al área de las ciencias naturales y utiliza un lenguaje específico es necesario conocer su historia, algunos conceptos básicos, definir y ejemplificar la biotecnología agroindustrial alimentaria para fines de esta investigación; así mismo, para estudiar las

capacidades tecnológicas en esta tecnología y dar alguna propuesta es pertinente conocer y entender el panorama general de la biotecnología y cómo esta se desarrolla en México.

La construcción metodológica de este trabajo se plantea ampliamente en el tercer capítulo. Allí se explica las características de la investigación, el método y herramientas empleadas para responder a las preguntas que guían la investigación; también en este capítulo se ha elaborado una definición del sector agroindustrial alimentario y las técnicas biotecnológicas principales asociadas a este, y la explicación de la adaptación de una matriz de capacidades tecnológicas para empresas biotecnológicas en el sector agroindustrial alimentario.

En el capítulo cuatro se aborda al conjunto de empresas seleccionadas como estudios de caso para dar cuenta del tipo de capacidades tecnológicas que se encontraron y de los factores y relaciones que determinan el nivel de estas capacidades utilizando la matriz propuesta para la biotecnología agroindustrial alimentaria. Finalmente, se presentan las conclusiones emanadas del trabajo, las futuras líneas de investigación y se propone un modelo que impulse la innovación biotecnológica en México.

1. Capacidades y aprendizaje tecnológico

1.1 Marco de referencia

La biotecnología ha sido estudiada desde diversas perspectivas como propiedad intelectual, redes de innovación, transferencia científica y tecnológica, cadenas globales de valor, capacidades tecnológicas y científica, entre otras. A nivel internacional, autores como Pisano (1996), Saviotti (2009) y Niosi (2003) abordaron la biotecnología a partir de las trayectorias tecnológicas y los Sistemas Nacionales de Innovación. Por su parte, en América Latina destacan los estudios de Casas (1991), Solleiro & Briseño (2003), Sztulwark (2006), Gutman & Lavarello (2014), Amaro & Villavicencio (2015), Stezano (2017), Amaro (2018), Morales & Díaz (2018) sobre biotecnología y propiedad intelectual, capacidades científicas y tecnológicas, impactos sociales y ambientales, incentivos y barreras a la innovación biotecnológica y la evolución del sector biotecnológico en la agroindustria.

Dado que la línea de interés en esta investigación son las CT, en este apartado, se hace una revisión del estado del arte de los estudios relacionados con las capacidades tecnológicas, tanto a nivel teórico como a nivel empírico. A partir de la década de los 80 se realizaron importantes investigaciones a nivel teórico, que implicó la elaboración de distintas taxonomías que constituyen un instrumento analítico para tipificar las CT que han alcanzado las empresas en cada función técnica en un momento dado. Resaltan las taxonomías propuestas por Lall (1992), Bell & Pavitt (1993) y Kim (1997).

En el ámbito empírico se han realizado estudios de las CT a nivel país, sector y empresas (ver tabla 01). A nivel país son escasos los estudios realizados por la limitación de los datos. Han sido investigaciones básicamente de corte cuantitativo, cuya finalidad fue medir las capacidades tecnológicas y crear índices tecnológicos. Algunos de los estudios han generado indicadores de capacidades tecnológicas utilizando las taxonomías expuestas, mientras que otros han empleado el uso de patentes de invención (de acuerdo con la clasificación propuesta por la OECD), como un indicador de innovación y una aproximación parcial al desarrollo de capacidades tecnológicas.

Por el lado de los estudios sectoriales, hay esfuerzos empíricos importantes, pero aún limitados a muestras pequeñas. Se han analizado las CT en los sectores de manufactura, farmacéutico, biotecnológico (los estudios aun aumentado particularmente en los países desarrollados), aeronáutico y varias industrias. Son estudios de corte cualitativo-cuantitativo, en su mayoría utilizaron información documental y entrevistas, cuyo objetivo fue medir las capacidades

tecnológicas (aplicando distintos métodos) en algunos casos, mientras que en otros fue caracterizar y analizar dichas capacidades.

Mientras que, por el lado, de investigaciones de CT a nivel firma hay distintas formas de abordar estas. En los países desarrollados, se parte de la idea que las firmas tienen una base de conocimiento que las caracteriza como innovadoras, por lo que el foco de la literatura se centra en cómo las capacidades tecnológicas se profundizan, se mantienen y se renuevan para permitirles permanecer en la frontera tecnológica; mientras que para los países en desarrollo la literatura se centra en procesos de aprendizaje que subyacen la construcción y acumulación de capacidades tecnológicas (Torres, 2006).

Los estudios realizados por Westphal, Kim & Dahlman (1985) y Katz (1986), a través de los proyectos “La adquisición de capacidades tecnológicas” y el “Programa de Investigación en Ciencia y Tecnología” financiados por el BM y el BID/CEPAL/PNUD respectivamente, abrieron una importante línea de investigación basadas en el estudio de caso y método comparado para identificar y analizar la construcción de las capacidades tecnológicas desarrolladas por empresas con características particulares. Ambos estudios, mostraron que muchas empresas han experimentado importantes procesos de aprendizaje tecnológico que les permitieron la acumulación de capacidades tecnológicas. Las empresas no solo fueron capaces de asimilar y adaptar la tecnología transferida desde los países centrales, sino de mejorarla e incluso de exportar tecnología en algunos casos. Esta literatura se ha enfocado en procesos internos de la empresa, pero también reconoce y estudia el papel del contexto en la construcción de CT (Torres, 2006; Vera-Cruz, 2004).

En cuanto a México, Dutrénit & Vera-Cruz (2005) y Dutrénit *et al.*, (2006) con base a la taxonomía de Bell & Pavitt (1995), han analizado la acumulación de capacidades tecnológicas en tres empresas mexicanas de la industria maquiladora; Domínguez & Brown (2004) han realizado una aportación metodológica analítica a la línea de investigación abocadas a construir índices representativos de capacidades tecnológicas de las empresas manufactureras mexicanas; Ortega, Borjas & Jasso, (2007) y Vera-Cruz (2004), han realizado estudios de casos en una empresa siderúrgica y una cervecera mexicana respectivamente; Morales & Villavicencio (2015) han estudiado la convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México; Hernández (2017) estudió las capacidades tecnológicas y organizacionales de las empresas mexicanas participantes en la cadena de valor de la industria aeronáutica.

Tabla 01: Estado del Arte de investigaciones sobre Capacidades Tecnológicas

¿Qué se estudió?		¿Quién lo estudio?	¿Cómo lo estudió?	
CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	A nivel País	Países industrializados	Lall & Albaladejo (2001)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudios Cuantitativo. ✓ Revisión documental y estadística. ✓ A través de patentes y taxonomías. ✓ Usando modelos econométricos ✓ Medición de CT.
		Países de América Latina	Lugones <i>et all.</i> (2007), CEPAL	
		Países en desarrollo y desarrollados	Archibugi & Coco (2004)	
	A nivel sectorial	Manufacturero	Domínguez & Brown (2004), Mendoza & Álvarez (2014), Wignaraja (1998), Tremblay (1998)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudios Cuantitativos, cualitativos, cuantitativos-cualitativos. ✓ Revisión documental y estadística, revisión documental y entrevistas. ✓ Usando modelos econométricos, análisis factorial, análisis psicométrico, análisis de conglomerados, modelo lineal jerárquico, escala de liker. ✓ Medición de CT, identificación y caracterización de las CT.
		Farmacéutico	Morrison <i>et all.</i> (2007)	
		Biotechnológico	Morales y Díaz (2018), Huang, Hao- Chen (2011), Bhattacharya <i>et all.</i> (2009), Renko <i>et all</i> (2009), García y Navas (2007), Arora y Gambardella (1994)	
		Aeronáutico	Hernández (2017)	
		Varias industrias	Yan Aw y Batra (1998), Chang (1991)	
	A nivel firma	Ortega, Borjas & Jasso (2007), Vera-Cruz (2004), Romijn (2002), Caniels & Romijn (2003), Dutrénit <i>et all.</i> (2003), Dutrénit (2005), Bellinghini & Figueiredo (2006), Miranda & Figueiredo (2010).		<ul style="list-style-type: none"> ✓ Estudios Cualitativos, estudios de casos. ✓ Revisión documental y entrevistas ✓ Usando modelos econométricos, CGV y métodos de la diferencia, índices de innovación. ✓ Identificar y caracterizar CT.

Fuente: elaboración propia en base a la literatura revisada.

En términos generales, después del avance del estado del arte realizado se observan los siguientes resultados: creación de índices tecnológicos que permiten medir las CT a nivel país y sectores, aportes en la discusión del marco analítico y empírico, caracterización y análisis de las CT en sectores o empresas y acercamientos de cómo las CT influyen en la productividad,

competitividad, desarrollo económico, cadenas globales de valor y en la convergencia tecnológica.

Para el caso de la biotecnología, existen pocos estudios en México que indaguen al respecto de esta: Gonsen (1998), discute el concepto de capacidades tecnológicas en países en desarrollo y proporciona un marco de análisis para la industria moderna de bioprocesos en México ; Morales & Chiapa (en prensa), realizan un análisis de capacidades tecnológicas en el sector de la biotecnología en México; Morales & Díaz (2018), han analizado los determinantes de las capacidades de innovación en el sector biotecnológico mexicano (el análisis incluye 40 empresas); Amaro (2019) analiza las capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas en México y la estrategia de nicho de mercado como mecanismo de competitividad; y finalmente, Amaro & Natera (2020), analizan la relación entre la acumulación de capacidades tecnológicas de las empresas mexicanas de biotecnología y sus diferentes tipos de estrategias de internacionalización.

En cuanto a los límites de las investigaciones tenemos: falta de datos estadísticos, problemas al realizar el levantamiento de encuestas y dificultades para clasificar a las empresas biotecnológicas; y finalmente los vacíos existentes en el tema son: escasas comparaciones de CT entre firmas (estudios de casos aislados), limitados estudios en el sector servicios y agropecuario, han dejado de lado la relación entre CT, recursos humanos y aprendizaje organizacional, pocos análisis entre CT y desempeño económico, así como estudios a nivel de clúster.

1.2. El concepto de capacidades tecnológicas

El concepto de capacidades tecnológicas tiene su origen en la década de los 80, Westphal, Kim & Dahlman (1985), lo definieron como “la capacidad para hacer un uso efectivo del conocimiento tecnológico”, es decir, aplicar dicho conocimiento en la inversión, producción e innovación para generar soluciones y modificar el entorno. Entendiendo al conocimiento tecnológico en esta investigación, como un proceso dinámico, heterogéneo, de carácter tácito, con niveles variables de apropiabilidad y producto de una actividad colectiva (Antonelli, 2006); materializado en productos y procesos.

Por su parte, Lall (1992) sostiene que las CT son el resultado de la interacción entre la estructura de incentivos, recursos humanos, esfuerzos tecnológicos y factores institucionales promovidos por el sector gubernamental para corregir las fallas de mercado (Manzano, en prensa). A nivel nacional, dicha capacidad se revela en el dinamismo industrial, la diversificación y la

competitividad; no obstante, es importante destacar de acuerdo con el autor, que la CT nacional no es la suma de capacidades tecnológicas de empresas individuales.

Más adelante, Bell & Pavitt (1993), distinguen las CT de las capacidades de producción. Consideran que las capacidades de producción incorporan los recursos utilizados para producir bienes industriales a niveles de eficiencia dados y distintas combinaciones de equipos, habilidades laborales, insumos, métodos y sistemas organizacionales; mientras que las CT incorporan recursos adicionales y distintos en la producción para generar y administrar el cambio técnico, incluyen recursos especializados, habilidades, conocimientos, experiencias, estructuras, enlaces e inversión. Estos recursos se acumulan en las personas y en los sistemas organizacionales.

En un principio el concepto de CT también se empleó para referirse a esfuerzo tecnológico; como el uso inteligente de la información tecnológica y la acumulación del conocimiento tecnológico, que sumado a otros recursos permiten elegir, asimilar, adaptar y/o crear nuevas tecnologías (Bell, 1984); luego se analizó desde dos dimensiones: como un acervo de conocimiento y el uso de ese conocimiento, destacando la relevancia del esfuerzo tecnológico para lograr y reforzar las CT; recientemente el concepto ha evolucionado y considera el ambiente político y económico (Dutrénit *et al.*, 2006).

En este sentido, destaca el concepto de CT dado por Kim (1997), como “la habilidad para hacer el uso efectivo del conocimiento tecnológico, asimilar, utilizar, adaptar y cambiar las tecnologías existentes. Esto también permite crear nuevas tecnologías y desarrollar nuevos productos y procesos como respuesta al entorno económico cambiante”. Kim equipara este concepto con el de capacidades de absorción introducido por Cohen & Levinthal (1990), que se refiere a la capacidad de utilizar conocimiento existente a la vez generar nuevo conocimiento (Vera-Cruz, 2004).

Siguiendo esta misma línea, Gonsen (1998), considera que esta definición de CT implica: buscar tecnologías alternativas disponibles y seleccionar la tecnología más apropiada (capacidad de adquisición); asimilar la tecnología; adaptar la tecnología a condiciones específicas de producción (capacidad de adaptación); mayor desarrollo de la tecnología a través de innovaciones menores; e innovación importante, que incluye I+D institucionalizada, en industrias basadas en la ciencia, incluso investigación básica. Para que se desarrollen estas capacidades, es necesario tres componentes: el índice de personas que poseen las habilidades y el conocimiento técnico; su organización, es decir, las instituciones que reúnen los diferentes talentos y conocimientos (la

unidad de producción); y su propósito u objetivo hacia el cual se dirigen los esfuerzos combinados de aquellos con habilidades técnicas (Enos, 1991)

El proceso de generación o desarrollo de CT implica diversas fases y características, que dependen cada una de las empresas. En general se consideran que existen un proceso de absorción o creación de conocimiento tecnológico que puede provenir de fuentes internas o externas, esto a su vez genera una serie de habilidades que, aplicadas tanto a procesos previamente desarrollados, nuevos productos o procesos resultan en innovaciones de diversos tipos. Es importante mencionar, que el desarrollo de capacidades tecnológicas es el resultado de la interacción compleja de la estructura de incentivos con los recursos humanos disponibles, esfuerzos tecnológicos realizados y la incidencia de factores institucionales diversos, es decir, hay factores que son específicos de la empresa y otros que son propios del país (Amaro, 2019).

Para propósitos de este estudio y basados en las propuestas de Kim, Dahlman, Gonsen, Bell y Pavitt se define las CT como la capacidad para buscar, seleccionar, adquirir, asimilar, adaptar tecnologías existentes y/o crear nuevas tecnologías; que implica actividades de investigación y desarrollo (I+D), inversión, producción, comercialización, vinculación y gestión de la tecnología, así como estructuras organizacionales y capital humano especializado (habilidades, conocimiento y experiencia) para en conjunto generar cambios técnicos. Todos estos procesos requieren aprendizaje tecnológico continuo para utilizar el conocimiento tecnológico de manera efectiva.

1.3 Clasificación de las capacidades tecnológicas

La discusión teórica sobre la diferenciación y clasificación de las CT han permitido una identificación clara del tipo de habilidades, conocimientos, esfuerzo y otras implicaciones necesarias para desarrollar cada tipo de CT; aunque puede ser difícil de aplicarlas en la práctica. Han sido abordadas por autores como: Lall, Fransman, Dahlman, Westphal, Gonsen, Kim, Bell y Pavitt, entre otros; con distintos matices, pero en términos generales coinciden en que las CT involucran capacidades de adquisición, inversión, ejecución de proyectos, asimilación, adaptación o modificación e innovación. Para fines de este estudio, en este apartado se abordará teóricamente la clasificación de CT discutidos a nivel firma, así como las taxonomías clásicas de CT y algunas propuestas recientes de adaptación.

La capacidad de inversión (Lall, 1987) o capacidad adquisitiva (Dahlman, 1990) hace referencia a la capacidad de buscar, evaluar, seleccionar, negociar, adquirir y transferir tecnología (local o extranjera). Implica esfuerzos importantes de búsqueda y recolección de información tecnológica relevante que permita examinar con lo que cuenta la empresa, lo que está disponible en el mundo,

detectar nuevos desarrollos, observar y comparar lo que están haciendo los competidores, proveedores de equipo e instituciones de investigación; así mismo, la selección requiere una forma de CT basada en la experiencia previa, la disponibilidad de información tecnológica y la capacidad de utilizar esa información de manera efectiva (Dahlman & Westphal, 1982)

Recientemente, hay una evolución en la definición de capacidad adquisitiva o de inversión, se ha propuesto ir de la vigilancia tecnológica a la inteligencia competitiva⁶, es decir, no basta con acceder a información tecnológica de calidad (punto inicial en el proceso de toma de decisiones) sino traducir esa información y datos (saberla analizar y utilizarla) en inteligencia activa que permitan escoger la mejor opción para resolver un problema. De tal modo, la inteligencia competitiva “es un programa sistemático para identificar, coleccionar y analizar información sobre el entorno y las actividades propias de una organización, así como para utilizar oportunamente tal información para la toma de decisiones” (Solleiro & Castañón, 2016).

La capacidad de inversión también hace referencia al desarrollo de capacidades de mecánica, ingeniería básica, ingeniería a detalle, diseño de equipos, establecimiento de una planta o expansión de una existente y/o implementación de un proyecto, pruebas, capacitación de operarios organización y servicios auxiliares (Lall, 1987). Es importante mencionar que las distintas actividades de diseño básico de ingeniería y actividades posteriores pueden llevarse a cabo por unidades externas a la empresa productiva, no obstante, esta puede participar en diferentes niveles (Gonsen, 1998).

Por su parte, la capacidad de asimilación o absorción de la tecnología según Dahlman & Westphal (1982), es un proceso difícil, largo e incierto que requiere esfuerzo tecnológico continuo para comprender la tecnología, dominar su aplicación y usarla de manera exitosa; de esta forma tomar medidas que optimicen el uso de los recursos, que a su vez condicionan las características competitivas del producto final. Así mismo, de acuerdo con el modelo de gestión de tecnología del Premio Nacional de Tecnología e Innovación, la asimilación es “un conjunto de actividades que se realizan para profundizar en el conocimiento de equipos, procesos, servicios, productos y, de las tecnologías propias o adquiridas por parte de una empresa, de tal manera que dicha

⁶ Los objetivos de la vigilancia e inteligencia competitiva conllevan: **inteligencia de negocios** (análisis de ventas, finanzas, marketing, manufactura, y distribución); **inteligencia de mercado** (datos sobre regulaciones, políticas públicas, licitaciones, problemas u oportunidades relacionadas con el mercado, oferta, demanda, precios, medios para conocer al consumidor); **inteligencia tecnológica** (estrategias de investigación y desarrollo, fuentes de financiamiento, alternativas para adquisición de tecnología, normas técnicas y especificaciones, resultados y avances de investigaciones, alianzas, etc.) (CamBioTec A. C citado en Solleiro & Castañón, 2016).

organización pueda alcanzar un nivel de dominio que le permita mejorar o incluso, desarrollar nuevas tecnologías”⁷ .

En este sentido, la capacidad de modificación o adaptación permite realizar ajustes a diferentes escalas en la producción, ajustes en la calidad o naturaleza del producto, ajustes en procesos auxiliares como en el menor costo de la mano de obra, uso de recursos y materiales locales, ajustes en las necesidades, requisitos o normas locales; es decir, la capacidad de adaptación permite realizar modificaciones menores a la tecnología, productos o procesos existentes para hacerlos más apropiados a las condiciones locales. Según Gonsen (1998), aunque es más fácil modificar las tecnologías existentes que crear otras nuevas, los esfuerzos tecnológicos necesarios para modificar la tecnología, se acentúan por la falta de infraestructura tecnológica adecuada y numerosas imperfecciones en la información y los mercados.

El conjunto de capacidades descritas párrafos arriba forman parte del proceso de innovación que permiten mejorar y/o crear nuevas tecnologías. Schumpeter, rompe con la tradición clásica al considerar el cambio tecnológico y la eficiencia del empresario, como agente innovador, desempeñan un papel central en el desarrollo económico. Concibe a la innovación como la perturbación de las estructuras existentes e incesante novedad y cambio, es decir, estas perturbaciones del equilibrio, endógenas al sistema, espontaneas y discontinuas son lo que dinamiza el sistema económico capitalista, pues son el motor de crecimiento (Corona, 2002; Albornoz, 2009; Yoguel, Barletta & Pereira, 2013).

En esta investigación se entiende la innovación en sentido económico como una invención llevada al mercado ya sea de un nuevo producto y/o proceso (aunque cabe resaltar que no siempre se parte de una invención), forma organizacional y/o de marketing que implican actividades científicas, tecnológicas, organizacionales, financieras y comerciales que transforman completamente⁸ o modifican parcialmente⁹ las fases productivas y comerciales de la empresa y/o de otras entidades. La innovación puede ser o no producto de la I+D (según sea el caso), implica la capacidad de asumir cambios y desarrollar capacidades creativas frente a shock

⁷ Es decir, incorporar nuevos conocimientos a los existentes y hacerlos propios al alcanzar su dominio.

⁸ **Innovación radical:** implica la capacidad de realizar modificaciones radicales en los productos o procesos, rompen las estructuras vigentes de organización, tienen la potencialidad de transformar profundamente el modo de producción o crean nuevos mercados (Dahlman, 1990 citado en Gonsen, 1998).

⁹ **Innovación incremental:** Consiste en mejorar marginalmente las tecnologías, procesos y estructuras vigentes, es decir, son pequeños cambios en las tecnologías dadas (en equipos, materiales, procesos y diseños) que representan una fuente vital y continua de ganancia de productividad en prácticamente todas las industrias (Lall, 1987).

económicos inesperados; tiene el propósito de mejorar la posición competitiva de las empresas, pero no la garantiza ni requiere en su totalidad.

Además, autores como Freeman (1974) y Gonsen (1998) consideran que la capacidad de innovar requiere una serie de funciones adicionales que permitan realizar una innovación exitosa, tales como: fuertes inversiones en I+D, asumir altos riesgos, capacitación del capital humano, vigilancia tecnológica, sistematización de la información, predicción tecnológica, planificación tecnológica, desarrollo tecnológico, gestión del conocimiento tecnológico, identificación y cuidado de un mercado potencial y esfuerzos sustanciales para involucrar, y educar a los usuarios, vínculos institucionales y diseño e implementación de estructuras de incentivos para la innovación.

Por otro lado, la taxonomía de CT constituye un instrumento analítico para tipificar y explicar las CT que han alcanzado las empresas en cada función técnica en un momento dado. Lall (1992), basándose en Katz (1984, 1987), Dahlman, Ross-Larson & Westphal (1987) y Lall (1987), realiza una matriz ilustrativa para clasificar las CT a nivel firma (ver tabla 02). En las columnas establece las principales funciones técnicas de inversión, producción y vinculación que son desarrolladas por la empresa con el fin de asimilar, adaptar y mejorar la tecnología adquirida; y en las filas refleja el grado de complejidad o dificultad, medido por el tipo de actividad de la cual surge la capacidad.

Tabla 02: Matriz ilustrativa de capacidades tecnológicas a nivel firma propuesta por Lall (1992).

			FUNCIONES					CAPACIDADES TECNOLÓGICAS	
			INVERSIÓN		PRODUCCIÓN				VINCULACIÓN
			PREINVERSIÓN	EJECUCIÓN DEL PROYECTO	INGENIERÍA DE PROCESOS	INGENIERÍA DE PRODUCTO	INGENIERÍA INDUSTRIAL		VINCULOS DENTRO DE LA ECONOMÍA
GRADO DE COMPLEJIDAD	BASICO	RUTINA SIMPLE (Basada en la experiencia)	Estudios de pre factibilidad y viabilidad, selección del lugar, planificación de inversiones	Construcción civil, servicios auxiliares, montaje de equipos, puesta en servicios.	Depuración, equilibrio, control de calidad preventivo, mantenimiento, asimilación del proceso tecnológico.	Asimilación del diseño del producto, adaptación menor a las necesidades del mercado	Flujo de trabajo, programación, estudios de funcionamiento en el tiempo. Control de inventario	Adquisición local de bienes y servicios, intercambio de información con proveedores.	
	INTERMEDIO	ADAPTATIVO-DUPLICATIVO (Basado en búsquedas)	Búsqueda de fuentes de tecnologías. Negociación de contratos. Negociación de términos adecuados. Sistemas de información.	Obtención de equipo, ingeniería a detalle, reclutamiento y entrenamiento de personal calificado.	Stretching del equipo, proceso de adaptación y ahorro de costos, licenciamiento de nueva tecnología	Mejora de la calidad del producto, licenciamiento y asimilación de la nueva tecnología del producto importado	Monitoreo de la productividad, mejora de la coordinación	Transferencia de tecnología a proveedores locales, diseño coordinado, vínculos C&T	
	AVANZADO	RIESGO INNOVADOR (basado en la investigación)		Diseño de procesos básicos, diseño y suministro de equipos	Innovación interna de procesos, investigación básica	Innovación interna de productos, investigación básica		Capacidad de llave en mano, I+D cooperativo, concesión de licencias de tecnología propia a terceros.	

Fuente: Lall (1992).

El autor, considera que la función técnica de inversión hace referencia a las habilidades necesarias para identificar, preparar, obtener tecnología, diseñar, construir, equipar y dotar de personal a la firma; la función técnica de producción va desde habilidades de control, operación, mantenimiento, producción, investigación e innovación; y la función técnica de vinculación son las habilidades necesarias para transmitir y recibir información, habilidades y tecnología. No obstante, resalta que la categorización es necesariamente indicativa, las funciones pueden no ser exhaustivas ya que no todo tiene que ser realizado por la misma empresa, hay actividades que pueden ser externalizadas; pero, hay un núcleo básico de funciones en cada categoría que tiene que ser internalizado por la empresa para garantizar una innovación exitosa y debe crecer en el tiempo.

Con base a los trabajos anteriores, Bell & Pavitt (1995) sintetizan esa información y proponen una versión mejorada de la taxonomía existente sobre capacidades tecnológicas (ver tabla 03). En las columnas de la matriz, los autores distinguen entre capacidades de producción rutinaria y capacidades tecnológicas innovadoras, clasifican las últimas en capacidades básicas (inversión y producción) y de apoyo (vinculación y bienes de capital). Las funciones de inversión están relacionadas con la generación de cambio técnico y a su implementación durante la toma de decisiones, control, preparación e implementación de proyectos; las funciones de producción están dirigidas a la generación y administración del cambio técnico en los procesos, la organización de la producción y los productos; las actividades de vinculación cuyo eje es el desarrollo de vínculos e interacciones de las firmas con instituciones y empresas; y finalmente, las actividades de producción de bienes de capital¹⁰.

En esta taxonomía, las filas de la matriz representan las principales capacidades tecnológicas de acuerdo con el grado de innovación, “las etapas o niveles de capacidades tecnológicas se definen por el grado de dificultad de las actividades emprendidas. Existen cuatro etapas, desde el nivel más básico de capacidades de producción rutinarias hasta tres niveles de profundidad de capacidades tecnológicas innovadoras: los niveles básicos, intermedio y avanzado. Un nivel básico de capacidades permite hacer sólo contribuciones menores e incrementales al cambio, mientras que, en los niveles intermedio y avanzado, las capacidades tecnológicas permiten hacer contribuciones al cambio más sustanciales, novedosas y ambiciosas” (Bell & Pavitt, 1995: 83 citado en Vera-Cruz, 2004).

¹⁰ Bell & Pavitt (1995) citado en Dutrénit, Vera-Cruz & Arias (2003).

Tabla 03: Matriz de capacidades tecnológicas propuesta por Bell & Pavitt (1995)

Nivel de capacidades	Funciones técnicas primarias				Funciones técnicas de apoyo	
	Inversión		Producción			
	Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución del proyecto	Centradas en procesos y en la organización	Centradas en el producto	Vinculación externa	Producción de bienes de capital
Capacidades de producción rutinarias: capacidad para usar y operar la tecnología existente						
Capacidades operativas básicas	Estimación de desembolsos	Planeación y preparación de protocolo, acondicionamiento del terreno, construcción de la obra civil básica	Operación rutinaria y mantenimiento básico de instalaciones, mejora de la eficiencia a partir de la experiencia en tareas existentes	Copia de especificaciones y diseños fijos, control de calidad rutinario para mantener los estándares y las especificaciones	Búsqueda de insumos disponibles de proveedores, venta de productos existentes a clientes nuevos y existentes	Copia simple de especificaciones de planta y maquinaria
Capacidades tecnológicas innovadoras: capacidades para generar el cambio técnico						
Capacidades innovadoras básicas	Supervisión activa y control de: estudios de factibilidad, selección de tecnologías/proveedores, programación de las actividades	Estudios de factibilidad, búsqueda de equidad estándar, e ingeniería básica	Designación de grupos de trabajo para hacer pruebas y eliminación de fallas, mejora del layout, programación y mantenimiento, adaptaciones menores	Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales en la calidad del producto	Búsqueda y absorción de información nueva de proveedores, clientes e instituciones locales	Copia de nuevos tipos de planta y maquinaria, adaptación simple de diseños y especificaciones

Capacidades innovadoras intermedias	Búsqueda, evaluación y selección de tecnología/proveedores, negociación con proveedores, administración del proyecto completo	Ingeniería de detalle, adquisición de los equipos, estudios de medio ambiente, administración y seguimiento del proyecto, designación del grupo de trabajo, capacitación y reclutamiento, puesta en marcha	Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching), licenciamiento de nueva tecnología e introducción de cambios organizacionales	Licenciamiento de nueva tecnología de productos y/o ingeniería inversa, diseño incremental de nuevos productos	Transferencia de tecnología a proveedores y clientes para incrementar eficiencia, calidad y abastecimiento local	Mejoras menores a partir de ingeniería inversa, diseño original de planta y maquinaria
Capacidades innovadoras avanzadas	Desarrollo de nuevos sistemas de producción y componentes	Diseño de procesos y desarrollo de la ID relacionada	Innovaciones de procesos e ID relacionada, innovaciones radicales en la organización	innovación de producto y desarrollo de la ID relacionada	Colaboración en desarrollo tecnológicos con proveedores, clientes socios	ID orientada a establecer especificaciones y diseño de nuevas plantas y maquinaria

Fuente: Dutrénit, Vera-Cruz & Arias (2003), basado en Bell & Pavitt (1995).

En la literatura de CT, Kim (1997) añade a la a las clasificaciones anteriores (basados solo en actividades de inversión, producción y vinculación), las capacidades de innovación, las cuales se integran por el conjunto de habilidades necesarias para desarrollar nuevas tecnologías y ejecutarlas en la práctica. Como parte de este subconjunto se incluyen las capacidades de invención, de innovación y de mejorar la tecnología existente más allá de los parámetros establecidos (Morales & Díaz, 2018).

Distintos trabajos en esta misma línea han contribuido a enriquecer el análisis y discusión del marco analítico de CT y han brindado evidencia empírica de los procesos de aprendizaje y acumulación de CT en diferentes industrias. En América Latina destacan las propuestas de adaptación a la matriz de CT de Dutrénit & Vera-Cruz (2005), basados en Bell & Pavitt (1995) presentan una versión adaptada a las particularidades de la industria maquiladora de exportación en México, la nueva matriz agrega funciones técnicas

relevantes para esta industria y redefine actividades correspondientes a varios grados de acumulación; por su parte, Guadarrama (2006), presenta una adaptación de la matriz para la industria farmacéutica; Bellinghini & Figueiredo (2006) realizan una adaptación de la matriz para la industria de telecomunicaciones fijas, en ella muestra que la acumulación de CT puede variar desde niveles básicos hasta niveles de alto complejidad.

1.4. Aprendizaje Tecnológico

Distintos autores señalan que el aprendizaje tecnológico (AT) ha permitido a las firmas crear y acumular conocimiento tecnológico que a través del tiempo se convierten en un mecanismo para aumentar las CT, incrementar la productividad e innovar para mantener y/o crear ventajas competitivas (Bell, 1984; Barton, 1995 citado en Yan & Batra, 1998; Dutrénit, Vera-Cruz & Arias 2003). En este sentido, si la productividad es el resultado del aprendizaje y los incrementos en la productividad son endógenos, las políticas deberían aumentar el aprendizaje en el interior de la economía, al crear una sociedad del aprendizaje¹¹; esto es, “incrementar la capacidad y los incentivos para aprender, y aprender a aprender, y luego cerrar las brechas de conocimiento que separan a las empresas más productivas de la economía del resto” (Stiglitz, 2016).

Uno de los primeros en abordar el aprendizaje fue Arrow en 1962, quien publicó dos ensayos importantes con el fin de explicar el progreso tecnológico, el primero se centró en la investigación y el desarrollo y el segundo en aprender haciendo donde observa que en el proceso de invertir y producir se aprende, dado que a medida que producimos e invertimos, mejoramos en lo que hacemos. Considera que aprender a aprender es un subproducto del aprendizaje de la misma forma que el aprender haciendo es un subproducto de la producción, es decir, ambas capacidades se pueden mejorar (Stiglitz, 1987 citado en Gonsen 1998).

Más adelante, la literatura en los países en desarrollo se centró en abordar los procesos internos de aprendizaje de las empresas como factor determinante para la construcción y acumulación gradual de capacidades tecnológicas a partir de las tecnologías que adquieren en otros países; pero, sin dejar de analizar el papel del contexto en este proceso. En América Latina, algunos

¹¹ “Crear una sociedad dinámica del aprendizaje conlleva muchas dimensiones: los individuos deben tener una mentalidad y habilidades para aprender, debe haber alguna motivación hacia el aprendizaje. Por lo general, el conocimiento es creado por los individuos al trabajar dentro de las organizaciones y se transmite a otros dentro de la organización. Luego se transfiere de una organización a otra y de un individuo a otro. Sin embargo, el alcance, la facilidad y la rapidez de la transmisión del conocimiento son, en sí mismos, rasgos fundamentales de una sociedad del aprendizaje, ya que el nuevo conocimiento estimula un nuevo pensamiento; es el catalizador, así como la base a partir de la cual surgen nuevas ideas y una nueva creatividad” (Stiglitz, 2016).

estudios han demostrado presencia significativa de aprendizaje que permitieron la acumulación de CT, pero otros documentaron que hay circunstancias bajo las cuales la transferencia de tecnología no genera aprendizaje. Mientras que las investigaciones realizadas en países desarrollados se centraron en estudiar cómo se profundizan, mantienen y renuevan los procesos de aprendizaje y las CT, dado que parten de la idea que tienen una base de conocimiento que las caracteriza como innovadoras (Vera-Cruz, 2004; Torres, 2006).

El AT es el proceso mediante el cual los recursos para generar y administrar el cambio técnico (capacidades tecnológicas) se incrementan o refuerzan, es decir, son los procesos mediante los cuales los individuos adquieren habilidades, conocimientos y experiencias adicionales, y a través de ellos sus organizaciones para solucionar problemas; que comprende tanto procesos como resultados (Bell, 1984; Bell & Pavitt, 1993). También puede entenderse como un proceso colectivo de acumulación de conocimientos, experiencias, habilidades, estructuras institucionales y vínculos con empresas, entre empresas y fuera de ellas para generar y fortalecer el cambio técnico (Guadarrama, 2006).

Este empezó a tomar mayor énfasis cuando se identificó un aumento de la intensidad del conocimiento tecnológico en la producción (los recursos intangibles se convirtieron en un complemento esencial de la capacidad de producción), y que este conocimiento se genera de manera diferencial entre las empresas, no es fácil de imitar ni de transferir; dado que transferencia necesariamente requiere habilidades, esfuerzo, inversión y aprendizaje porque las tecnologías son tácitas y sus principios subyacentes no siempre se entienden claramente. Por lo tanto, el aprendizaje tecnológico no es automático tiene un carácter acumulativo, sistemático, idiosincrático y colectivo de desarrollo cognitivo (Bell, 1984; Lall, 1992; Villavicencio, 1990). En esta investigación, se considera que el aprendizaje tecnológico es clave para generar y transmitir conocimientos, habilidades, experiencias, vínculos que generen y refuercen las CT.

Según Guadarrama (2006), el proceso de aprendizaje tecnológico abarca desde la acumulación de conocimientos y habilidades, incluida la experiencia, hasta la creación de capacidades propias. En este sentido, se identifican diversas formas de aprendizaje tecnológico: aprender haciendo, aprender, aprender aprendiendo, aprender usando y aprender interactuando. Arrow (1974) introdujo la noción de learning by doing (aprender haciendo) para explicar el crecimiento de la productividad, las empresas aprenden a producir más eficientemente a medida que producen. “Si experimentamos conscientemente con el trabajo, buscando formas alternativas de hacer lo que hacemos, es probable que aprendamos más que si esperamos pasivamente” (Stiglitz, 2016).

Por su parte, Bell (1984) sostiene que el aprendizaje “basado en el hacer”, como aprender operando y aprendiendo, cambiando se basan en la acumulación de experiencia (actividades basadas en actividades) y se distingue de otros mecanismos de aprendizaje que implican esfuerzos explícitos e inversión. En este sentido, el refuerzo de CT vía el aprendizaje basado en el hacer se da “a través de la adquisición de una mayor comprensión de la forma particular de la tecnología, la adquisición de un mayor conocimiento de los principios involucrados y la adquisición de una mayor confianza en la manipulación de la tecnología”.

En cuanto a los mecanismos de aprender a aprender, Stiglitz (2016), menciona que, así como aprendemos haciendo, aprendemos aprendiendo y esto a la larga se convierte en un círculo virtuoso donde los países que han logrado promover la tecnología, brindando mayores oportunidades pueden mejorar simultáneamente su capacidad de aprender. Mientras que Rosenberg (1979) emplea el término learning by using para referirse a “la acumulación progresiva de habilidades, mediante la experiencia de utilizar sus productos y/o procesos, con los que se hace cada vez un uso más eficiente de ellos”¹².

Finalmente, otro de los mecanismos de aprender es mediante el learning by interacting, es decir, el aprendizaje se logra al interactuar con otros agentes en diversas áreas, tanto en la educación formal como en el contacto directo, dado que el conocimiento está encarnado en las personas y se transmite por medio del contacto entre ellas. “Esto resulta especialmente relevante para lo que se denomina conocimiento tácito: conocimientos que son difíciles de codificar, de articular como simples recetas, que fácilmente pueden transmitirse a través de libros de texto, o aprendizaje en el aula; los trabajadores van de una empresa a otra y, así, transmiten parte del aprendizaje que ha ocurrido en una empresa a quienes se encuentran en otras.” (Lundvall, 1988; Stiglitz, 2016).

1.5. Adaptación de la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología

La matriz de capacidades tecnológicas ha sido ampliamente utilizada para explorar las capacidades tecnológicas y analizar el nivel de acumulación de estas en sectores económicos tradicionales; especialmente en la manufactura, dado que fue propuesta bajo esta lógica. No obstante, para sectores emergentes intensivos en conocimiento¹³ en donde la innovación

¹² Citado en Guadarrama (2006).

¹³ De acuerdo con Morales & Díaz (2019), los sectores intensivos en conocimiento tienen las siguientes características:

- a) El desarrollo de procesos de innovación se encuentra fuertemente correlacionados con la generación, asimilación y difusión de conocimiento científico (Pavitt, 1984; Coriat et al., 2003).
- b) Dado que las empresas no pueden generar todo el conocimiento que necesitan, deben desarrollar capacidades de absorción que les permitan asimilar y procesar internamente todo el conocimiento

tecnológica en un proceso dinámico y la clave es el desarrollo del conocimiento científico; la mayoría de las características, funciones y segmentos básicos de la cadena de valor cambian en relación con los sectores tradicionales.

Tal como la biotecnología, que al ser una tecnología intensiva en conocimiento logra un alto valor agregado incorporando conocimiento científico tanto en sus procesos productivos como en sus productos finales (Bell, Crick & Young, 2004)¹⁴, por un lado, pretende crear ciencia; y por el otro, capturar valor comercial de dicha actividad. Más que un sector económico tradicional, la biotecnología se encuentra conformada por un conjunto de técnicas de carácter transversal con la posibilidad de influir en la actividad de diversos sectores tradicionales. En este sentido, los sectores que la aplican se diferencian de los sectores tradicionales por el tipo de tecnología que desarrollan, los diversos y cambiantes patrones institucionales, en que se han involucrado cada vez más en el desarrollo de actividades científicas generadoras de conocimiento, pero también al mismo tiempo las IES y los CI han impulsado cada vez más la creación de empresas comerciales (Morales & Díaz, 2019).

Además, la biotecnología, en distintas medidas se caracteriza por una profunda y persistente incertidumbre dado que el conocimiento científico es complejo, dinámico y heterogéneo; la tecnología surge principalmente de la investigación y el proceso de adquisición de la misma es más difícil y exigente; el aprendizaje acumulativo es la clave del desempeño económico; y la generación de valor comercial requiere de una estrecha colaboración entre empresas comerciales, universidades y centros de investigación; la vinculación es crucial (Bell & Pavitt, 1993; Morales & Díaz, 2019). Por ello, se observa dos tendencias en el tipo de empresas que la desarrollan: las de base científica tecnológica dedicadas a I+D, con bajas posibilidades de escalar y llevarlas al mercado; y las de manufactura, grandes empresas que externalizan las actividades de I+D y que gracias a fusiones y adquisiciones han adquirido y potencializado capacidades tecnológicas (Amaro, 2019).

Dado que la dinámica económica de la biotecnología es particular y está fuertemente determinada por el desarrollo científico (y por todo lo expuesto párrafos arriba) es importante repensar la matriz

que logren y obtener de otras fuentes externas (Cohen y Levinthal, 1990; Dosi, Faillo y Marengo, 2003).

- c) Que el conocimiento en sí mismo en un activo que potencialmente pueden ser valorado en los mercados existentes (Pisano, 2010 y 2006).
- d) Además, el capital humano es un activo central, dado que en última instancia los individuos son portadores de una parte importante del conocimiento científico y tecnológico.

¹⁴ Citado en Morales & Díaz (2018).

de capacidades tecnológicas para esta tecnología; se adaptará y modificará la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial. Siguiendo a Lall (1992), sugerimos que la categorización de capacidades tecnológicas es necesariamente indicativa, ya que puede ser difícil juzgar a priori si una actividad particular es simple o compleja (dependerá mucho de las características propias de cada empresa); además, no todas las actividades tienen que ser realizadas por la misma empresa, hay actividades que serán necesario recurrir a servicios especializados como a contratistas, consultores, otras empresas de I+D o manufactura. No obstante, hay un núcleo de actividades básicas que la empresa tiene que internalizar para garantizar sus operaciones claves, las cuales cambiarán en el tiempo a medida que la empresa se comprometa a más tareas complejas. En este sentido, reiteramos que el carácter de la matriz es indicativo, esta no necesariamente revela una idea de secuencia; es una matriz pensada bajo una lógica de flexibilidad de tal forma que permita análisis tanto estáticos como dinámicos.

Partiendo del marco analítico propuesto por Lall (1992), Bell & Pavitt (1993), adaptaciones de Dutrénit & Vera-Cruz (2005), Miranda & Figueiredo (2010), Guadarrama (2006) y aportaciones propias con base al trabajo de campo; así como de las características de esta tecnología, los segmentos básicos de la cadena global de valor, la teoría, y aportaciones de especialistas en el tema; se adaptó la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria en México. La nueva matriz agrega actividades relevantes para la biotecnología y redefine actividades correspondientes a varios grados de acumulación; incluyendo actividades de investigación y desarrollo, inversión, producción y comercialización, interacción y actividades externas, que en conjunto requieren de adquisición, asimilación y adaptación de conocimiento (ver tabla 04). En esta matriz, las columnas establecen las principales actividades por cada capacidad tecnológica y las filas establecen el grado de complejidad o dificultad, medido por el tipo de actividad de la cual surge la capacidad.

Se han incorporado las actividades de investigación y desarrollo porque las empresas que aplican biotecnología dependen en gran medida de la investigación y desarrollo que realizan; invertir y desarrollar I+D les permite lograr capacidades técnicas internas que podrían mantenerlas a la vanguardia de los últimos desarrollos tecnológicos, estar en constante innovación y facilitar su capacidad de aprendizaje (Bell & Pavitt, 1993; Yan & Batra, 1998). Además, la I+D es el primer escalón de la cadena de valor básica de la biotecnología; en este segmento, las actividades se conducen principalmente por tres actores: las universidades, centros de investigación y empresas dedicadas a I+D en distintas escalas, el objetivo es producir conocimiento que alcance el éxito comercial.

No obstante, desde el descubrimiento hasta la generación de un prototipo factible, puede mediar una década, el tiempo en este sentido representa un alto costo de oportunidad que ha estimulado a las empresas a buscar estrategias de riesgo compartido. En un nivel avanzado de actividades de I+D, se encuentran las pruebas, diseños y prototipos que implican un grado de complejidad mayor para consolidar hallazgos; aunque superar las fases de prueba no garantizan seguir con éxito en las siguientes etapas, la posibilidad de fracaso es alta y costosa (Amaro & Sandoval, 2019).

Las actividades de inversión son aquellas que requieren antes de empezar cualquier proyecto y durante, es decir, son las habilidades necesarias para identificar, preparar, obtener tecnología, diseñar, equipar, dotar de personal y construir una nueva instalación (o expansión), invertir en investigación y desarrollo, negociación con proveedores, entre otras. Estas determinan el costo de capital del proyecto, lo apropiado de la escala, mezcla de productos, tecnología y equipamiento, equipo seleccionado, y la comprensión adquirida por la empresa operadora de las tecnologías básicas involucrados, etc. (Lall, 1992). Se ha conservado la división de las actividades de inversión en actividades de toma de decisiones y control, y las de preparación y ejecución de proyectos, pero se han realizado algunas modificaciones menores al interior de las primeras y adaptaciones y aportaciones en las segundas, como las capacidades para manejarse en un complejo entorno regulatorio que aumenta inversiones y costos y establece barreras de entrada.

En cuanto a las actividades de producción se definen como las actividades para lograr la competitividad sostenida que requiere el cambio técnico después de la inversión inicial; es decir, generar y administrar el cambio técnico en los procesos, productos y organización de la producción (Ortegás, Borjas & Jasso, 2007). En la biotecnología, después que se ha superado el complejo conjunto de pruebas técnicas y regulatorias, las actividades de producción permiten escalar a nivel industrial, es decir producir en masa; la biomanufactura es el segmento de la cadena de valor, intensivo en capital y conocimiento técnico, así como rigurosamente vigilado por las agencias gubernamentales y privadas que dan cuenta de los protocolos de calidad y seguridad. Pero también, en esta etapa se incluyen los procesos de aprobación técnica, normativa y el conjunto de certificaciones que permiten que el producto y/o servicio salga al mercado (Amaro & Sandoval, 2019). En este apartado se han considerado las actividades producción y comercialización tanto a nivel proceso como a nivel producto y /o servicio, donde se han realizado cambios sustanciales.

Finalmente, las actividades de interacción y vinculación son aquellas que permiten recibir y transmitir información, habilidades, conocimientos, experiencias y tecnología de agentes externos a la empresa: como los proveedores de materiales, subcontratistas, consultores, empresas de servicios, clientes, agricultores cooperantes, socios, universidades, centros de investigación, ferias e instituciones tecnológicas. Tales vínculos afectan no solo la eficiencia productiva de la empresa sino también a la difusión de la tecnología a través de la economía y la profundización de la estructura industrial, ambas esenciales para el desarrollo de la industria (Lall, 1992; Ortegás, Borjas y Jasso, 2007); y más en la biotecnología que depende fuertemente del conocimiento científico y de la interacción con el conjunto de actores que intervienen en su producción.

Tabla 04: Matriz de Capacidades Tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria en México

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios	
Capacidades básicas	<ul style="list-style-type: none"> _Área y/o estrategia de I+D. _Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. _Planteamiento de problemas tecnológicos _Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación _Investigación de baja complejidad 	<ul style="list-style-type: none"> _Estimación de desembolsos (presupuestos). _Monitoreo activo y control de: estudios de mercado, factibilidad, selección de tecnologías, proveedores y personal. _Programación de actividades. _Búsqueda de fuentes de financiamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Acceso a financiamiento _Estudios de factibilidad y de mercado _Inversión en infraestructura (planeación, preparación, acondicionamiento, construcción o adquisición) * _Permisos y cumplimiento de normas de seguridad y sanidad. _Ingeniería básica 	<ul style="list-style-type: none"> _Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas. _Control de calidad de los procesos. _Mejora del layout, programación y mantenimiento. _Desarrollo de capacidades organizacionales. _Mejora de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales 	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en campo, en plantas piloto y prototipos factible. _Focus group y visitas de campo. _Liberación experimental * _Permisos por parte de Cofepris. _Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales del producto y/o servicio _Supervisión y control de calidad de productos y/o servicios. _Registros de productos 	<ul style="list-style-type: none"> _Conocimiento general de clientes, proveedores, competencia, IES e CI. _Búsqueda de vínculos. _Servicio social, estancias e intercambios (universidad-empresa / empresa-empresa). _Acuerdos de colaboración con redes de investigación. _Acuerdos de cooperación con empresas _Participación en eventos relacionados
Capacidades intermedias	<ul style="list-style-type: none"> _Departamento formal de I+D _Investigación de complejidad media _Promoción de la creatividad y la inventiva del personal. _Licenciamiento hacia adentro y/o ingeniería inversa _Desarrollo de la formulación y/o diseños de prototipos. 	<ul style="list-style-type: none"> _Búsqueda, evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar y proveedores. _Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos. _Negociación con proveedores _Administración del 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en I+D _Inversión y adquisición en cambio tecnológico (equipos, tecnologías, etc.) _Inversión en mercadotecnia. _Capacitación técnica y operativa del personal. _Administración y seguimiento del proyecto. _Ingeniería a detalle 	<ul style="list-style-type: none"> _Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching) _Introducción de cambios organizacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> _Diversas certificaciones _Producción a gran escala de productos (biomanufactura). _Diseño incremental de nuevos productos y/o servicios. _Liberación en programas piloto * _Soluciones biotecnológicas a problemas específicos del campo y 	<ul style="list-style-type: none"> _Transferencia de tecnología _Vinculación con clientes, proveedores, IES, CI y empresas. _Vínculos con instituciones públicas (cámaras, secretarías, organismos gubernamentales). _Alianzas de cooperación con agricultores y otros aliados para hacer ensayos de campo.

	_Pruebas a nivel laboratorio. _Pruebas en invernadero.	proyecto(s) completos.			relacionado con los alimentos.**	_Utilización de instalaciones y paquetes tecnológicos de las universidades y/o empresas.
Capacidades avanzadas	_Prototipo terminado _Pruebas en plantas piloto. _Pruebas en campo. _Solicitud de registro de PI. _Propuestas de soluciones específicas **	_Desarrollo de nuevos procesos y sistemas de producción	_Inversión en plantas pilotos, laboratorios y plantas de producción propios. _Inversión en licenciamientos y permisos de PI. _Actividades de formación y crecimiento de capital humano. _Diseños de procesos y desarrollo de la I+D relacionada. _Adaptaciones menores a maquinaria y equipo. -Manejo de asuntos regulatorios.	_Innovaciones radicales en la organización. _Patentes de métodos. _Innovaciones de procesos.	_Innovación de productos y/o servicios. _Liberación comercial * _Patentamiento de productos. _Marketing, comercialización y distribución de productos.	_Vinculación con universidades y centros de investigación para desarrollos tecnológicos que puedan ser escalados. _Colaboración con empresas para desarrollos tecnológicos, biomanufactura y/o comercialización o distribución. _Colaboración en desarrollos tecnológicos con clientes, proveedores y socios. _Adquisiciones y/o fusiones. _Vinculación con consultores especializados en temas regulatorios y propiedad intelectual.
Aprendizaje tecnológico: Adquisición y/o absorción de habilidades, experiencias y conocimientos internos y externos para generar y fortalecer el cambio técnico.						

Fuente: Elaboración propia partiendo del marco analítico propuesto por Lall (1992), Bell & Pavitt (1993), adaptaciones de Dutrénit & Vera-Cruz (2005), Miranda & Figueiredo (2010), Guadarrama (2006) y aportaciones propias con base al trabajo de campo.

El marco teórico de las capacidades tecnológicas ha sido ampliamente discutido por varios autores, se observa que el concepto de esta ha evolucionado con el tiempo incluyendo nuevos ámbitos más allá del tecnológico; esto sugiere que la teoría es dinámica y perfectible, es decir, que puede ser mejorada o adaptada dependiendo del contexto. El argumento detrás de las capacidades tecnológicas es que estas permitirán a los individuos y a través de ellos las empresas adquirir distintos habilidades, experiencias y conocimientos tanto internos como externos y una vez asimilados permiten adaptar y/o mejorar la tecnología existente y generar nuevos conocimientos tecnológicos susceptibles de

convertirse en innovaciones (radicales o incrementales); y de esta forma las empresas logran mayor competitividad. No obstante, las empresas para generar y acumular CT lo hacen a través del aprendizaje tecnológico y la interacción con un conjunto de actores, claro está que partiendo de un umbral mínimo de conocimientos. Por otro lado, las taxonomías de CT propuestos por autores clásicos son avances analíticos importantes que se convierten en la base para nuevas propuestas, como es el caso de una matriz de CT para la biotecnología; pero para ello es necesario conocer y entender la historia, qué es esta tecnología y cómo funciona. El capítulo siguiente nos ayudará en este aspecto.

2. Estructura y contexto de la biotecnología

2.1. Biotecnología y conceptos básicos

Aún sin saber de qué se trataba el hombre ha empleado la biotecnología desde tiempos milenarios: al seleccionar las semillas de plantas deseadas para incrementar el rendimiento y mejorar el sabor de los cultivos, con la cruce selectiva de animales domésticos para conservar características de docilidad y productividad, o al usar microorganismos para producir bebidas alcohólicas, yogurt, vino, cuajar leche y hacer pan (Castañón, 2001)¹⁵. Con el tiempo la biotecnología fue evolucionando gracias al invento del microscopio, la descripción de las primeras células, el descubrimiento de la penicilina, de los principios de vacunación, fermentación, pasteurización; describir la estructura de doble hélice de la molécula del ADN, entre otros (ver figura 01).

No obstante, cuando la biología da pasos prometeicos al identificar el código genético de los seres vivos (ADN), abre la posibilidad de desarrollo de nuevas enzimas recombinantes, de anticuerpos monoclonales hasta el de nuevos biopolímeros que sustituyen la producción de plástico en numerosas aplicaciones industriales, dando origen a la biotecnología moderna (BM); en este momento surgieron empresas como Genentech, Biogen y Amgen, las cuales representaron por una época el modelo de empresas biotecnológicas. La BM da la oportunidad de reemplazar tecnologías existentes basadas en petróleo por nuevas materias primas biológicas y así recomponer la productividad (Gutman & Lavarello, 2014).

El término biotecnología fue utilizado por primera vez por Karl Ereky en 1919 en su libro *Biotechnologie der Fleisch, Fett und Milcherzeugung im landwirtschaftlichen Grossbetriebe*¹⁶ para hacer referencia a la “ciencia de los métodos que permiten la obtención de productos a partir de materia prima, mediante la intervención de organismos vivos”. En términos generales la palabra Biotecnología proviene de las raíces griegas “bio” (vida), “tekhn” (técnica) y del sufijo “lógica” (estudio); es decir, significa el uso de células vivas para la obtención y mejora de productos útiles (RAE, 2016)¹⁷

¹⁵ Citado en Solleiro & Briseño (2003).

¹⁶ *Biotechnology of Meat, Fat and Milk Production in an Agricultural Large-Scale Farm.*

¹⁷ Puig (2007)

Figura 01: Evolución de la Biotecnología (principales sucesos, desarrollos y descubrimientos)



Fuente: Adaptación a la línea de Tiempo de la biotecnología propuesta por PROMEXICO (2014)

La BM se define como toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos, organismos vivos, parte de ellos o sus derivados en la creación o modificación de procesos, productos, servicios y conocimientos para usos específicos¹⁸. Entonces, de acuerdo con Niosi (2011), la BM es una disciplina transversal basada directamente en la actividad científica, que en su parte industrial conforma un sector económico intensivo en conocimiento ya que mantiene una dependencia muy significativa de la investigación que se realiza en universidades y centros de investigación públicos y privados¹⁹.

Tal como se discutió en el capítulo I (sección 5) la biotecnología moderna (BM) más que un sector económico tradicional, es una ciencia y a la vez una tecnología de uso transversal aplicables a distintos sectores tradicionales (ver figura 02); hoy en día la complejidad científica de las técnicas biotecnológicas²⁰ es alta y las posibilidades de uso también, incluso en campos que parecían distantes. Por lo tanto, el pasar de un desarrollo científico a una técnica, y el de esta a una tecnología con validez comercial, implica en el caso de la BM una amplia gama de actividades interrelacionadas, que pueden ser efectuadas por un único agente o por una multiplicidad de ellos (Bisang, Campi & Cesa, 2009).

Sin entrar a detalle, la cadena de valor de la biotecnología en su forma más básica se caracteriza por cuatro segmentos: investigación y desarrollo (I+D), pruebas-prototipos-diseños, manufactura y ventas; en cada segmento los actores y las competencias difieren dadas las especificidades de las tareas a realizar y los insumos dependen en gran medida de la producción, circulación y apropiación del conocimiento (Amaro & Sandoval, 2019).

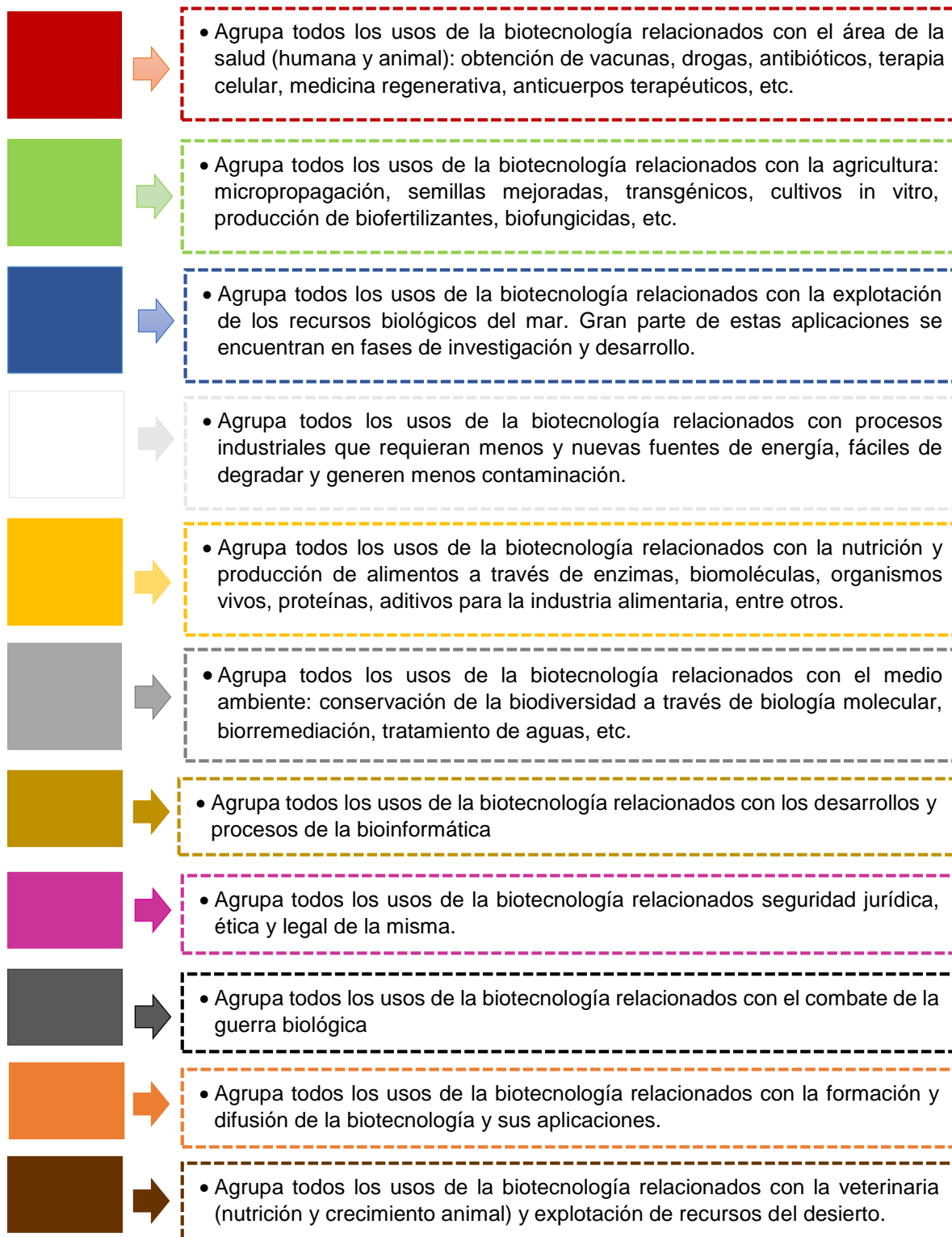
Las actividades de I+D se conducen principalmente por universidades y centros de investigación, así como por empresas en distintas escalas donde el margen de riesgo es muy alto (búsquedas orientadas por un desafío); las pruebas necesarias para consolidar un hallazgo son un proceso complejo (prueba y error) y mediado por una serie de regulaciones; una vez superado este paso el prototipo factible está listo para producirse en masa (escalamiento), la biomanufactura es intensivo en capital y conocimiento técnico; finalmente una vez el producto aprobado y certificado, encuentra un mercado (Bisang, Campi & Cesa, 2009; Amaro & Sandoval, 2019). La tabla 05 nos ayudará a entender conceptos básicos relacionados con la biotecnología que se utilizarán en el texto.

¹⁸Adaptación de la definición propuesta por la (OCDE, 2005) y Ruane & Zimmermann (2003).

¹⁹ Citado en Morales & Díaz (2019), Perspectiva general y delimitación del sector biotecnológico desde la Economía de la Innovación.

²⁰ Revisar el capítulo III, apartado 3.

Figura 02: Ámbitos de aplicación de la biotecnología por colores



Fuente: Elaboración propia con información de Puig (2017).

Tabla 05: Conceptos básicos relacionados con la biotecnología

<p><u>ADN (ácido desoxirribonucleico)</u> Molécula que almacena la información genética. Consiste en 4 fases (adenina, citosina, guanina y timina), azúcares y fosfatos. Generalmente es un polímero de cadena doble.</p>	<p><u>ARN (ácido ribonucleico)</u> Molécula que transmite información genética. Además, cumple con funciones estructurales y de acoplamiento en la maquinaria de traducción de la información</p>	<p><u>Antibiótico</u> Sustancia que evita o retrasa el crecimiento de los microorganismos. Se le emplea en el tratamiento de las enfermedades infecciosas y como agente de selección en procesos de transformación genética.</p>
<p><u>Anticuerpos monoclonales</u> Anticuerpos producidos por un clon de células (células originadas a partir de una única célula) y que, por lo tanto, reconocen a un único determinante antigénico.</p>	<p><u>Bacteria</u> Microorganismo unicelular que se caracteriza por no poseer núcleo. Se clasifica dentro del grupo de las células procariontas</p>	<p><u>Biología molecular</u> Rama de la biología que se encarga de estudiar o aplicar técnicas centradas en los genes y sus productos inmediatos, las proteínas</p>
<p><u>Bioinformática</u> Ciencia de la informática aplicada a la investigación biológica. Sirve para adquirir, almacenar, analizar y diseminar datos biológicos.</p>	<p><u>Bioseguridad</u> Son las acciones y medidas de evaluación, monitoreo, control y prevención que se deben asumir en la realización de actividades con organismos genéticamente modificados</p>	<p><u>Clonación molecular</u> Propagación de una molécula a través de su replicación repetida para obtener una población de moléculas idénticas a la primera.</p>
<p><u>Cromosoma</u> Unidad genética constituida por una molécula de ADN asociada a las proteínas. Su tamaño y número varía, dependiendo de la especie de que se trate</p>	<p><u>Especie</u> Clasificación taxonómica formada por el conjunto de poblaciones naturales que pueden cruzarse entre sí, real o potencialmente.</p>	<p><u>Enzima</u> Proteína con actividad catalítica, es decir, que acelera una reacción química específica sin destruirse en el proceso.</p>
<p><u>Fenotipo</u> Manifestación observable de un determinado genotipo. Ej. la presencia de un gen productor de melanina (genotipo) corresponde una coloración oscura de piel (fenotipo).</p>	<p><u>Genoma</u> Término que denota el material genético de un organismo vivo. En un ser humano se refiere a todas las secuencias de todos los cromosomas de una célula</p>	<p><u>Genética</u> Campo de las ciencias biológicas que trata de comprender cómo los genes son transmitidos de una generación a la siguiente, y cómo se efectúa el desarrollo de las características que controlan esos genes.</p>
<p><u>Genotipo</u> Se usa para denominar a un componente genético de un determinado individuo o variedad. Su contraparte es un fenotipo</p>	<p><u>Genómica</u> Área de la ciencia que estudia los genomas de los organismos. Ingeniería biomédica Aplicación de los principios de la ingeniería al área de la medicina</p>	<p><u>In vitro</u> Se refiere a condiciones experimentales en las que no existen células u organismos vivos. Condiciones dadas en un tubo de ensayo.</p>
<p><u>Ingeniería genética</u> Tecnología aplicada para obtener moléculas de ADN híbridas, con miras al análisis genético o mejoramiento de una especie.</p>	<p><u>Microbiología</u> Ciencia encargada del estudio de los microorganismos.</p>	<p><u>Microorganismo</u> es un ser vivo, o un sistema biológico, que solo puede visualizarse con el microscopio (bacterias, virus, hongos, entre otros).</p>
<p><u>Molécula</u> Conjunto de átomos unidos unos con otros por enlaces fuertes. Es la expresión mínima de un compuesto o sustancia química.</p>	<p><u>Mutagénesis</u> Proceso por el cual se induce cambios en el material genético de un organismo. Puede ser espontáneo o inducido.</p>	<p><u>Organismo Genéticamente modificado (OGM)</u> Organismo cuyo material genético ha sido modificado a partir de técnicas de ingeniería genética</p>

		(inhibe o potencia la expresión de uno de sus genes)
<u>Organismos Transgénico</u> Son organismos a los que se les han añadido un gen o genes de manera exógena a su patrimonio genético, es decir, genes de otra especie.	<u>Proteína</u> Sustancia bioquímica constituida por una cadena lineal de unidades llamadas aminoácidos (macromolécula). La secuencia de una proteína determina su estructura y función	<u>Sustrato</u> Sustancia o molécula con la que interacciona una enzima, transformándose en productos.
<u>Terapia genética</u> Reemplazo de un gen defectuosa en un organismo que sufre una enfermedad genética.	<u>Vacuna</u> Preparación que contiene un antígeno, que consiste en un organismo que causa una determinada enfermedad o partes de este, que es utilizada para conferir inmunidad en contra de esa misma enfermedad	<u>Virus</u> Organismo que contiene información genética pero que no se puede replicar. Para replicarse debe de invadir otra célula y utilizar sus mecanismos de reproducción.
<u>Traducción</u> Proceso por medio del cual se lee la secuencia de codones de ARN y se elabora una cadena de proteína con la secuencia correspondiente	<u>Transcripción</u> Proceso por el que un gene se expresa mediante la síntesis de un ARN que contiene la misma secuencia del gene.	<u>Transformación</u> Procedimiento que permite introducir, directamente a células vivas, moléculas de ADN a través de distintos procedimientos

Fuente: Elaboración propia con información de PROMÉXICO (2014) y Soberón (2016).

2.2. Biotecnología asociada al sector agroindustrial alimentario

De acuerdo con Paredes (1990) es pertinente analizar las características de la Revolución Verde (RV) y sus diferencias con la biotecnología agroindustrial para no confundirlas. En la década de los años treinta del siglo XX como respuesta a los déficits alimentarios y los distintos problemas en la producción agrícola, Estados Unidos promovió la llamada Revolución Verde (agricultura moderna) con la finalidad de generar altas tasas de productividad agrícola sobre la base de una producción extensiva de gran escala y el uso de tecnología. La RV²¹ involucró un paquete tecnológico específico de insumos compuestos por variedades de plantas híbridas o de alto rendimiento, mecanización, fertilizantes agroquímicos, pesticidas, herbicidas e irrigación (Otero, 2018; Pérez, 2014). Las tecnologías²² impulsadas por la RV (que reemplazaron las prácticas agrícolas tradicionales) fueron intensivas en el consumo de energía de fuentes no renovables por lo

²¹ “Es el adoptado por este paquete tecnológico cuando es exportado a los países en vías de desarrollo. Si bien la Revolución Verde técnicamente comenzó en México en 1943, con un programa que promovía las variedades de trigo de alto rendimiento (Hewitt de Alcántara, 1978), su origen y desarrollo inicial se ubicaron en la agricultura de Estados Unidos” (Otero, 2018).

²² La agenda de investigación científica que sustentó el desarrollo tecnológico de la RV fue financiada y definida por organismos públicos y empresas transnacionales que responden ciertos intereses (Paredes, 1990)

que a largo plazo generaron dependencia de agroquímicos, expansión de monocultivos, degradación de los suelos, contaminación del agua, entre otros problemas. En este contexto, era necesario que la productividad agrícola dependa de otro tipo de insumos; por lo que la biotecnología agroalimentaria²³ se enfrentaba a circunstancias esencialmente distintas como: ampliar la base genética de los materiales, usar con eficiencia los nutrientes y el agua, lograr una mayor eficiencia fotosintética; utilizar más la fijación biológica del nitrógeno, la resistencia a plagas y enfermedades, etc. (Paredes, 1990).

En este sentido, los componentes fundamentales de la biotecnología agroalimentaria se agrupan en diversas áreas que van desde procesos de fermentación tradicional hasta sofisticadas técnicas de ingeniería genética. Las aplicaciones tecnológicas usuales de la biotecnología agroindustrial alimentaria²⁴ se relacionan con la utilización de material genético de organismos vivos para usos específicos que incluye marcadores moleculares de ADN, manipulación y transferencia de genes, reproducción vegetativa, creación de nuevas variedades de plantas, cultivo de tejidos, cultivo in vitro, clonación, producción de biofertilizantes y biopesticidas, producción de ingredientes (modificación de levaduras, bacterias), alimentos formulados, entre otros (Renue & Zimmermann, 2003; Puig, 2017).

La necesidad de satisfacer la demanda de alimentos y materias primas para la elaboración de diversos productos ha sido la causa para que el hombre aplique desde tiempos ancestrales métodos tradicionales de fitomejoramiento²⁵ para aumentar rendimientos, calidad nutricional y resistencia de los cultivos; pero estas variedades se volvieron dependientes de agroquímicas e insuficientes para satisfacer la demanda. No obstante, con los avances de la ingeniería genética²⁶ (la manipulación genética de un organismo utilizando técnicas de biología molecular) se pudieron hacer frente a estos problemas, presentándose como una poderosa alternativa para obtener cultivos que superen en su

²³ Las grandes empresas transnacionales de los países desarrollados son las que financian los proyectos biotecnológicos que mejor se adapten a sus intereses comerciales y rompiendo todo tipo de tradiciones, establecen convenios con grupos universitarios y centros de investigación públicos y privados (Paredes, 1990).

²⁴ Para recordar la definición del sector agroindustrial alimentario en esta investigación revisar el capítulo II, sección dos.

²⁵ Producción de cultivares mejorados mediante cruza dirigidas entre individuos, de la misma especie o estrechamente relacionados. Los individuos sobresalientes son seleccionados en ciclos de cruza y retrocruza, aunadas a laboriosas pruebas de campo, se obtiene una generación portadora de la característica deseada que es reconocida como una nueva variedad. Todo el proceso de selección va acompañado de colectas, tanto de semillas como de plantas completas que son almacenadas en bancos de germoplasma para posteriores usos (Herrera & Martínez, 2007).

²⁶ Sinónimos de métodos de ADN recombinante.

productividad y calidad a sus contrapartes. Por ello, estos métodos se han convertido en la innovación radical que ha transformado la actividad productiva agrícola (Herrera & Martínez, 2007; Stezano, 2017).

Algunas de las aplicaciones de la ingeniería genética vegetal son: la clonación, la secuenciación del genoma y modificaciones genéticas. La primera técnica consiste en aislar parte del germoplasma y lograr la reproducción in vitro de plantines, libres de toda enfermedad y una vez aislado utilizar la micropropagación para reproducir n veces la planta en el laboratorio; la segunda, se refiere a la identificación de genes y secuencias que son las responsables de contenido final de granos y/o conductas respecto a determinados eventos externos, no implica transgénica sino un procedimiento de compleja biología que mejora los sistemas tradicionales; y la última se refiere a la transgénica, es decir, a partir de la identificación y aislamiento de uno o varios genes de otras especies, se suma a la variedad preexistente y se obtiene una nueva planta, si esta es autógama (se auto fecunda) se reproduce n veces (Bisang, Campi & Cesa, 2009).

Por otro lado, la tendencia a industrializar insumos primarios bajo diversas tecnologías (en búsqueda de evitar la perecibilidad, mejorar la sanidad, calidad o inocuidad) ha suscitado gran interés en la biotecnología. El uso de técnicas de enzimología y de fermentación con cultivos microbianos desde hace muchos años son los responsables de la producción de moléculas de origen biológico de interés comercial claves para la industria alimentaria, que hoy en día sumado a técnicas de ingeniería celular, permiten, por ejemplo, adicionar bacterias modificadas a productos preestablecidos para agregar bondades deseables desde el punto de vista nutricional²⁷ (Gosset & Bolívar, 2007).

En cuanto a México, según Rodríguez (1988), la biotecnología agrícola alimentaria se ha enfocado en 4 líneas: cultivo de tejidos (micropropagación de frutas, hortalizas, flores ornamentales, cítricos, agave, café, entre otros), ingeniería genética (selección in vitro de genotipos de maíz, síntesis de proteínas de maíz, bancos de genes de bacterias fijadoras de nitrógeno, etc.), tecnología de fermentaciones (producción de proteína unicelular, producción de vitaminas, grasas, aminoácidos, hidrólisis fermentativa de henequén, etc.) y

²⁷ “Los casos más relevantes corresponden a organismos biológicos adicionados a los lácteos (yogures, leches, saborizantes); levaduras y fermentos recombinados utilizados en la producción de vinos, quesos y yogures; conservantes y colorantes utilizados en carnes y frutas desecadas” (Bisang, Campi & Cesa, 2009).

tecnología enzimática (producción de enzimas, bioconversiones enzimáticas, producción de aditivos saborizantes, etc.).

Así mismo, de acuerdo con Álvarez (2009), en México la aplicación de la biotecnología a la agricultura incluye: el mejoramiento genético, la micropropagación por medio de técnicas de cultivo de tejidos y embriogénesis; así como al desarrollo de material transgénico para la generación de plantas novedosas; y la producción de semillas modificadas genéticamente a cargo de las principales multinacionales. También incluye el tema de los factores agrícolas tales como: la producción y uso de bioplaguicidas e insectos como agentes de control de plagas, biofertilizantes y a otros insumos biológicos enriquecedores del suelo, así como a diversos reguladores del crecimiento vegetal. Y en relación a las aplicaciones biotecnológicas en los alimentos incluyen: el uso de enzimas, cultivos bacterianos, hongos, levaduras u otros componentes novedosos en los alimentos y complementos alimenticios.

Por su parte, Amaro & Villavicencio (2017)²⁸ consideran que “la aplicación de la biotecnología en este sector se ha concentrado en la cadena de producción primaria y de los procesos industriales de transformación de insumos agrícolas para la generación de productos”. En la producción y transformación agrícola se concentran en: semillas y variedades vegetales derivadas de mejoramiento tradicional, así como el uso de técnicas de ingeniería genética, uso de marcadores moleculares, producción de transgénicos; insumos y sistemas para el manejo agronómico, productos y procesos para el manejo postcosecha, procesos industriales para la transformación de insumos agrícolas para la generación de productos; mientras que en los alimentos la biotecnología se centra en: uso de procesos enzimáticos sofisticados, generación de procesos integrados de transformación de productos animales o vegetales, producción de ingredientes y en la preparación de alimentos formulados, sistemas orientados a la inocuidad y la calidad nutricia de los alimentos (Trejo, 2010)²⁹.

2.3. Panorama de la biotecnología en el mundo

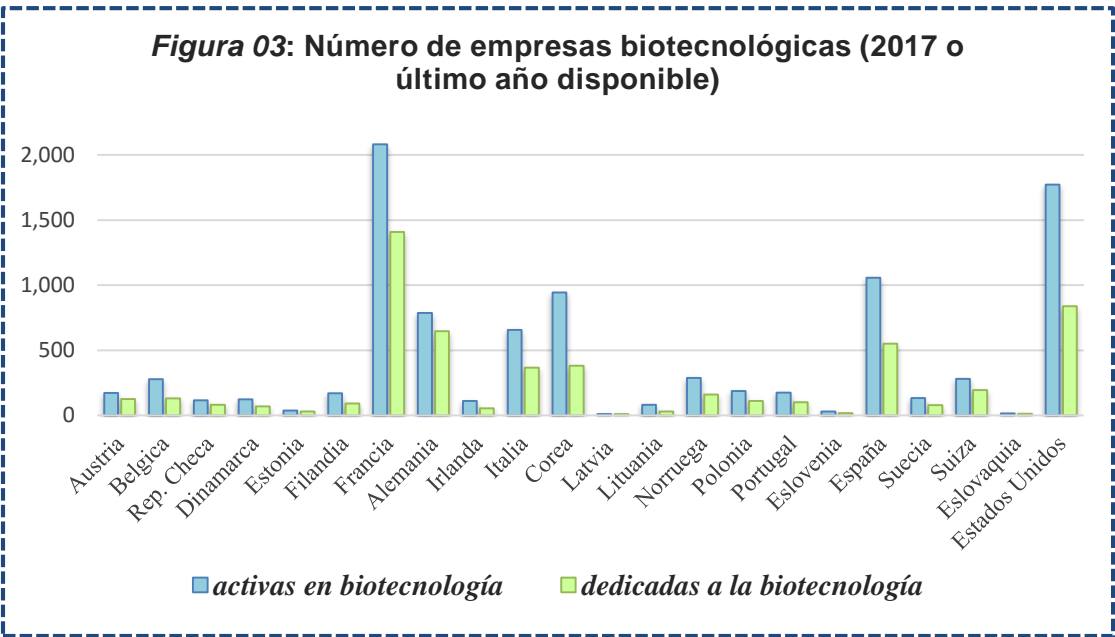
A pesar de que la biotecnología es una tecnología emergente con amplias posibilidades de desarrollo, que se ha venido configurando en investigaciones recientes como motor

²⁸ Citado en Amaro (2019).

²⁹ Citado en Amaro (2019).

potencial del crecimiento económico, existe una brecha grande entre los países que desarrollan esta tecnología. Por ello, es necesario tener una noción general de cómo está la industria a nivel mundial y en este contexto identificar como está el desarrollo de la biotecnología en México. En este apartado se usan los datos más recientes publicados por la OCDE, ICEX e investigaciones relacionadas.

En términos generales, en materia biotecnológica Estados Unidos (EE. UU.) a lo largo de la historia ha mantenido un liderazgo indiscutible en: investigación y desarrollo (I+D), volumen de la industria, gasto en I+D, número de empleos, etc.; para el 2015 se reportó que el 70% de I+D que se realiza a nivel mundial y el 86% de su financiación estuvo en manos de capital estadounidense (ICEX, 2016); el país cuenta con una potente estructura empresarial de 2270 firmas que para el 2017 generaron unos ingresos de 106.900 millones de dólares dando empleo a más de 308.000 personas. Este liderazgo es el resultado de sinergias entre la actividad universitaria, el acceso a la financiación, las políticas sanitarias, el sistema de libre mercado, un marco jurídico de protección de la propiedad intelectual y el marco regulatorio (ICEX, 2017).



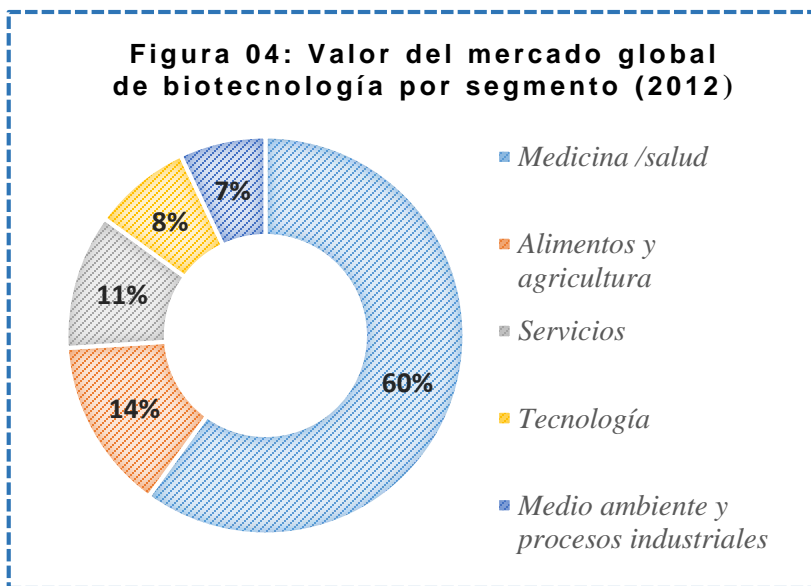
Fuente: Elaboración propia con base a los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre, 2019).

Por su parte, de acuerdo con los datos más recientes de la OCDE, en el 2017 Francia ha tenido un repunte importante de empresas activas en biotecnología seguida por EE. UU., España, Corea y Alemania (ver figura 03). Este repunte se debe a un conjunto de

condiciones favorables como: políticas de reactivación, creación de los fondos gubernamentales como el Fondo Estratégico de Investigación (FSI), la implicación del gobierno central y las instituciones locales en la creación de biotecnológicas, así como los partenariados de empresas francesas biotecnológicas con empresas estadounidenses, alemanas y otras empresas francesas (ICEX, 2017).

Cabe resaltar que, a excepción de Francia, hay países con menor número de empresas en total, pero tienen mayores porcentajes de empresas dedicadas completamente a la biotecnología como es el caso de Alemania, Austria, República Checa, Suecia y Estonia. De lo anterior, podemos observar que los países con un alto porcentaje de empresas dedicadas completamente a la biotecnología en relación con el total de empresas han encontrado nichos de mercado especializados que les han permitido insertarse en la dinámica; mientras que países como EE. UU. han logrado integrar la biotecnología a sectores económicos tradicionales, ampliando con ello el mercado y los potenciales usos de estas tecnologías (Morales & Amaro, 2017).

En cuanto al tamaño de las empresas, los datos para países de la OCDE en el 2013 (o último año disponible) muestran un porcentaje relevante de empresas biotecnológicas



Fuente: ProMéxico con datos de Marketline

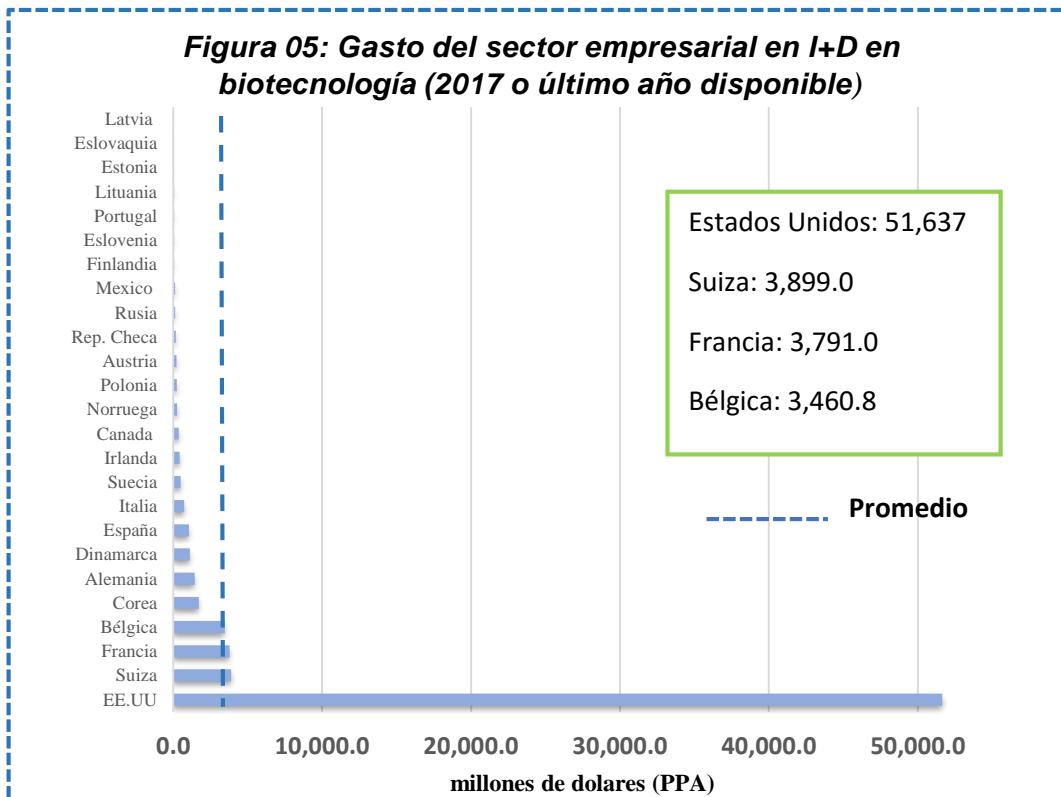
pequeñas (con menos de 50 empleados); en promedio el porcentaje de empresas pequeñas se encuentra por encima de 64%. En Estados Unidos el 72 % del total de empresas biotecnológicas son pequeñas, en España, Francia, Corea y Alemania representan el 88.5%, 73.4%, 60.5% y 79% respectivamente; significa que existe un dinamismo

importante en los mercados donde las empresas pequeñas tienen la oportunidad de valorizar sus productos abiertamente antes de ser adquiridas por empresas más grandes

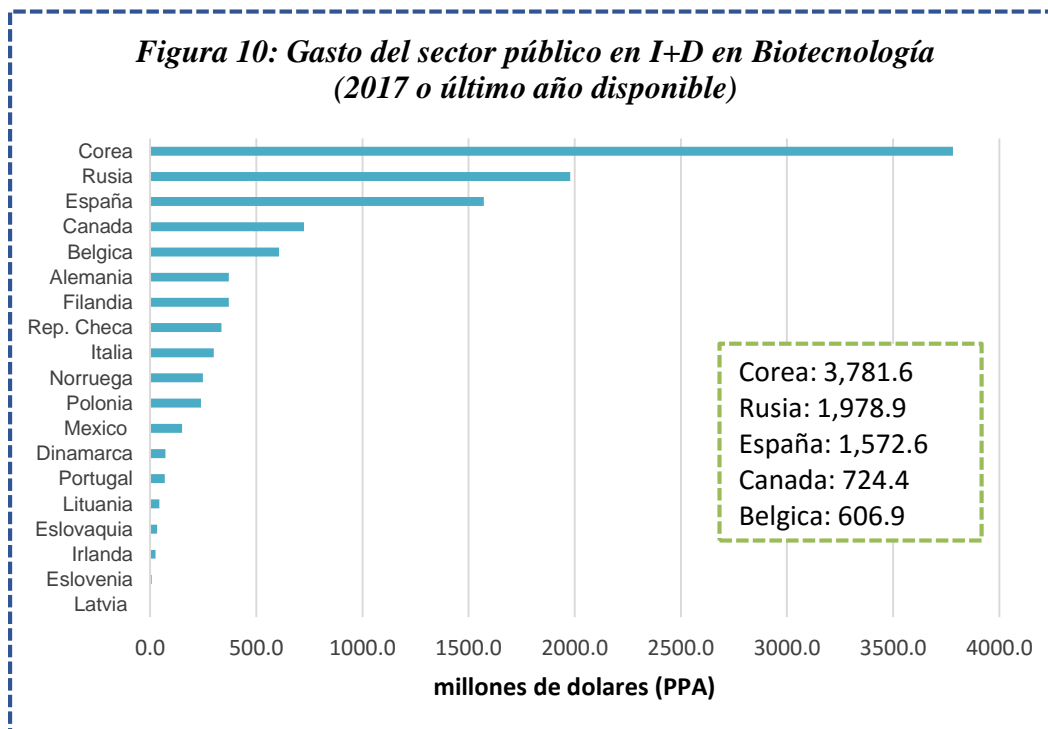
o ser dominantes de algún nicho de mercado (Morales & Amaro, 2017; Morales & Díaz, 2019).

De acuerdo con ProMéxico (2014), geográficamente, la región que concentra la mayor parte del valor del mercado mundial de la biotecnología es América (46%) seguida por Europa (26%) y Asia-Pacífico (16%). Respecto a las diferentes aplicaciones de la biotecnología (ver figura 04), en la mayoría de los países, la principal aplicación está relacionado con el ámbito de la salud (en Reino Unido un 84%, Austria 66%, Israel 60%, Italia 56%, Estonia 52% y tanto en Alemania como Bélgica, el porcentaje es cercano al 50%), seguida por el de la agricultura y el área de alimentos y con algunas excepciones (en ciertos países) cobra importancia la aplicación de la biotecnología en la industria, los servicios y el medio ambiente (ProMéxico, 2017).

Por otro lado, la biotecnología al ser una tecnología intensiva en conocimiento, la competitividad de las empresas depende en gran medida de las capacidades de innovación, aunque no todo conocimiento científico se transforma en conocimiento tecnológico, posiblemente a mayor gasto en actividades de I+D, mayores posibilidades de generar innovación. En las figuras 05 y 06, se presenta el gasto en I+D tanto privado como público en países de la OCDE medido en millones de dólares PPA (Paridad de Poder Adquisitivo); se observa que el sector empresarial de EE. UU. realiza el mayor volumen de gasto en I+D biotecnológico con más de 51 mil mdd, monto muy significativo en relación con el gasto de los demás países; seguido por países como Suiza, Francia, Bélgica, Corea, Alemania y Dinamarca. Mientras que en el gasto del sector público en I+D en Biotecnología destacan países como: Corea, Rusia, España, Canadá, Bélgica y Alemania; en este sector uno de los principales motores de I+D en biotecnología son los Centros de Educación Superior y los Centros de Investigación Públicos.



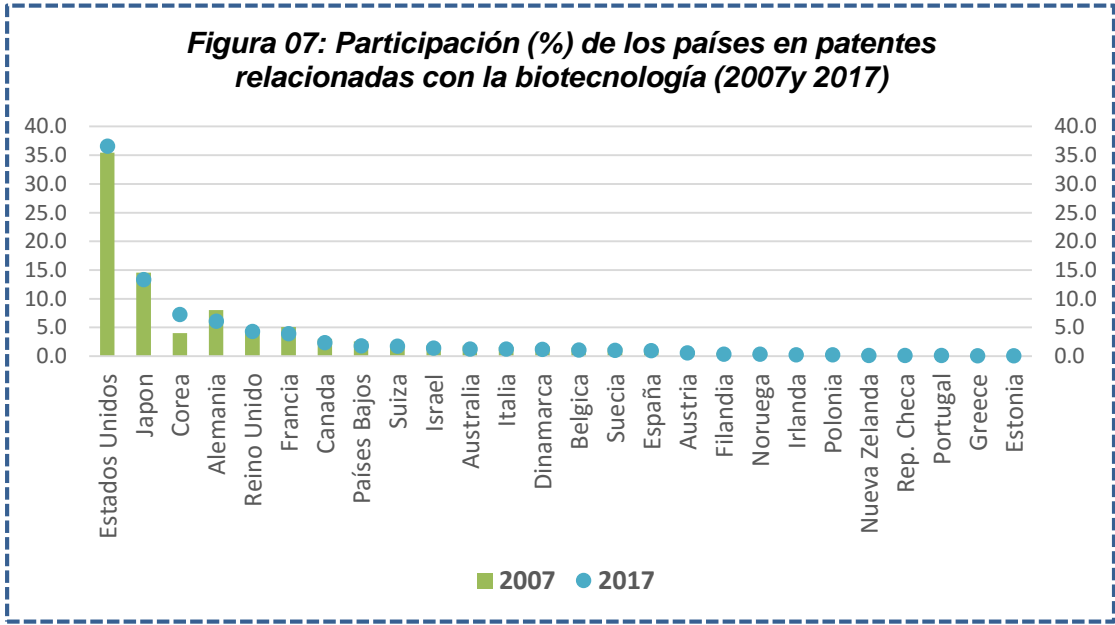
Fuente: Elaboración propia con base a los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre, 2019)



Fuente: Elaboración propia con base a los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre, 2019)

En términos de patentes, pese a son un indicador de invención más que de innovación, esta variable representa una aproximación para identificar ciertas capacidades tecnológicas, sobre todo en sectores intensivos en conocimiento y relacionados directamente con las actividades científicas, como es el caso de la biotecnología (Jaffe, 1986). En la figura 07 se presenta el porcentaje de participación en patentes relacionadas con la biotecnología en las cinco principales oficinas de propiedad intelectual durante el 2007 y el 2017 para los países de la OCDE; siguiendo la misma línea de Morales & Díaz (2019), se observa que existe una correlación positiva entre gasto en I+D en biotecnología y patentes.

Un claro ejemplo es Estados Unidos, el país con mayor volumen de gasto en I+D en biotecnología, también es el país que más patenta en este rubro; en el 2007 concentró cerca del 35% de todas las patentes registradas en biotecnología y pese a que no hay un incremento sustancial para el año 2017, sigue siendo el país de la OCDE que más patenta en biotecnología. Además, podemos destacar que se observa un rápido crecimiento de Corea en este rubro, pasó de 1.7% de participación en patentes en el 2000 a 7.2% en el 2017 y no es casualidad que sea uno de los países que ha incrementado su nivel de gasto en I+D en los últimos años, siendo el país que reportó mayor gasto del sector público en I+D en biotecnología para el 2017.



Fuente: Elaboración propia con base a los indicadores clave de biotecnología de la OCDE (octubre, 2019).

Según el último reporte de indicadores de propiedad intelectual en el mundo, podemos destacar que en el 2017 se solicitaron 64,012 patentes para el campo de biotecnología en todo el mundo, reportando una tasa de crecimiento de 6.3% en diez años (2007-2017); en materia de brecha de género entre inventores PCT, las mujeres representaron más de una cuarta parte de los inventores PCT en los campos de biotecnología (29.9%); y la tendencia (2004-2018) en depósitos de microorganismos han aumentado en todo el mundo, para el 2018 se registraron aproximadamente 5500 depósitos, mismos que para las invenciones biotecnológicas son claves (WIPO, 2019)

A partir de lo expuesto en el panorama general de la biotecnología a nivel mundial, podemos destacar que las mayores aplicaciones biotecnológicas se concentran en el sector de la farmacéutica y salud humana donde hay mayor difusión y explotación biotecnológica, seguida del sector agroindustrial alimentario. En este sentido, las empresas líderes³⁰ a nivel mundial en desarrollos biotecnológicos son las empresas estadounidenses Gilead Science, Amgen, Abbvie, Genentech y Monsanto (ahora Bayer), quienes concentran alrededor de 78.3% de la cuota de mercado; así como las empresas Alexio Pharmaceuticals Inc, Baxalta, Biogen, BioMarin Pharmaceutical Inc, Celgene e Incyte Corp (ver tabla 06) con desarrollos biotecnológicos que tienen los más altos ingresos en la industria para el 2017 (ICEX, 2018).

De acuerdo con Amaro & Sandoval (2019), el liderazgo comercial de las empresas biotecnológicas estadounidense se debe a que han seguido una estrategia amplia que ha involucrado reformular los términos de vinculación entre universidades y empresas, esquemas de financiamiento (capital de riesgo), la legislación entorno a los derechos de propiedad intelectual y las regulaciones sanitarias, alianzas con grupos de agricultores y empresas procesadoras, dominio de tecnologías genéricas, licenciamiento cruzado; es decir, se ha establecido un plan integral que promoció e incentive el desarrollo tecnológico en biotecnología para que las empresas y/o instituciones sigan manteniendo su liderazgo.

Tabla 06: Cambios en las principales empresas capitalizadas en los mercados de Estados Unidos (2012-2016 US\$m)

Empresas US	2012	2016	%
Gilead Sciences	30,744	94,343	32%
Celgene	30,010	89,730	31%

³⁰ Se consideran líderes comerciales aquellas empresas que cuentan con ingresos de US\$500 millones o más (Amaro & Sandoval, 2019).

Amgen	50,932	108,769	21%
Biogen	23,733	61,700	23%
Regeneron Pharmaceuticals	5,085	39,394	67%
Incyte	1,896	18,889	78%
Illumina	3,701	27,437	50%
Alexion Pharmaceuticals	13,238	18,273	20%
Vertex Pharmaceuticals	6,926	27,437	27%
BioMarin Pharmaceuticals	3,927	14,247	38%

Fuente: (EY, 2017)

Por su parte, el sistema financiero ha jugado un papel clave en esta tecnología: en 2013 las empresas más relevantes de la industria invirtieron 19.3 mdd en promedio, en 2015 y 2016 el financiamiento llegó a su punto más alto con aproximadamente 5,000 mdd, mientras que en el 2017 se registró una ligera caída (4.413 mdd); así mismo, las empresas multinacionales consolidadas (química, alimentos y agroindustria) han realizado importantes aportaciones a pequeñas y medianas empresas que se convierten en proveedoras especializadas de insumos o productos para la línea principal de sus negocios (ICEX, 2018; Festel, 2018).

En cuanto a la estabilidad de las empresas biotecnológicas a nivel mundial, se puede observar una fuerte estabilidad en las empresas que obtienen ingresos por más de 500 mdd gracias a la comercialización; y también destacan las empresas dedicadas a brindar soluciones de I+D para distintas industrias (que puede ir desde investigación aplicada, desarrollo, prototipo hasta pruebas clínicas); que no comercializan pero tienen un alto valor capitalizado en el mercado por la tecnología que están desarrollando; son las llamadas plataformas tecnológicas, entre las más importantes se encuentran GE Healthcare Life Sciences, Pall Corporation y Sartorius Stedim Biotech (Amaro, 2019).

Finalmente, es importante mencionar que la estrategia de crecimiento seguida por las grandes empresas en biotecnología consiste en dos aspectos: por un lado, está la adquisición de empresas basadas en I+D para que sean una subdivisión especializada (Start ups y PyMES) o la compra de empresas que pueden reforzar sus líneas de productos (abarcando varios mercados con una misma plataforma tecnológica), llevando a una concentración más alta en el mercado; y por otro lado, están las fusiones entre grandes empresas. La compra más costosa fue la de Bayer al adquirir a Monsanto por un estimado de 63 millones de dólares; pero también destacan importantes fusiones en el área de producción de semillas e insumos agrícolas como la que sucedió entre BASF y Bayer, Dupont y Dow Chemical y Syngenta con Chem China. Esto significa que el sector

agroindustrial relacionado con la biotecnología ha comenzado un proceso de concentración de capitales, de la misma forma que lo ha venido haciendo la farmacéutica a nivel mundial (Amaro & Sandoval, 2019).

2.4. Panorama de la biotecnología en México

El desarrollo de la biotecnológica en México pese a que aún no ha alcanzado su despliegue por completo, tiene un gran potencial de crecimiento debido a que cuenta con algunos factores clave para su desarrollo: el país tiene una gran diversidad de ecosistemas, especies, recursos genéticos y biológicos, capital humano calificados, costos de manufactura competitivos a nivel internacional; por eso, el país se ha convertido en uno de los destinos más importantes de inversión extranjera directa en biotecnología (ProMéxico, 2014). En este apartado se describirá el panorama de la biotecnología en México en cuanto a empresas (en particular, las relacionadas con el sector agroindustrial alimentario), instituciones y recursos humanos, gasto en I+D, propiedad intelectual y marco regulatorio.

a) Empresas

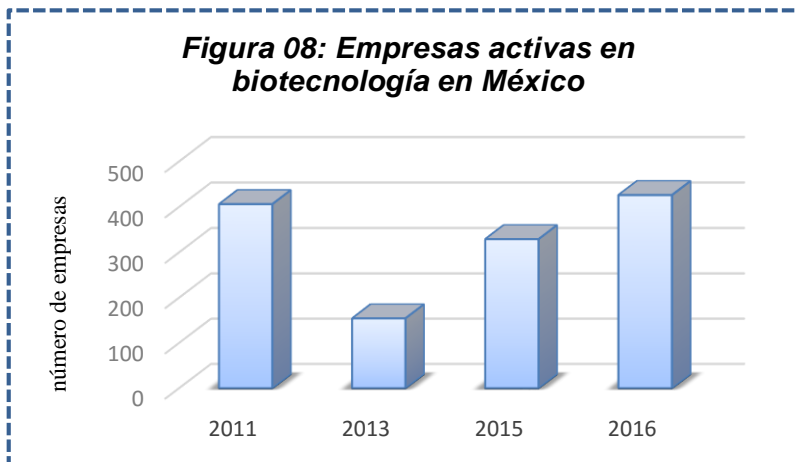
En materia de empresas, el desarrollo biotecnológico en México está dominado ampliamente por empresas transnacionales (ETN) con fuertes barreras a la entrada para las empresas nacionales especializadas en biotecnología. Las ETN son muy heterogéneas en el país y se caracterizan por utilizar técnicas y procesos de biotecnología, así como paquetes tecnológicos generados en su sede matriz. Las ETN que hacen I+D en México, se localizan casi exclusivamente en el sector de semillas; “allí, por ejemplo, Monsanto es un actor clave en el desarrollo de investigación en semillas y maíz” (Stads, et al., 2008)³¹.

Por su parte, las empresas nacionales se caracterizan por asimilar y adaptar tecnología, consumir productos biotecnológicos, desarrollar de forma incipiente procesos de I+D³² y algunas excepciones de empresas exitosas que a través de la estrategia de nichos de mercado (en su mayoría, micro y pequeñas empresas) desarrollan tecnología para responden a necesidades específicas del mercado. En tanto al panorama productivo se observa que el mayor número de empresas relacionadas con el campo de la biotecnología utilizan procesos de fermentación tradicionales, las empresas derivadas de la biotecnología

³¹ Citado en Oliver & Stezano (2019).

³² Son pocas empresas mexicanas que cuentan con departamentos de I+D propios, a pesar de que existen importantes vínculos con universidades y centros de investigación, existe también la generación de relaciones informales donde se busca la asesoría de expertos en el área (Amaro, 2019).

moderna son muy pocas y se caracterizan por usar tecnología de ADN recombinante (Amaro & Morales, 2010)³³. Dado que no han obtenido los permisos y autorizaciones.



Fuente: elaboración propia con datos de la OCDE (2019)

En cuanto al número de empresas mexicanas biotecnológicas, existe gran divergencia en los datos presentados. Amaro & Natera (2020) identifican 194 empresas, la OCDE (2019) reporta 426 empresas activas en biotecnología para el 2016 (ver figura 08),

PROMEXICO (2017) reporta 180, Trejo (2010) encuentra 375 empresas vinculadas al uso de productos y procesos relacionados a la biotecnología, Stezano, Morales & Amaro (2019) y Morales & Díaz (2019) encuentran 53 y 40 empresas productoras de biotecnología en México respectivamente. Es importante mencionar que no hay bases de datos disponibles que nos permitan distinguir entre qué tipo de biotecnología se realiza en México.

-Empresas relacionados con la biotecnología agroindustrial alimentaria en México

En México se ha identificado que el sector agroindustrial alimentario son las grandes empresas transnacionales las que hacen uso de las técnicas y procesos biotecnológicos (Grupo Modelo, Coca Cola, PepsiCo, Sabritas, Gamesa, Danone y Nestlé.), pero los principales desarrollos tecnológicos los realizan en sus casas matrices; en México realizan las últimas fases de I+D (adaptaciones a las condiciones del país) y generan vínculos con las universidades o centros de investigación para realizar investigaciones puntuales. También existen empresas con un fuerte perfil biotecnológico aplicado al sector como: Monsanto (hoy Bayer), CropScience, Dow AgroSciences, DuPont Pioneer y Syngenta; mismas que son las empresas más importantes en el tema de la biotecnología agrícola. Y grandes jugadores nacionales importantes como Lala, Bachoco, Bimbo, Maseca y Cigatam que son fundamentalmente empresas de alimentos usuarias de biotecnología (Amaro, 2019).

³³ Citado en Oliver & Stezano (2019).

Por otro lado, bajo lo expuesto anteriormente, los límites regulatorios y de percepción social adversa al desarrollo y uso de OGM y la concentración del desarrollo de semillas y productos biotecnológicos por empresas transnacionales; ha llevado a que las empresas mexicanas biotecnológicas (en su mayoría son micro, pequeñas y medianas) se centren en el mercado de biofertilizantes, bioplaguicidas, bioactivos de origen vegetal o microbiano, mejoradores de suelos, desarrollo vegetal, mejoras en cultivos y control fitosanitario (Amaro, 2019); así como proveeduría de insumos para el sector alimentos, de procesos, productos y/o servicios para el sector agroindustrial alimentario, utilizando distintas estrategias (ver tabla 10).

Destacando las empresas agrupadas en organizaciones como el Consejo Mexicano de Agrobiotecnología (CoMabio) y la Asociación de empresas de Biotecnología Industrial Mexicana A.C (EMBIOMEX), donde se ubican empresas medianas de capital nacional con un importante capital social y un componente más tecnológico. También destaca la Asociación de Innovadores Universitarios (agrupa empresas con un perfil de spin-offs) y algunas empresas importantes resultado de proyectos comandados por universidades y centros de investigación; mismas que se han centrado en buscar nichos de mercado olvidados por las empresas transnacionales y responder así a necesidades regionales y nacionales. (Amaro & Sandoval, 2019; Amaro, 2019).

b) Instituciones de investigación y recursos humanos

Dado que los avances tecnológicos en la biotecnología se encuentran ligados fuertemente a la producción del conocimiento científico susceptible de tener alguna aplicación industrial los centros de educación superior y de investigación juegan un papel clave. En México, se puede observar que cuenta con grandes universidades y centros de investigación que realizan una parte considerable de la investigación en biotecnología. Las principales universidades son: la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)³⁴, el Instituto Politécnico Nacional (IPN)³⁵, la Universidad Autónoma Metropolitana (UAM)³⁶, la

³⁴ Cuenta con con el Instituto de Biotecnología (IBT), el Centro de Ciencias Genómicas, el Instituto de Bioquímica, el Instituto de Biología, y las facultades relacionadas con el área, como la Facultad de Biología, la Facultad de Química y la Facultad de Medicina.

³⁵ Se ubican el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA), el Centro de Biotecnología Genómica (CBG), el Centro de Desarrollo de Productos Bióticos (Ceprobi) y el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav), el cual realiza investigaciones en biotecnología en el Laboratorio Nacional de Genómica para la Biodiversidad (Langebio).

³⁶ Cuenta con una División de Ciencias Biológicas y de la Salud que desarrolla investigación relacionada con la biotecnología.

Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM)³⁷ y el Tecnológico de Monterrey (TEC)³⁸; y los principales centros de investigación (CIP)³⁹ relacionados con la biotecnología dependen de alguna secretaría del Estado o del CONACYT, donde se realizan investigación básica y aplicada en varias líneas temáticas (Morales & Amaro, 2017; Jiménez, Reyes & Sánchez, 2019).

Tabla 07: Indicadores de capacidades científicas relacionadas con la biotecnológicas en México

Indicadores de capacidades biotecnológicas	2008	2014-2015	2016-2017
Investigadores en ciencias de la vida	3806		5341
Miembros del SNI en biotecnología y ciencias agropecuarias		3387	3163
Posgrados en Biotecnología (Doctorado y Maestría)	36		55
Posgrados con líneas de Investigación en Biotecnología			138
Alumnos matriculados en Posgrados en biotecnología	842		1405
Egresados de posgrados con líneas de investigación en Biotecnología.			2842
Graduados en doctorado de biotecnología y ciencias agropecuarias		304	390
Gasto Federal en Ciencia y Tecnología en México (MDP)	35,832		87,399
Patentes biotecnológicas		7270	9819
Propietarios mexicanos		72.7	147.24
Centros de Investigación relacionados con la BIO			28
Centros públicos de investigación CONACYT asociados a la biotecnología			11
Asociaciones y organizaciones relacionadas con la BIO			14

³⁷ Se ubican el Centro de Investigación en Biotecnología; el Centro de Investigaciones Biológicas, y el Centro de Investigaciones Químicas.

³⁸ Cuenta con un Centro de Biotecnología donde se trabajan: ingeniería en bioprocesos, biotecnología, farmacéutica médica, químico-biológica, y biotecnología de alimentos.

³⁹ El Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el Colegio de Posgraduados (COLPOS), el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP); el Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán (INNSZ), el Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN), Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A.C. (CIAD), Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C (CIBNOR), Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C (CICESE), Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C (CICY), Instituto de Ecología A.C. (INECOL), Instituto Potosino de Investigación Científica (IPICYT), Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas (CIATEC), Centro de Tecnología Avanzada A.C. (CIATEQ), Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial (CIDESI), Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C (CIDETEQU), Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA).

Clústeres de Biotecnología			5
----------------------------	--	--	---

Fuente: Elaboración propia en base a información del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Asociación Nacional de Instituciones de Educación Superior, la Encuesta sobre Investigación y Desarrollo Tecnológico (Módulo de Biotecnología y Nanotecnología), el Instituto Mexicano de Propiedad Intelectual, Trejo (2010), PROMEXICO y Jiménez (2017).

Además, de las instituciones de investigación mencionadas en el párrafo anterior, que han dinamizado el campo de la biotecnología en México; en la tabla 07, se destaca que México cuenta con un importante número de investigadores incorporados al SNI, programas de licenciatura y posgrado en biotecnología y áreas relacionadas que han contribuido a la creación de conocimiento científico y tecnológico, pero sobre todo a la formación de recursos humanos altamente calificados y especializados en el país. En este sentido, Trejo (2010) y Amaro (2013), concluyen en sus investigaciones lo siguiente: “En México existe una plataforma de conocimientos, recursos humanos, capacidades científicas y programas de formación que si bien aún insuficiente, constituyen un valioso recurso que puede sin duda detonar el desarrollo de la biotecnología productiva en nuestro país”. No obstante, el vínculo entre CPI e IES con las empresas es escaso (Jiménez, Reyes & Sánchez, 2019).

c) Gasto en Investigación y Desarrollo (I+D)

De acuerdo con Villavicencio (2019), a partir del año 2000 que se definieron líneas estratégicas de acción y prioridades en materia de fomento al desarrollo científico, tecnológico y la innovación, se crearon distintos fondos gubernamentales y programas como el Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006 (PECYT) para fomentar la inversión privada en actividades de I+D e innovación. Desde entonces los programas han evolucionado en su diseño y forma de operar, hasta el 2018 había tres programas de Conacyt directamente relacionados con el tema de inversión en I+D e innovación por parte de las empresas. Estos son:

Tabla 08: Programas de Conacyt para fomentar la inversión en I+D e innovación
<ul style="list-style-type: none"> • El programa de Estímulos Fiscales a la Inversión en Investigación y Desarrollo Tecnológico (EFIFIT), durante la primera década del siglo hasta el 2008, cambió nombre un par de veces y fue reactivado con nuevas modalidades a fines de 2017. • El Fondo de Innovación Tecnológica (FIT) coadministrado entre Conacyt y la Secretaría de Economía, inició a principios de la década pasada con otro nombre pero que ha tenido continuidad hasta nuestros días. • El Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) con tres modalidades (IINOVAPY, INNOVATEC y PROINNOVA), creado en 2009.

Fuente: Villavicencio (2019)

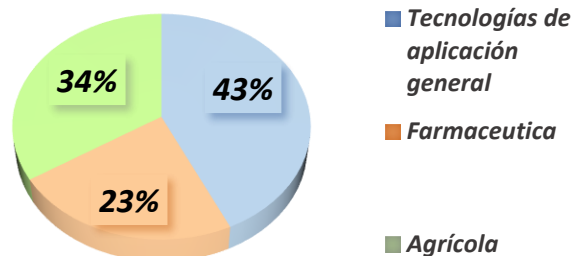
A través del PEI en sus distintas modalidades se han apoyado proyectos de desarrollo biotecnológico, de 2009 a 2015 se han destinado 1,001 millones de pesos a proyectos de

biotecnología y al cierre de junio de 2017 través de los Fondos Mixtos (Conacyt en combinación con Gobiernos Estatales) se han apoyado a 1258 proyectos en biotecnología, lo que representa el 21.49% del total de proyectos apoyados; de igual forma se han apoyado proyectos biotecnológicos a través del FIT y FINNOVA (PROMÉXICO, 2017). Para el 2017, según la OCDE (2019), el gasto empresarial de México en I+D en biotecnología fue de 127.0 mdd y el gasto público de 150.3 mdd; en términos generales el gasto en I+D en biotecnología ha aumentado en los últimos años, pero en comparación con el gasto realizado por los países de la OCDE, México se encuentra en penúltimo lugar.

d) Patentes y derechos de obtentor

En una industria como la biotecnología intensiva en conocimiento valorizado en el mercado que requiere fuertes inversiones de alto riesgo para producir nuevos procesos y productos con oportunidad de mercado, mientras que su imitación es relativamente sencilla y el costo es relativamente bajo; se necesitan incentivos para la innovación. Es por ello, que la propiedad intelectual juega un papel clave, ya que es un modo de asegurar que las empresas biotecnológicas puedan apropiarse de los resultados de su I+D y reducir la probabilidad de ser imitados por la competencia (Burrone, 2006; Solleiro & Briseño, 2003).

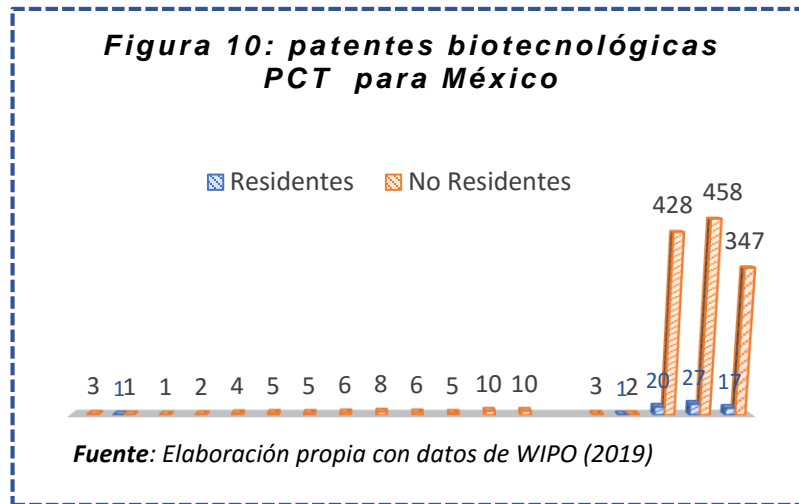
Figura 09: Distribución de patentes con titulares mexicanos en IMPI (2009-2014)



Fuente: Stezano *et al.* (2019)

Para el caso de México, entre 1980 y 2000 se concedieron 742 patentes en biotecnología y se registraron 1813 solicitudes publicadas (1991-2001); de las patentes concedidas el 96% de los solicitantes fueron titulares extranjeros (empresas estadounidenses, japonesas y en menor grado europeas); estas patentes cubrieron los campos principalmente de la medicina humana y animal, agricultura, alimentos y bebidas fermentadas (Solleiro & Briseño, 2003).

Datos más actuales evidencian una tendencia similar, para el periodo 2009-2014, de los 7270 registros de patentes biotecnológicas en el IMPI⁴⁰, sólo el 1% perteneció a titulares



mexicanos y la distribución por áreas varió muy poco (ver figura 09); los agentes nacionales que más patentan son las universidades y los centros de investigación (Stezano, Morales, & Amaro, 2019). Para el año 2018 se registraron 364 patentes biotecnológicas PTC para

México, 17 de titulares mexicanos y 347 de extranjeras (ver figura 10).

El trabajo Morales & Manzano (2019) corroboran esa información, a través de una base de CIPS⁴¹ relacionados con la biotecnología identifican 8382 patentes biotecnológicas concedidas por el IMPI entre 1995 y 2015. Sus resultados muestran que seis países concentran la mitad de las patentes otorgadas (76% de las patentes fueron otorgadas a organismos localizados en Estados Unidos y Europa.): Estados Unidos figura en primer lugar con 4211 patentes, seguido por 2161 patentes que suman las patentes de Alemania, Suiza, Francia, Japón y Países Bajos, otros con 1842 y México con 168. Se otorgó derechos de propiedad especialmente a “métodos”⁴² en materia de biotecnología, de igual manera el escenario de la biotecnología de titulares mexicanos de patentes también se inclina hacia el proceso más que el producto.

Para el caso particular de la biotecnología agrícola en México se observa que de 2336 patentes (CIPS: C12N y A01H), el 52% pertenece a empresas estadounidenses, seguidas por empresas alemanas y suizas, mientras que el 1.58% representa las patentes de agentes mexicanos; caso similar ocurre con los inventores, dado que 50% son

⁴⁰ Incluyen los CIPS que más patentes registran en IMPI: C12N, C12Q, C12P, A61K38/00, A61K39/00, C07K14/00, C07K16/00.

⁴¹ Incluyen los CIPS: A01H4/00, A61K38/00, A61K39/00, A61K48/00, C02F3/34, C07G11/00, C07G13/00, C07G15/00, C07K4/00, C07K14/00, C07K16/00, C07K17/00, C07K19/00, C12M, C12N, C12P, C12Q, G01N27/327, G01N33/53, G01N33/54, G01N33/55, G01N33/57, G01N33/68, G01N33/74, G01N33/76, G01N33/78, G01N33/88, G01N33/92.

⁴² Esta palabra puede referir a métodos diversos utilizados en diferentes técnicas biotecnológicas, pero se atribuye a tecnologías variadas de propósito general (Morales & Manzano, 2019).

estadounidenses y solo el 2% mexicanos. De las empresas que más patentan biotecnología agrícola en México destacan: Monsanto⁴³, la cual es una empresa estadounidense dedicada a la producción de agroquímicos, semillas mejoradas y productos biotecnológicos para la producción de agroquímicos; Pioneer originaria de EEUU con una filiar en México, especializada en la producción de plantas genéticamente modificadas, semillas y apoyo agronómico en general; y Danisco, empresa de origen danés líder en la producción de ingredientes para alimentos, enzimas, aditivos, azúcar y edulcorantes⁴⁴ (Reyes, Morales & Amaro, 2015).

En términos generales, en materia de patentes México ha tenido un progreso marginal al pasar de 0.04% de participación de patentes globales en biotecnología en el año 2000, a 0.12% en el 2014, pero sigue estando en los últimos lugares a nivel mundial (Morales & Díaz, 2019). No obstante, en cuanto a los derechos de obtentores vegetales para la biotecnología agrícola en México han tenido una cara más positiva, ya que el 35% de registros son para nacionales, seguido de un 34% para estadounidenses, 16% para holandeses y 4% para franceses (Reyes, Morales & Amaro, 2015).

d) Marco Regulatorio

En la biotecnología, uno de los primeros pasos para afrontar y aprovechar una posible ventana de oportunidad es la generación de un ambiente propicio que incentive o desincentive la actividad inventiva al mismo tiempo que incentive la conducta de los diversos agentes y organismos encargados de diseñar y ejecutar normas y reglas que conforman un marco institucional de fomento y regulación; cuando hablamos de incentivos o desincentivos se contempla el ambiente necesario para la protección de los derechos de uso y comercialización a quienes crean y mejoran el conocimiento técnico de una sociedad (Reyes, Morales & Amaro, 2015).

De acuerdo con Amaro & Villavicencio (2015) en lo que respecta al marco regulatorio o normativo en México, se han adoptado diversas recomendaciones que derivan de organismos internacionales, como el Convenio sobre la Diversidad Biológica y el Protocolo de Cartagena; la Organización Mundial de la Salud (OMS); la Convención Internacional de Protección Fitosanitaria (IPPC); la Organización Norteamericana de Protección de Plantas (NAPPO), que desarrolla la Norma Regional sobre Medidas Fitosanitarias (NRMF NO. 14);

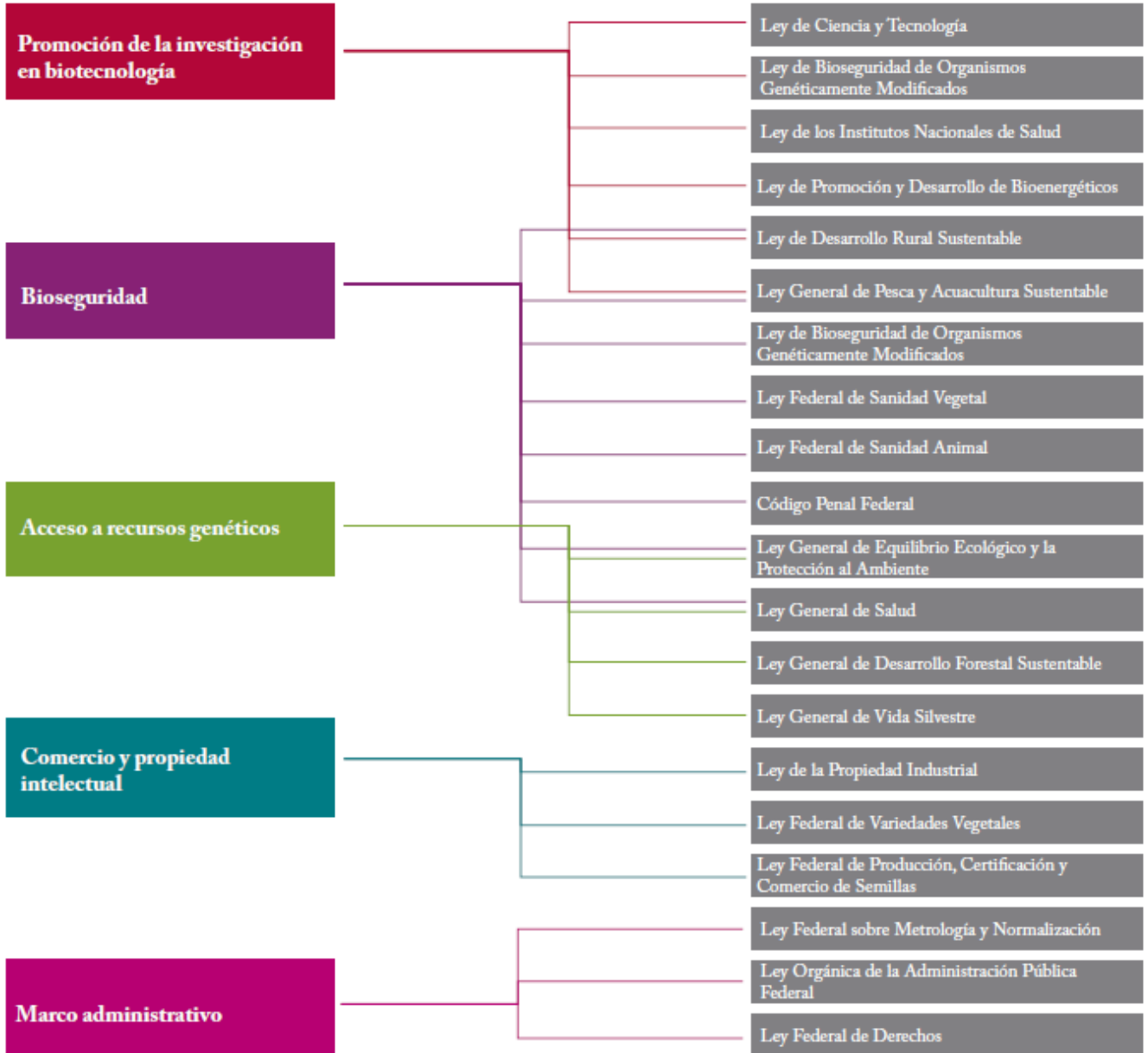
⁴³ Adquirida por Bayer.

⁴⁴ Pioneer y Danisco pertenecen al conglomerado de la empresa DuPont.

la Organización Mundial para la Salud Animal (OIE), la Comisión del Codex Alimentarius, y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Sin embargo, no existe un cumplimiento cabal de los acuerdos allí establecidos, el trabajo de campo de los autores evidencia que pocos agentes y organizaciones conocen este tipo de reglamentación y aún menos la consideran. Es necesario destacar que México también cuenta con marcos regulatorios propios que integran diversas leyes (ver figura 11).

Siguiendo a los mismos autores, los organismos que canalizan el marco regulatorio en México son: la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM); la Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO); la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS), y la Comisión Nacional de Bioética (CNB). Los cuales desarrollan funciones diversas, pero se concentran fundamentalmente en la regulación de la producción y el uso de organismos genéticamente modificados; en políticas de producción, importación, exportación, movilización, propagación, liberación, consumo, uso y aprovechamiento de diversos organismos, y en la regulación y supervisión del empleo de diversos productos en la salud humana.

Figura 11: Marco Regulatorio de la Industria Biotecnológica en México



Fuente: ProMéxico (2014).

Por otro lado, según Reyes, Morales & Amaro (2015) para el caso de México se produjeron cambios importantes en relación con la propiedad intelectual a partir de la incorporación del país al GATT en 1986, dado que este exigía, entre otras cosas un sistema de propiedad intelectual fuerte, el cual incentive la innovación, pero sobre todo proteja los derechos de uso y comercialización del conocimiento producido por particulares. En materia biotecnológica se establecen al menos cuatro cambios importantes en propiedad intelectual derivados de este acuerdo.

- Ley de Invenciones y Marcas (1987), la cual permite el patentamiento en productos químicos, farmacéuticos, alimenticios y algunos de procedencia biotecnológica.
- Ley de Fomento y Protección a la propiedad Industrial (1991), se propone como materia patentable a las variedades vegetales, aunque el material genético tal como se encuentra en la naturaleza no es materia patentable.
- (*)⁴⁵ Ley Federal de Protección a la propiedad Industrial (2020), moderniza su marco legal para responder a los retos del siglo XXI para promover la innovación, al tiempo que cumple con sus compromisos internacionales (T-MEC y TIPAT).
- Ley Federal de Variedades Vegetales (1996), la cual rige la protección, comercialización y fomento para la mejora en semillas y material vegetativo.

En cuanto, a la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente modificados (LBOGM), México representa un avance significativo en diversos aspectos, por ejemplo, el trabajo de evaluación que se realiza en conjunto con la Secretaría de Salud ha permitido concluir si un alimento es igualmente seguro y nutritivo que el producto homólogo convencional con el que se le ha comparado. Del mismo modo, la Ley Federal de Variedades Vegetales ha propiciado incentivos para generar condiciones de mercado favorables, al reconocer una serie de derechos para los obtentores como el periodo de explotación (18 años).

Pero también observamos la otra cara de la moneda, pese a que CIBIOGEM y la CNB mantienen una relación directa con el quehacer de la biotecnología, en especial con la producción agrícola y alimentaria, y han realizado una serie importante de actividades de regulación sobre el tema, poco inciden en la investigación que se realiza en los desarrollos tecnológicos de las empresas (Amaro & Villavicencio, 2015). Finalmente, bajo la luz del marco regulatorio en México en materia biotecnológico, se puede inferir que, pese a que existen esfuerzos importantes por impulsar la innovación biotecnológica, el marco regulatorio aún es débil para fomentar una mayor actividad biotecnológica, poco ha incidido en el diseño e implementación de políticas y más bien ha favorecido la homogenización con la legislación internacional.

En conclusión, el panorama general de la biotecnología en México nos muestra dos caras. Por un lado, el país cuenta con una sólida plataforma de conocimientos, recursos humanos calificados, IES y CI equipados y capacidades científicas, que si bien aún insuficiente, constituyen un recurso clave que puede detonar el desarrollo biotecnológico productivo del país; cuenta además con gran diversidad de ecosistemas, especies, recursos genéticos y

⁴⁵ Ley promulgada el 1 de julio de 2020, entró en vigor el 5 de noviembre de 2020 y quedó abrogada la Ley de Propiedad Industrial (1994).

biológicos que son la base para potenciales desarrollos biotecnológicos y capacidades tecnológicas desarrolladas por algunas empresas.

Por otro lado, pese a que hay distintos esfuerzos, el gasto en I+D, la patentabilidad y derechos de obtentor, el financiamiento público, las actividades de regulación y la vinculación entre academia-empresa exhiben un desempeño débil y limitado; sumado a lo anterior, no existen políticas públicas con direccionalidad, estrategias u objetivos establecidos claramente en materia biotecnológica relacionada con el sector agroindustrial alimentario que incentive la innovación

Entonces, se observa que hay un rezago de México en comparación con otros países que desarrollan biotecnología. No obstante, hay factores, condiciones y actores que pueden detonar el despliegue de la biotecnología siempre y cuando trabajen en sinergia guiados por una estrategia nacional. Lo presentado anteriormente es una radiografía de qué es, cómo se comporta, los incentivos y barreres para el desarrollo de la biotecnología en México; ahora hace falta estudiar a profundidad algunas empresas para contextualizar mejorar y complementar este panorama. Por ello, el capítulo siguiente es clave para poder delimitar la investigación, seleccionar el método, técnica y objeto de estudio, definir el sector agroindustrial alimentario relacionado con la biotecnología y clasificar a las empresas biotecnológicas, mismas que después de ser estudiadas complementarán este capítulo.

3. Construcción metodológica

El presente capítulo tiene la finalidad de plantear ampliamente la construcción metodológica realizada para abordar la investigación, cómo se ha caracterizado aquí al objeto de estudio, las características de la investigación, los métodos y herramientas empleadas para su análisis una vez definida y las variables que se consideraron para el análisis de las capacidades tecnológicas. En este sentido, el capítulo aborda los siguientes aspectos: objetivos y preguntas de investigación, características de la investigación, definición del sector agroindustrial alimentario, universo de estudio, método de estudio, selección de estudios de caso, técnicas para recolectar la información, el trabajo de campo y la adaptación de la matriz de capacidades tecnológicas.

3.1. Objetivo y preguntas de investigación

Objetivo de la investigación

El trabajo de investigación tiene como objetivo caracterizar y analizar las capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario.

Preguntas de investigación

- ¿Qué tipo de capacidades tecnológicas desarrollan las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario?
- ¿Qué factores y relaciones determinan el nivel de capacidad tecnológica que desarrollan las empresas biotecnológicas mexicanas del sector agroindustrial alimentario?

3.2. Características de la investigación

Hay distintos tipos de investigación: cuantitativa y cualitativa; que, dependiendo del fenómeno de estudio, de las preguntas de investigación y del tipo de información disponible se puede hacer uso de uno, otro o ambos. El estilo de la investigación cuantitativa tiene carácter numérico, utilizan análisis de distribución, tienen fines predictivos, pretenden comprobar hipótesis causales y llegar a generalizaciones; por el contrario, el estilo de la investigación cualitativa abarca una amplia gama de enfoques, visión de los actores,

análisis contextual, significado de las relaciones sociales y pretende comprender e interpretar (Vela Peón, 2001; King, Keohane, & Verba, 2012).

Dicho esto, la presente investigación es de corte analítico-cualitativo dado que tiene como objetivo analizar y caracterizar las capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario a través del método de estudio de casos múltiples bajo una lógica comparativa en el diseño de la investigación; para ello se hará uso de información secundaria y primaria recolectada a través de la técnica de la entrevista semiestructurada.

La investigación cualitativa abarca varios enfoques, pero ninguno proporciona medidas numéricas, se centran generalmente en el estudio de un caso o en un reducido número de ellos, utiliza entrevistas a profundidad, observación participante, grupos focales y análisis detallado de materiales históricos; se distingue de la tradición cuantitativa en la forma de la recolección de la información, construcción de las observaciones, los modos que asume el análisis, los procedimientos para obtener confiabilidad y validez, así como en la elaboración de interpretaciones, asentada normalmente en un pensamiento humanista-discursivo y en argumentos teóricos que privilegian la comprensión de significados (Tarrés, 2015; King Keohane & Verba, 2012; Canales, 2006).

La peculiaridad de las técnicas cualitativas orientadas a recoger información sobre “la palabra escrita o hablada de las personas, la conducta observada” (Taylor & Bogdan, 1996), radica en la relación del investigador con la investigación en el proceso de acopio de información, ya que éste permanece activo social e intelectualmente durante el proceso. Esto implica capacidad de empatía, reflexión, intervención y control por parte del investigador para orientar su trabajo y obtener la información relevante para su investigación. Por último, los estudios cualitativos no pretenden generalizar sus resultados a una población, sino establecer relaciones y significados de un tema determinado; de ahí que la generalización de resultados cualitativos tiende a concebirse como avances o hipótesis que explican la realidad en espera de nuevos resultados que permitan interpretaciones más completas del problema de investigación (Tarrés, 2015).

3.3. Definición del sector agroindustrial-alimentario y técnicas biotecnológicas asociadas

Como parte del diseño metodológico se ha elaborado una definición del sector agroindustrial alimentario y las técnicas biotecnológicas principales asociadas a este. El

sector agroindustrial alimentario puede definirse de manera tradicional como la producción de granos, semillas, hortalizas, verduras, frutales, cítricos, entre otros, mediante cultivos orgánicos, transgénicos o de otro tipo con el fin de obtener alimentos para consumo humano o animal; así como la transformación de lo producido por la agricultura en productos elaborados de consumo e intermedios (alimentos, bebidas) o para ser utilizados en procesos industriales que implica elaborar, conservar, envasar, almacenar y comercializar. Este sector también incluye la fabricación de productos agrícolas básicos y secundarios para la nutrición, protección y control de cultivos agrícolas a través de procesos orgánicos y biotecnológicos (INEGI, 2012; SE, 2010).

Para definir el sector agroindustrial alimentario fue necesario tener en cuenta elementos conceptuales de las actividades económicas del sector primario (referente a la agricultura) y el sector secundario (referente a las industrias: alimentaria, de la bebida y química) y realizar una combinación de estas. A partir de la clasificación que realiza el INEGI, se consideran las unidades económicas dedicadas a las actividades de la agricultura (1011), industria alimentaria (3110), industria de la bebida (3120), y la industria química (3250) relacionadas con el sector agroindustrial-alimentario donde la biotecnología verde y amarilla tiene campo de aplicación (ver tabla 09).

Tabla 09: Unidades económicas dedicadas a las actividades del sector agroindustrial-alimentario

AGRICULTURA
<ul style="list-style-type: none"> • Cultivos orgánicos, transgénicos o de otro tipo (granos, semillas, frutas, verduras, cítricos, entre otros). • La producción de semillas y variedades vegetales derivadas del mejoramiento tradicional. • La producción de plantitas de almácigo, materiales de propagación. • La obtención de savia de maple, chicle y latex en plantaciones, obtención de aguamiel. • Los viveros o invernaderos y la acuicultura vegetal. • Insumos y sistemas para el manejo agronómico.
INDUSTRIA DE ALIMENTOS
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de azúcar, piloncillo, dulces a base de leche, chocolates y productos de confitería. • Concentrados, polvos, jarabes y esencias de sabor para bebidas, envasado de miel, saborizantes y colorantes naturales para alimentos. • Elaboración de malta de cebada, maíz, arroz, trigo y otros vegetales. • Beneficios de café, arroz, cacao y té. • Elaboración de alimentos para animales y forrajes preparados. • Elaboración de alimentos frescos, alimentos elaborados, productos lácteos y alimentos funcionales.

INDUSTRIA DE LA BEBIDA
<ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de refrescos y bebidas alcohólicas como cervezas, brandys, sidra, ron, tequila, mezcal, etc.
INDUSTRIA QUÍMICA
<ul style="list-style-type: none"> • Fertilizantes nitrogenados, fosfatados, biológicos, procesados o de otro tipo. • Bioherbicidas, biofungicidas, biofertilizante, bioplaguicidas, productos antigerminantes, reguladores del crecimiento de plantas y nutrientes del suelo.

Fuente: Elaboración propia con base a "Clasificación para actividades económicas" de INEGI (2012) y SE (2010).

La biotecnología moderna al ser una tecnología transversal que se refiere a "toda aplicación tecnológica que utilice sistemas biológicos y organismos vivos o sus derivados para la creación o modificación de productos o procesos para usos específicos" (Ruane y Zimmermann, 2003), tiene aplicaciones en varios ámbitos y sectores. En la actualidad, muchas de las innovaciones que están revolucionando la agricultura y la industria alimentaria y de bebidas hacen referencia a la incorporación de nuevos conocimientos, tecnologías, insumos y técnicas biotecnológicas en la investigación, producción, procesamiento y comercialización de productos agroindustriales y alimenticios; es decir, a la aplicación de la biotecnología verde y amarilla (ver figura 02). Dado que en este trabajo se analizan empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial-alimentario, es importante realizar un esfuerzo de acercamiento a las tecnologías, procesos y técnicas biotecnológicas asociadas a este sector (ver tabla 10).

Tabla 10: Técnicas biotecnológicas usadas en el sector agroindustrial alimentario

Técnicas y procesos biotecnológicos	Aplicaciones
ADN / ARN (código genético)	Análisis y modificación de material genético
<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento de genes. • Secuenciación de genomas, genes y ADN. • Síntesis y amplificación de ADN y ARN. • Expresión de ADN. • Genómica, fenómica, transcriptómica e ingeniería genética. 	
Unidades funcionales: Proteínas y otras moléculas	Análisis y modificación de proteínas
<ul style="list-style-type: none"> • Secuenciación, síntesis, ingeniería de proteínas recombinantes • Aislamiento y purificación de proteínas. • Proteómica, metagenómicas y biocatálisis. 	

Cultivos de ingeniería celular y tisular	Manipulación de células con diversos propósitos
<ul style="list-style-type: none"> • Cultivo celular y de tejidos y fisiología celular microbiana. • Fitomejoramiento a través de ingeniería genética. • Biobalística, biología molecular de plantas. • Hibridación somática y fusión celular. • Estimulantes inmunes y vacunas orales en plantas. 	
Bioprocesos	Aplicaciones a procesos de fermentación
<ul style="list-style-type: none"> • Fermentación usando bio-fermentadores /bio-redactores. • Bioprocesos microbianos e ingeniería bioquímica. • Mutagénesis al azar 	
Bioinformática	Análisis de datos biológicos

Fuente: Elaboración propia con información de OECD (2005), (Gutman, 2010) y (Bolívar, 2007)

3.4 Universo de estudio

Debido a la complejidad metodológica para identificar a las empresas mexicanas biotecnológicas, existe gran divergencia en los datos presentados sobre estas en México. Amaro & Natera (2020) identifica 194, PROMEXICO (2016) reporta 180 y Trejo (2010) encuentra de 300 a 400 empresas, sin distinguir entre usuarias, desarrolladoras o las que prestan servicios o suministros biotecnológicos; por su parte, Stezano *et all.* (2019), Morales & Díaz (2019) encuentran respectivamente 53 y 40 empresas productoras de biotecnología utilizando la encuesta de Red Temática de Convergencia. La mayoría de los estudios reconocen que son pocas las que realizan I+D propio, los sectores industriales con mayor desarrollo, uso y aplicación son la industria, alimentación, agricultura y productos farmacéuticos; así mismo, la industria está ampliamente dominada por empresas transnacionales, con importantes barreras de entrada para las empresas biotecnológicas mexicanas (Amaro & Natera, 2020).

Partiendo de la base de datos de empresas biotecnológicas elaborado en el marco de los Proyectos PAPIIT IA300818 “Procesos sociales en la producción de la ciencia, la tecnología y la innovación biotecnológica en México” y PAPIIT IA300620 “Capacidades tecnológicas, instituciones e innovación en la biotecnología agro-industrial y farmacéutica en México”⁴⁶, del padrón de beneficiarios del Fondo de Innovación Tecnológica Secretaría de Economía-CONACYT (2002-2018), así como de la definición de empresas

⁴⁶ Proyectos PAPIIT IA300818 e IA300620 a cargo de la Doctora Marcela Amaro Rosales en el Instituto de Investigaciones Sociales de la UNAM.

biotecnológicas de la OECD (2005)⁴⁷, se ha elaborado una preclasificación de las empresas biotecnológicas⁴⁸ mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial-alimentario que conforman el universo de estudio de la investigación. Se han tomado en cuenta solo empresas mexicanas en el rubro de biotecnología verde y amarilla (relacionadas con el sector agrícola y alimentario), ya sea empresas activas en biotecnología, dedicadas a la biotecnología o biotecnológicas innovadoras, realizan I+D interna y vía cooperación con IES y generan capacidades tecnológicas. Se ha excluido a empresas que son usuarias o comercializadoras de biotecnología, así como empresas extranjeras con filiales en México⁴⁹ (ver tabla 11).

Tabla 11: Empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario

EMPRESAS	TECNOLOGÍA	ESTRATEGIA DE MERCADO	ESTRATEGIA TECNOLÓGICA	TIPO DE EMPRESA BIOTECNOLÓGICA
NEKUTLI	Alimentos	Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y nacionales	Cooperación en I+D con Instituciones de Educación Superior	activa en biotecnología
BIOMEX				desarrolladora de biotecnología
ALNUBIO				
ENMEX				
ALTECSA	Alimentos	Desarrollo de productos innovadores para demandas nacionales e internacionales	I+D interna con cooperación en I+D con IES	activa en biotecnología
METCO	Alimentos			
KURAGO BIOTEK	alimentos funcionales			biotecnológica innovadora
RICAP SA DE CV	funcionales			
GABSA				

⁴⁷ **Empresa activa en biotecnología:** Empresa que aplica una de las técnicas biotecnológicas previamente definidas en la producción de bienes o servicios y/o la ejecución de I+D biotecnológica. **Empresa dedicada a la biotecnología:** Empresa activa en biotecnología cuya actividad predominante involucra la aplicación de técnicas biotecnológicas en la producción de bienes o servicios y/o en la ejecución de I+D biotecnológica.

Empresa biotecnológica innovadora: Empresa activa en biotecnología que aplica técnicas biotecnológicas para la implementación de productos o procesos nuevos o significativamente mejorados (tal como se definen en el Manual de Oslo).

⁴⁸ Es importante mencionar que en esta investigación cuando se hace referencia a empresas biotecnológicas se tiene en cuenta la clasificación de la OECD, pueden ser activas, desarrolladoras o innovadoras.

⁴⁹ Se ha tomado la decisión metodológica de excluir a esas empresas por las siguientes razones: las estrategias de crecimiento que sigan estas empresas y segmentos del mercado a los que se enfocan son totalmente distintas a las aplicadas por las empresas nacionales, es decir, no son competidores directos; los principales desarrollos biotecnológicos los realizan en sus casas matrices en países como México solo aplican etapas finales de I+D para adaptar los productos a las condiciones del país; en este sentido, importan capacidades tecnológicas, no las generan como tal en el país. Y como el objetivo de la investigación es analizar a empresas mexicanas (referente al capital más no al territorio) las ETN quedan fuera, pero sería interesante estudiarlas en futuras investigaciones.

LABORATORIOS MINKAB SA DE CV	alimentos para animales	Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y nacionales		desarrolladora de biotecnología
AGRIBEST	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y nacionales	Áreas dedicadas a la I+D propia, con cooperación en I+D con Instituciones de Educación Superior	Desarrolladora de biotecnología
ALIBIO	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores para demandas nacionales e internacionales		
NSIP	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores para demandas nacionales y servicios de asesoría técnica		
LIDAG	Agrícola			
Gruindag	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores para demandas nacionales e internacionales		
Biofábrica Siglo XXI	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores para demandas regionales y nacionales	áreas dedicadas a I+D con cooperación	biotecnológica innovadora
Berni Labs	Agrícola			
Altus Biopharm	Agrícola			
BIOAMIN	Agrícola			
BIOTEKSA	Agrícola		I+D interna y cooperación en I+D con IED	activa en biotecnología
ABIOSA	Agrícola			
LABORATORIOS QUIVER SA DE CV	Agrícola	Desarrollo innovador de cultivos y procesos para demandas nacionales e internacionales	Cooperación en I+D con Instituciones de Educación Superior	desarrolladora de biotecnología
BIOGENETICA MEXICANA	Agrícola			
Agro&Biotecnia	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores sustitutos regionales y nacionales		
APPLIED BIOTEC	Agrícola			
Green Corp Biorganix	Agrícola	Desarrollo de productos innovadores para demandas nacionales e internacionales	I+D interna y cooperación en I+D con IED	biotecnológica innovadora
STELA GENOMICS	Agrícola			
BIOQUALITUM	Agrícola y Plataforma de Servicios	Desarrollo de productos innovadores para demandas nacionales y servicios de asesoría técnica		
BIOKRONE				
MAALEM				

ALBIOMAR	Acuícola para la agricultura	Desarrollo de productos innovadores sustitutos regionales y nacionales		activa en biotecnología
AQUANIMALS S DE RL DE CV				
NUTRAVIA	Plataforma de Servicios y alimentos	Desarrollo de soluciones, mejoras tecnológicas, plataforma de análisis y estrategia en el área de biotecnología de alimentos	I+D interna y cooperación en I+D con IED	desarrolladora de biotecnología
Nutrimentos Vegetales S.A.	Agrícola y Plataforma de Servicios	Desarrollo de soluciones, mejoras tecnológicas, plataforma de análisis y soluciones en el área de biotecnología agrícola		
Alfa Grupo Tecnológico				
MICRODIVERSA	Plataforma de Servicios	Desarrollo de soluciones, mejoras tecnológicas, plataforma de análisis y estrategia en el área de Biotecnología de alimentos y farmacéutica		

Fuente: Basado en Stezano et al. (2019) con modificaciones propias a partir de información proveniente de: Trejo (2010), Amaro (2019), Amaro & Sandoval (2019), Proyectos PAPIIT y padrón de Beneficiarios del Fondo de Innovación

Se han identificado 35 empresas mexicanas biotecnológicas con estas características de las cuales: 11 su tecnología biotecnológica es en alimentos (funcionales, elaborados para consumo humano y animal), de 19 es agrícola (transgénicos, producción de semillas utilizando herramientas moleculares, micropropagación, técnicas de fermentación y otras para producir biofertilizantes, bioinsecticidas, mejoradores de suelo, inoculantes, servicios agronómicos, etc.), de dos es acuícola (para la agricultura) y de cinco es plataforma de servicios (soluciones en el área de biotecnología agrícola y alimentaria).

Metco, Abiosa, Biogenetica mexicana, Bioteksa, Nutravia, Alfa Grupo Tecnológico, Agro&Biotecnia, Altecsa, Kurago Biotek, Ricap Gabsa, Minkab, Biofábrica Siglo XXI, BIOTEKSA, Stela Genomics, Biokrine, Maalem y Microdiversa tienen como estrategia tecnológica I+D propia con cooperación en I+D con instituciones de educación superior (IES); otras empresas agrupadas en COMABIO (Agribest, Alibio, NSIP, Lidag, Altus Biopharm, Gruindag, y Berni Labs), tienen una característica particular pese a no dedicarse a la I+D tienen áreas que se dedican a ello; las demás empresas desarrollan su tecnología en base a cooperación en I+D con empresas, IES y centros de investigación. De las

empresas analizadas, la mayoría son empresas dedicadas a la biotecnología, es decir, empresas cuya actividad predominante involucra la aplicación de técnicas biotecnológicas en la producción de bienes y/o servicios, se han centrado en buscar nichos de mercados olvidados por las empresas transnacionales y responder así a necesidades regionales y/o nacionales.

El universo de estudio de esta investigación implica las empresas descritas párrafos arriba, las cuales por sus características suponemos que desarrollan capacidades tecnológicas que les permite ser más competitivas en el mercado. En este sentido, es pertinente realizar el análisis de capacidades tecnológicas en estas empresas para fines de nuestra investigación; no obstante, por cuestiones de recursos, tiempo y ubicación geográfica de las empresas se estudiarán algunas de ellas a profundidad. Los criterios de selección se especifican en el apartado del método (estudio de casos múltiples).

3.5. Método: estudio de casos múltiple

Cómo la biotecnología moderna es una tecnología emergente en México, la investigación es pertinente a nivel microeconómico, en este caso particular nos permitirá comprender un fenómeno bien delimitado que no ha sido ampliamente abordado (estado exploratorio) como lo son las capacidades tecnológicas en empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas al sector agroindustrial alimentario. Con ello se aportará evidencia empírica y al abordaje teórico-metodológico de una matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología.

Se utilizará el método de estudio de casos múltiples para dar respuesta al objetivo de investigación. El estudio de casos múltiples representa una herramienta útil para desarrollar teoría porque permite la replicación, la corroboración de proposiciones específicas y la extensión de casos individuales; la lógica de la replicación⁵⁰ está guiada por la búsqueda de resultados similares (replicación literal) o por resultados contrastantes, pero con conocimiento determinado a partir de un marco teórico (replicación teórica). Pese a que demandan más recursos y tiempo, tienen la ventaja de que la evidencia y los resultados obtenidos se consideran más convincentes, sólidos y robustos, permitiendo lidiar en mejor

⁵⁰ Capacidad para contrastar y contestar las respuestas que se obtienen en cada caso que se esté analizando (Yin, 1994).

medida con los problemas asociados al rigor científico (Martínez, 2006; Gomm, Hammersley & Foster, 2009; Tarrés, 2015).

Algunos autores consideran que el estudio de casos múltiples es una variante del estudio de caso que permite estudiar más de una unidad de análisis para entender la realidad que se desea explorar, describir o explicar, proporcionando las bases para la generalización analítica (Eisenhardt, 1989; Yin, 1994; Rule & Mitchell, 2015⁵¹); es importante tener en cuenta que en los casos múltiples la elección de los casos debe estar en función a la importancia o revelación que cada caso, en concreto puede aportar al estudio en su totalidad, y no a la rareza de los mismos. Mientras que autores como “Ragin (1992; 2011) consideran el estudio de casos múltiples como un método comparativo porque su estrategia permite comparar⁵² al examinar los patrones similares y diferenciales entre un número moderado de casos, siendo una característica fundamental de los métodos comparativos”⁵³.

Respecto a la selección del caso, en el estudio de caso no se selecciona una muestra representativa de una población sino una muestra teórica. Así, “el objetivo de la muestra teórica es elegir casos que probablemente pueden replicar o extender la teoría emergente” (Eisenhardt, 1989). En la investigación, el universo de estudio son 35 empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario con ciertas características compartidas descritas en el apartado anterior; sin embargo, por restricciones de tiempo y de recursos es complicado estudiar a las 35 empresas por lo que se aplica la metodología de estudios de caso múltiple, donde se observa distintas variables dentro de cada unidad de análisis en un solo punto del tiempo, y son casos con variación ya que comparten características afines pero con diferencias en algunas dimensiones (tamaño de la empresa, ubicación, producto y/o servicio biotecnológico, capacidades).

Se ha considerado conveniente seleccionar algunos estudios de caso bajo los siguientes criterios: fundamentalmente basados en la expectativa sobre su contenido de información y su potencial explicativo, la ubicación geográfica (cercanas a la ciudad de México), acceso a las empresas (algunos contactos para ciertos casos) y la antigüedad en el mercado

⁵¹ Citado en Ponce (2018).

⁵² La comparación es una actividad humana natural, comprendemos una realidad mediante su comparación con otras. En los estudios de caso se realizan comparaciones explícitas e implícitas (Landman, 2014).

⁵³ Citado en Ponce (2018).

mínimo de 8 años. En el rubro de la tecnología de alimentos hay pocas empresas y son por lo general maduras, entonces se seleccionó a las más representativas por la tecnología biotecnológica asociada. Mientras que en la tecnología agrícola hay mayor variedad en distintas dimensiones, por lo que se tomó en cuenta las más representativas por tamaño y antigüedad de las empresa y tecnología biotecnológica asociada. A continuación, se realiza una descripción breve de los casos de estudio seleccionados (ver figura 12 y 13). Es importante mencionar que se han clasificado a las empresas no por sus técnicas biotecnológicas asociadas, sino por la relación de sus productos con el sector ya sea agroindustrial o de alimentos.

Por otro lado, para poder vincular los conceptos con los datos se ha realizado el proceso de codificación. Este proceso es fundamental para organizar los datos cualitativos, constituye la materia prima del análisis, permite identificar datos significativos y establecer escenarios para interpretar y sacar conclusiones. Los códigos permitirán generar vínculos entre segmentos particulares de datos y las categorías que queremos usar a fin de conceptualizar esos segmentos. Primero se ha realizado la codificación abierta⁵⁴, es decir, los datos se han descompuesto en partes discretas, se examinan los conceptos⁵⁵ y las categorías⁵⁶ a fin de conceptualizar⁵⁷; después se ha realizado la codificación axial⁵⁸, reagrupando los datos que se fracturaron en la codificación previa a fin de relacionar las categorías con sus propiedades y dimensiones (Coffey & Atkinson, 2003).

⁵⁴ Proceso analítico por medio del cual se identifican conceptos y se descubren en los datos sus propiedades y dimensiones

⁵⁵ Basados fundamentalmente en la teoría.

⁵⁶ Conceptos que representan fenómenos (agrupación de conceptos bajo términos explicativos), describen problemas, asuntos, temas pertinentes de lo que estudiamos.

⁵⁷ Fenómeno que se le ha puesto una etiqueta (sucesos similares bajo un encabezado clarificativo común).

⁵⁸ Proceso de relacionar las categorías a sus subcategorías, denominado axial porque la codificación ocurre alrededor del eje de una categoría y enlaza las categorías en cuanto a sus propiedades y dimensiones.

Figura 12: Empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector alimentario



Fuente: Elaboración propia con información de las páginas web de las empresas

Figura 13: Empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial



Fuente: Elaboración propia con información de las páginas web de las empresas

Finalmente, para hacer frente a las debilidades del método, la investigación sigue los siguientes criterios de validez: validez del constructo, se ha elaborado dimensiones de medidas operacionales para las variables de la investigación; validez interna, se ha empleado distintas técnicas para la recolección de la información como la entrevista semiestructurada, las visitas guiadas a las empresas y el trabajo de archivo (triangulación de técnicas) y se han entrevistado a distintas personas de la misma empresa; validez externa, en este caso se realizará una descripción densa (desarrollando descripciones completas y profundas que suministren una base sustantiva para los juicios de semejanza) y al estudiarse distintos casos posiblemente se podrá realizar generalización analítica⁵⁹ dependiendo de los hallazgos que obtengamos (ver tabla 12) y finalmente en cuanto al criterio de la confiabilidad, los procesos de recolección y análisis de información serán claros y coherente de modo que puedan replicarse⁶⁰.

Tabla 12: Criterios de validez de la investigación

Criterio de validez		Fase de la investigación
Validez de constructo	-Dimensiones operacionales para las variables de investigación	Diseño de la investigación
Validez interna	-Triangulación de técnicas (entrevista semiestructurada, visitas guiadas, trabajo de archivo) y entrevistas a varias personas de la misma empresa.	Obtención de datos
Validez externa	-Descripción densa y posiblemente generalizaciones analíticas (dependiendo a los hallazgos).	Análisis de datos
Confiabilidad	-Los procesos de recolección y análisis de información serán claros y coherente de modo que puedan replicarse.	Diseño de investigación y obtención de datos

Fuente: Elaboración propia

3.6. Técnica de recolección de información

La investigación hace uso de técnicas de recolección de información secundaria y primaria, no obstante, este apartado se dedicará a la técnica de recolección de información primaria utilizada en esta investigación. La técnica cualitativa utilizada para recolectar información de origen

⁵⁹ Yin (1994) sostiene que la generalización en estudios cualitativos no consiste en una generalización estadística, sino que se trata de una generalización analítica, es decir, utilizar el estudio de caso único o múltiple para ilustrar, representar, transferir o generalizar a una teoría. Incluso los resultados de un estudio de caso pueden generalizarse a otros que representen condiciones teóricas similares; así los estudios de caso múltiples refuerzan las generalizaciones analíticas (replicación literal o teórica) (Tarrés, 2015; Gomm, Hammersley, & Foster, 2009).

⁶⁰ “La credibilidad de las conclusiones obtenidas se basa, en última instancia, en la calidad misma de la investigación desarrollada. De aquí la importancia de diseñar el estudio de caso de una forma apropiada e introducir una serie de tácticas a lo largo del proceso en que éste se desarrolla” (Martínez, 2006).

primario fue la entrevista semiestructura enfocada, porque es una técnica que permitió combinar características de profundidad y libertad, al mantener una conversación enfocada sobre ejes temáticos importantes para la investigación a través de preguntas preestablecidas y al mismo tiempo proporcionar al entrevistado la libertad y el espacio para definir el contenido de la discusión. La entrevista se realizó a funcionarios y trabajadores de las empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario. Es importante mencionar que previamente se realizó trabajo de archivo para conocer el contexto, la configuración de elementos que se encuentra el entrevistado y puntos clave de las empresas; y se estableció comunicación vía mail con los representantes de las empresas para coordinar la fecha, el lugar y dejar claro el tipo de información solicitada.

Antes de realizar las entrevistas se elaboró el guion de estas, que fue de tipo semiestructurado, en su mayoría preguntas abiertas que siguieron una secuencia lógica partiendo de lo general a lo particular y de lo simple a lo delicado utilizando un lenguaje adecuado para obtener la información de interés y crear un ambiente propicio para la entrevista. El guión de entrevista se elaboró a partir de dos diseños de encuestas que fueron aplicadas durante el 2015 y 2018 respectivamente: encuesta de Relevamiento de actividades de biotecnología en empresas en el Marco de la Red Temática de CONACYT “Convergencia del conocimiento para beneficio de la sociedad” y la encuesta perteneciente a la tesis doctoral “Drives of Biotechnological innovation of SMES Biotechnological capabilities in México de Mendoza (en proceso), con aportaciones y adaptaciones propias. Para realizar las preguntas de forma ordenada, el guion de entrevistas se dividió en módulos temáticos:

- Se inició con una presentación por escrito del tema de investigación, la estudiante, directora de tesis, una explicación de los fines con que se usará la información y solicitud de consentimiento para utilizar la información obtenida.
- Módulo I: Datos de identificación de la empresa, entrevistados y datos de control.
- Módulo II: Datos de información general de la empresa.
- Módulo III: Conocimiento del sector (clientes, proveedores, competidores) y contexto general.
- Módulo IV: Capital Humano
- Módulo V: Capacidades Tecnológicas (I+D, inversión, producción y vinculación).
- Módulo VI: Gestión de la propiedad intelectual.

Una vez que se contó con el guion y se pactó las entrevistas (en las plantas, oficinas comerciales y lugares de trabajo según sea el caso) se inició la misma explicando los motivos de la investigación, en que consiste la dinámica de la entrevista (reglas) el uso que se dará a la

información (se entrega la hoja de consentimiento al entrevistado) y solicitud de permiso para poder grabar la conversación; después hay una presentación general por ambas partes e inicia como tal la entrevista. El carácter semiestructurado de la entrevista permitió realizar preguntas adicionales que no estaban contempladas en el guion pero que surgen producto de la interacción de las partes y la observación, al concluir con los bloques temáticos se agradeció a las personas entrevistadas por su tiempo, la información compartida y se estableció un compromiso para entregar los resultados de la investigación al finalizar la tesis.

También se realizaron visitas guiadas donde el investigador se desempeñó en calidad de “observador como participante”, es decir, el investigador llevo a cabo observaciones durante breves periodos y se relacionó con los sujetos de estudio en calidad de investigador. Se grabó (previa autorización) y registró en un cuaderno de campo (bitácora) de manera cronológica y ordenada el entorno, los acontecimientos y las observaciones, se describió a los participantes, objetos empleados, comportamientos, interacciones y conversaciones importantes; se evitó cualquier tipo de interpretación en los registros. La combinación de fuentes, observación, entrevistas y trabajo de archivo fue clave para la triangulación de información.

3.6. Trabajo de Campo

Tabla 13: Entrevistas realizadas

Fecha	Lugar	Empresa y /o entrevistados	Motivo
07/06/19 (entrevista 1)	México-UNAM	Dr. Sergio Trejo	Panorama general de la biotecnología (entrevista exploratoria)
19/08/19 (entrevista 2)	México-UNAM	Dr. José Luis Solleiro	Situación de las empresas biotecnológicas en México (entrevista exploratoria).
09/10/19 (entrevista 3) 20/08/20	México (Oficina Comercial)	Biofábrica Siglo XXI: -Dr. Marcel Morales (director general). -M. en C. César (director de I+D)	-Entrevista a profundidad sobre la empresa de acuerdo con los módulos temáticos. - Visita a la planta de I+D y a una demostración.
16/10/19 (entrevista 4)	Puebla (instalaciones)	Clúster de BIO -Nutravia: Liz Loza -Microdiversa: Roma -Planta: Claudio -Cimex: Daniela -Bionuvia y Biogravía: Juan	-Se realizó entrevista a profundidad a la empresa Nutravia pero también se recolectó información relevante de las demás empresas del clúster. -Visita guiada a la planta piloto y laboratorios.

18/10/19 (entrevista 5)	Cuernavaca (IBT)	Agro & Biotecnia -Dr. Enrique Galindo	-Entrevista a profundidad sobre la empresa de acuerdo con los módulos temáticos. -Visita guiada a la planta piloto del IBt.
29/10/19 (entrevista 6)	México-UNAM	Dr. Solleiro	-Entrevista a profundidad sobre las empresas biotecnológicas trasnacionales.
31/10/19 (entrevista 7)	Cuernavaca (instalaciones)	Dr. Alejandro Torres	-Entrevista a profundidad sobre la empresa de acuerdo con los módulos temáticos. -Visita guiada a la planta piloto.
31/10/19 (entrevista 8)	Cuernavaca- IBt	Dr. Mario Soberón	-Entrevista a profundidad sobre la empresa de acuerdo con los módulos temáticos. -Visita guiada a la planta piloto del IBt.
12/11/19 (entrevista 9)	Ciudad de México (instalaciones)	METCO	-Entrevista a profundidad sobre la empresa de acuerdo con los módulos temáticos. -Visita guiada
20/11/19 (entrevista 10)	Ciudad de México	FCCyT	-Entrevista al Dr. Víctor Hugo Guadarrama sobre capacidades científica y tecnológicas, así como clúster biotecnológico.
PENDIENTES⁶¹	Varios lugares	-Stela Genomics, Parque Agrobiotec, y Kurago Biotec, ENMEX	

Fuente: Elaboración propia

3.7. Explicación de la adaptación de la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología

Como se explicó en la introducción, la dinámica económica de la biotecnología es particular y está fuertemente determinada por el desarrollo científico; mientras que la matriz de capacidades tecnológicas ha sido ampliamente utilizada para explorar las capacidades tecnológicas y analizar el nivel de acumulación de estas en sectores económicos tradicionales; especialmente en la manufactura, dado que fue propuesta bajo esta lógica. Para fines de esta investigación se adaptó y modificó la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial. Siguiendo a

⁶¹ Debido a la contingencia sanitaria del Covid-20, no se han podido realizar algunas entrevistas que estaban programadas para los meses de febrero-marzo del 2020.

Lall (1992), sugerimos que la categorización de capacidades tecnológicas es necesariamente indicativa, ya que puede ser difícil juzgar a priori si una actividad particular es simple o compleja (dependerá mucho de las características propias de cada empresa); además, no todas las actividades tienen que ser realizadas por la misma empresa, hay actividades que serán necesario recurrir a servicios especializados como a contratistas, consultores, otras empresas de I+D o manufactura.

No obstante, hay un núcleo de actividades básicas que la empresa tiene que internalizar para garantizar sus operaciones claves, las cuales cambiarán en el tiempo a medida que la empresa se comprometa a más tareas complejas. En este sentido, reiteramos que el carácter de la matriz es indicativo, esta no necesariamente revela una idea de secuencia; es una matriz pensada bajo una lógica de flexibilidad de tal forma que permita análisis tanto estáticos como dinámicos.

Partiendo del marco analítico propuesto por Lall (1992), Bell & Pavitt (1993), adaptaciones de Dutrénit & Vera-Cruz (2005), Miranda & Figueiredo (2010), Guadarrama (2006) y aportaciones propias con base al trabajo de campo; así como de las características de esta tecnología, los segmentos básicos de la cadena global de valor, la teoría, y aportaciones de especialistas en el tema; se adaptará la matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria en México. La nueva matriz agrega actividades relevantes para la biotecnología y redefine actividades correspondientes a varios grados de acumulación; incluyendo actividades de investigación y desarrollo, inversión, producción y comercialización, interacción y actividades externas, que en conjunto requieren de adquisición, asimilación y adaptación de conocimiento (ver tabla 14). En esta matriz, las columnas establecen las principales actividades por cada capacidad tecnológica y las filas establecen el grado de complejidad o dificultad, medido por el tipo de actividad de la cual surge la capacidad.

Las actividades que se han agregado a la matriz son las de investigación y desarrollo porque la I+D es el primer escalón de la cadena de valor básica de la biotecnología y las empresas que realizan biotecnología en gran medida dependen de esta para lograr capacidades técnicas internas que podían mantenerlas a la vanguardia de los últimos desarrollos tecnológicos, estar en constante innovación y facilitar su capacidad de aprendizaje (Bell & Pavitt, 1993; Yan & Batra, 1998). A nivel básico, las actividades de I+D implican investigación de baja complejidad, planteamiento de problemas tecnológicos, diseño de procesos, vigilancia tecnológica y un área de I+D; a nivel intermedio, involucra investigación de complejidad media, licenciamiento hacia adentro, pruebas a nivel de laboratorio y diseño de prototipos; mientras que a un nivel avanzado,

se encuentran los prototipos terminados, pruebas en plantas piloto, solicitud de propiedad intelectual (PI), estas actividades implican un grado de complejidad mayor para consolidar hallazgos.

Por su parte, las actividades de inversión tanto en la toma de decisiones y control como en la preparación y ejecución de proyectos mantienen su esencia, pero se agregaron actividades relacionadas con inversión en: I+D, plantas piloto y laboratorios propios, PI, manejo de asuntos regulatorios y actividades de formación y crecimiento del capital humano. Lo mismo sucede con las actividades de producción de proceso; no obstante, relacionado a las actividades de producción y comercialización de productos se modificó y agregó algunas actividades en los distintos niveles de complejidad (permisos por parte de Cofepris, certificaciones, registro de los productos, liberación experimental-planta piloto-comercial, biomanufactura, marketing y comercialización, entre otros), y cabe mencionar que algunas actividades avanzadas de I+D se traducen en actividades básicas de producción. En cuanto a las actividades de interacción y vinculación estas se adaptaron y reestructuraron de acuerdo con la dinámica de la biotecnología en este aspecto.

Tabla 14: Matriz de Capacidades Tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria en México

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios	
Capacidades básicas	<ul style="list-style-type: none"> _Área y/o estrategia de I+D. _Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. _Planteamiento de problemas tecnológicos _Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación _Investigación de baja complejidad 	<ul style="list-style-type: none"> _Estimación de desembolsos (presupuestos). _Monitoreo activo y control de: estudios de mercado, factibilidad, selección de tecnologías, proveedores y personal. _Programación de actividades. _Búsqueda de fuentes de financiamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Acceso a financiamiento _Estudios de factibilidad y de mercado _Inversión en infraestructura (planeación, preparación, acondicionamiento, construcción o adquisición) * _Permisos y cumplimiento de normas de seguridad y sanidad. _Ingeniería básica 	<ul style="list-style-type: none"> _Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas. _Control de calidad de los procesos. _Mejora del layout, programación y mantenimiento. _Desarrollo de capacidades organizacionales. _Mejora de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales 	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en campo, en plantas piloto y prototipos factible. _Focus group y visitas de campo. _Liberación experimental * _Permisos por parte de Cofepris. _Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales del producto y/o servicio _Supervisión y control de calidad de productos y/o servicios. _Registros de productos 	<ul style="list-style-type: none"> _Conocimiento general de clientes, proveedores, competencia, IES e CI. _Búsqueda de vínculos. _Servicio social, estancias e intercambios (universidad-empresa / empresa-empresa). _Acuerdos de colaboración con redes de investigación. _Acuerdos de cooperación con empresas _Participación en eventos relacionados
Capacidades intermedias	<ul style="list-style-type: none"> _Departamento formal de I+D _Investigación de complejidad media _Promoción de la creatividad y la inventiva del personal. _Licenciamiento hacia adentro y/o ingeniería inversa _Desarrollo de la formulación y/o diseños de prototipos. 	<ul style="list-style-type: none"> _Búsqueda, evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar y proveedores. _Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos. _Negociación con proveedores _Administración del 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en I+D _Inversión y adquisición en cambio tecnológico (equipos, tecnologías, etc.) _Inversión en mercadotecnia. _Capacitación técnica y operativa del personal. _Administración y seguimiento del proyecto. _Ingeniería a detalle 	<ul style="list-style-type: none"> _Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching) _Introducción de cambios organizacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> _Diversas certificaciones _Producción a gran escala de productos (biomanufactura). _Diseño incremental de nuevos productos y/o servicios. _Liberación en programas piloto * _Soluciones biotecnológicas a problemas específicos del campo y relacionados al sector de alimentos ** 	<ul style="list-style-type: none"> _Transferencia de tecnología _Vinculación con clientes, proveedores, IES, CI y empresas. _Vínculos con instituciones públicas (cámaras, secretarías, organismos gubernamentales). _Alianzas estratégicas con agricultores y otros aliados para hacer ensayos de campo. _Utilización de

	_Pruebas a nivel laboratorio.	proyecto(s) completos.				instalaciones y paquetes tecnológicos de las universidades y/o empresas.
Capacidades avanzadas	<ul style="list-style-type: none"> _Prototipo terminado _Pruebas en plantas piloto. _Pruebas en campo. _Solicitud de registro de PI. _Propuestas de soluciones específicas ** 	<ul style="list-style-type: none"> _Desarrollo de nuevos procesos y sistemas de producción 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en plantas pilotos, laboratorios y plantas de producción propios. _Inversión en licenciamientos y permisos de PI. _Actividades de formación y crecimiento de capital humano. _Diseños de procesos y desarrollo de la I+D relacionada. _Adaptaciones menores a maquinaria y equipo. _Manejo de asuntos regulatorios. 	<ul style="list-style-type: none"> _Innovaciones radicales en la organización. _Patentes de métodos. _Innovaciones de procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> _Innovación de productos y/o servicios. _Liberación comercial * _Patentamiento de productos. _Marketing, comercialización y distribución de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> _Vinculación con universidades y centros de investigación para desarrollos tecnológicos que puedan ser escalados. _Colaboración con empresas para desarrollos tecnológicos, biomanufactura y/o comercialización o distribución. _Colaboración en desarrollos tecnológicos con clientes, proveedores y socios. _Adquisiciones y/o fusiones. _Vinculación con consultores especializados en temas regulatorios y propiedad intelectual.
Aprendizaje tecnológico: Adquisición y/o absorción de habilidades, experiencias y conocimientos internos y externos para generar y fortalecer el cambio técnico.						

Fuente: Elaboración propia partiendo del marco analítico propuesto por Lall (1992), Bell & Pavitt (1993), adaptaciones de Dutrénit & Vera-Cruz (2005), Miranda & Figueiredo (2010), Guadarrama (2006) y aportaciones propias con base al trabajo de campo.

Para concluir es necesario resaltar algunas cuestiones de este capítulo. Tanto los estudios cualitativos como cuantitativos pueden ser sistemáticos, científicos y participan de la misma lógica subyacente, la inferencia. Por ello, el diseño de una buena investigación científica (cualitativo o cuantitativa) tiene cuatro características básicas: el objetivo del diseño de la investigación es la extracción de inferencias descriptivas⁶² o causales⁶³ a partir de la información empírica que se tenga del mundo; los resultados pueden evaluarse; las conclusiones son inciertas (las inferencias son imperfectas) y el principal contenido de la ciencia son sus métodos y reglas, no su objeto de estudio (King, Keohane, & Verba, 2012). Por tanto, el tipo de investigación empleada en esta investigación responde al fenómeno de estudio, a las preguntas de investigación y al tipo de información disponible.

El método de casos múltiples permite desarrollar y construir teoría y toma como punto de partida la guía de un marco conceptual y teórico determinado, incluso permite realizar recortes específicos de la realidad, para su abordaje (Creswell, 1998). De esta manera, a partir de un número limitado de casos seleccionados en función del propósito de la investigación, se da cuenta de las complejidades presentes y pueden obtenerse conclusiones de forma deductiva o bien desarrollar generalizaciones inductivas.⁶⁴ Este tipo de estudios se apoyan en la lógica de la replicación y de la comparación de sus hallazgos y resultados (Lijphart, 1971). En otras palabras, con los resultados que obtengamos del capítulo siguiente, no se podrá realizar generalizaciones estadísticas, pero si se podrá tener una idea más clara de la dinámica de las empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario y a comprender algunas particularidades que complementarán lo expuesto en el capítulo II.

⁶² Utilizar observaciones del mundo para revelar otros hechos que no se han observado.

⁶³ Conocer efectos causales a partir de los datos observados.

⁶⁴ Citado en Kazez (2009).

4. Capacidades tecnológicas en empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario.

En este capítulo se abordará al conjunto de empresas seleccionadas como estudios de caso para dar cuenta del tipo de capacidades tecnológicas que se encontraron y de los factores y relaciones que determinan el nivel de estas capacidades utilizando la matriz propuesta para la biotecnología agroindustrial alimentaria. Como se explicó en el capítulo anterior, estos estudios de caso no representan una realidad generalizada, pero, la información obtenida ayudará a tener un panorama más amplio de la dinámica de las empresas mexicanas biotecnológicas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario y a comprender algunas particularidades. El capítulo se dividirá en dos partes: en la primera parte se presentarán los resultados obtenidos de cada empresa, que implica una descripción general de cada una y el análisis de las capacidades tecnológicas desarrolladas; y en la segunda parte se presentará una síntesis de resultados.

4.1. Biofábrica Siglo XXI

4.1.1 Características de la empresa

Biofábrica siglo XXI es una empresa agro-biotecnológica mexicana que ofrece alternativas ecológicas, económicas y sustentables para mejorar la producción agrícola. Fue incubada por la empresa Asesoría Integral Agropecuaria (ASIA) y se fundó formalmente en el año 2003 a partir del convenio de licencia tecnológica celebrado entre el Centro de Investigación sobre Fijación de Nitrógeno (CIFN)⁶⁵ y la empresa; la UNAM le transfirió a Biofábrica el uso de su desarrollo tecnológico (a partir de microorganismos benéficos para la agricultura) para su explotación exclusiva durante 10 años que incluye la producción y comercializar biofertilizantes, así como la explotación comercial de los resultados de futuras investigaciones; a cambio la empresa pagó 4,000,000 de pesos y se comprometió a pagar el 5% de sus ventas a la UNAM durante el periodo del convenio (ver figura 14).

El modelo de investigación y desarrollo de la empresa se basa en I+D propio y colaborativo a través de la vinculación tanto con instituciones académicas de alto nivel como con instituciones privadas de base científica y tecnológica. *Biofábrica Siglo XXI* al inicio solo se dedicaba a la mejora de los desarrollos licenciados, producción, y comercialización de biofertilizantes; actualmente se dedica, además, a la investigación, desarrollo, producción y comercialización de productos agrobiotecnológicos (cuenta con siete biofertilizantes en el

⁶⁵ Hoy es el Centro de Ciencias Genómicas (CCG) de la UNAM.

mercado). Los desarrollos que realiza le empresa implican el uso de distintas técnicas biotecnológicas, equipos especializados y recursos humanos calificados; así como innovación y desarrollo en todas las etapas.

Figura 16: Historia de Biofábrica Siglo XXI



Fuente: elaboración propia

Actualmente, *Biofábrica* llega a biofertilizar entre 50 y 100 mil hectáreas por año y exporta sus productos a Centro América; en este sentido, sus principales clientes son: productores de distintos tamaños (uso directo), empresas agroindustriales, otras empresas del rubro y distintos distribuidores independientes; con los cuales hay una retroalimentación constante. No obstante, la empresa se enfrenta a una alta competencia: por un lado, compite con empresas nacionales, formales y registradas en la misma línea, que producen o importan y distribuyen biofertilizantes, así como empresas informales que han aprovechado los vacíos en el marco regulatorio y ofertan productos de baja calidad; y, por otro lado, se enfrenta a un competidor indirecto, el uso de agroquímicos⁶⁶. Antes de pasar a discutir, las capacidades tecnológicas que ha desarrollado la empresa, en la tabla 15 se presentan las características generales de esta.

Tabla 15: Características Generales de la empresa Biofábrica Siglo XXI	
Año de creación	Fundada por el Dr. Marcel Morales en el año 2003
Origen del capital	Capital nacional (empresa 100% mexicana)
Incubación	Fue incubada por la empresa ASIA
Tamaño de la empresa	Pequeña (de 11 a 49 trabajadores)
Tipo de empresa (*)	Empresa activa en biotecnología
Campo de aplicación	Biotecnología de fermentaciones para el sector agrícola.
Productos biotecnológicos (biofertilizantes y otros)	Micorrizafer, Azofer, Maxifer, Rhizofer, Biocomposta, Azofer Plus, Micorrizafer plus
Participación en el mercado	Tiene una participación del 20% en el total de hectáreas biofertilizadas en México y alrededor de 2 a 3% en el total de hectáreas cultivadas.
Ventas	Ventas al mercado nacional, presencia en 32 estados de la República Mexicana (se han incrementado)
Exportaciones	A el Salvador, Guatemala y Panamá
Importaciones	Biorreactores y un microorganismo en particular
Competidores	Directos (empresas mexicanas formales e informales productoras o comercializadoras de biofertilizantes) indirectos (agroquímicos)
Clientes	Productores de distintos tamaños (uso directo), empresas agroindustriales, otras empresas del rubro, distintos distribuidores.
Proveedores	Nacionales y extranjeros (materiales de laboratorio)
Vinculaciones	Sector privado, Universidades, Centros de Investigación e instituciones de gobierno y ONGs.
Estrategia de negocio	I+D propia y colaborativa

Fuente: elaboración propia en base a Biofábrica Siglo XXI

⁶⁶ Históricamente, la mayoría de los agricultores mexicanos sigue un modelo de producción agrícola basado en el uso de agroquímicos como pesticidas, insecticidas, fertilizantes químicos, etc. en sus cultivos; por lo que el cambio a un nuevo modelo de producción agrícola aún es lento.

4.1.2 Capacidades tecnológicas de la empresa

La empresa *Biofábrica Siglo XXI* a lo largo del tiempo ha desarrollado capacidades tecnológicas con distintos grados de madurez (básico, intermedio y avanzado) y ha combinado actividades de diferente naturaleza (investigación y desarrollo, inversión, producción y comercialización, vinculación e interacción) y complejidad. Ha desarrollado capacidades básicas e intermedias de inversión en relación con la toma de decisiones y control, mientras que en la preparación y ejecución de proyectos ha desarrollado capacidades en los tres niveles; así mismo, en lo referente a las actividades de vinculación e interacción y a las actividades de I+D, la empresa ha desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas; y en relación con las actividades de producción tanto de procesos como de productos se identifican capacidades básicas, intermedias y rasgos de avanzadas (ver tabla 16).

El desarrollo de estas capacidades tecnológicas se da bajo la respuesta creativa de la empresa frente a un escenario marcado por la Revolución Verde, sustentado en el consumo intensivo de fuentes no renovables, dependencia de agroquímicos, expansión de monocultivos, degradación de los suelos, contaminación del agua, entre otros problemas; no obstante, este modelo de producción agrícola resulta devastador para el medio ambiente. Bajo este contexto, *Biofábrica Siglo XXI* decidió invertir y utilizar sus recursos para retomar y mejorar desde una perspectiva privada el proyecto gubernamental mexicano de biofertilización (1999-2000) que quedó trunco⁶⁷ y así promover, producir y comercializar biofertilizantes⁶⁸ eficaces, de bajo costo y sustentables (Mexicampo, 2015).

Por otro lado, algunas actividades avanzaron con mayor rapidez y otras tomaron mucho tiempo para lograr un grado de madurez mayor; se alcanzaron capacidades avanzadas de producción de procesos y vinculación externa más rápido, dado que desde sus inicios el modelo de innovación de la empresa se centró en la vinculación con diversas instituciones públicas y privadas para el desarrollo de investigación colaborativa, mejoramiento de procesos y/o productos y uso de instalaciones; si bien la empresa inició sus actividades a partir de un convenio de licencia tecnológica por parte de la UNAM, con el tiempo fue afianzando sus lazos y firmando otros convenios con el IPN, CONACYT, INIFAP, FIRA y

⁶⁷ Programa de biofertilización de Alianza para el Campo de SAGARPA y evaluado por el INIFAP.

⁶⁸ Productos de base biológica que permiten aprovechar con mayor eficiencia los nutrientes y el agua, utilizar más la fijación biológica del nitrógeno, lograr mayor eficiencia fotosintética y así promover el desarrollo y la salud de los cultivos.

Tabla 16: Capacidades Tecnológicas de Biofábrica Siglo XXI

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios	
Capacidades básicas	<ul style="list-style-type: none"> _Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. _Planteamiento de problemas tecnológicos _Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación _Investigación de baja complejidad _Promoción de la creatividad y la inventiva del personal. 	<ul style="list-style-type: none"> _Estimación de desembolsos (presupuestos). _Monitoreo activo y control de: estudios de factibilidad, búsqueda de tecnologías, proveedores y personal. _Programación de actividades. _Búsqueda de fuentes de financiamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Acceso a financiamiento _Estudios de factibilidad y de mercado. _Inversión en infraestructura. _Permisos y cumplimiento de normas de seguridad, sanidad por... 	<ul style="list-style-type: none"> _Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas. _Control de calidad en procesos. _Mejora del layout, _Desarrollo de capacidades organizacionales. _Mejora de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales 	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en campo, en invernadero y en planta piloto. _Visitas de campo. _Permisos por parte de Cofepris. _Mejoras incrementales del producto. _Supervisión y control de calidad de productos _Registros de productos 	<ul style="list-style-type: none"> _Conocimiento general de clientes, proveedores, competencia, IES e CI. _Búsqueda de vínculos. _Becarios, estancias profesionales e intercambios. _Acuerdos de colaboración con redes de investigación. _Acuerdos de cooperación con empresas _Participación en eventos relacionados
Capacidades intermedias	<ul style="list-style-type: none"> _Departamento o planta formal de I+D _Investigación de complejidad media _Licenciamiento de tecnología hacia adentro _Desarrollo de la formulación. _Pruebas a nivel laboratorio. _Inteligencia Tecnológica Competitiva 	<ul style="list-style-type: none"> _Evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar, insumos, materiales y proveedores. _Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos. _Negociación con proveedores. _Elaboración de propuestas técnico- 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en I+D _Inversión y adquisición en cambio tecnológico (equipos, tecnologías, etc.) _Inversión en licenciamientos y permisos de PI. _Inversión en capacitación técnica y operativa del personal. 	<ul style="list-style-type: none"> _Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching) 	<ul style="list-style-type: none"> _Diversas certificaciones _Soluciones biotecnológicas a problemas específicos del campo (por cultivo y por región)** 	<ul style="list-style-type: none"> _Activismo en asociaciones. _Vinculación con clientes, proveedores, IES y CI. _Alianzas estratégicas con agricultores. _Vínculos con instituciones públicas _Utilización de instalaciones y paquetes tecnológicos de las

		económicas para solicitud de financiamiento.				universidades y/o empresas.
Capacidades avanzadas	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en plantas piloto _Pruebas en campo. _Propuestas de soluciones específicas ** 		<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en plantas pilotos y laboratorios propios. _Inversión en actividades de formación y crecimiento de capital humano. _Manejo de regulaciones. 	-Innovaciones en procesos.	-Marketing y comercialización de productos.	<ul style="list-style-type: none"> _Vinculación con universidades y centros de investigación para desarrollos tecnológicos que puedan ser escalados. -Colaboración con empresas para la biomanufactura.
Aprendizaje tecnológico: Adquisición y/o absorción de habilidades, experiencias y conocimientos internos y externos para generar y fortalecer el cambio técnico.						

Fuente: Elaboración propia

Stela Genomics con la finalidad de mejorar sus procesos y productos; mientras que las capacidades de investigación y desarrollo (I+D) e inversión tomaron mayor tiempo para fortalecerse, desde sus inicios la empresa invirtió en el cambio tecnológico, pero es hasta el 2019 que la empresa realiza quizá una de sus mayores inversiones hasta la fecha en una planta de I+D propia.

En términos generales, Biofábrica ha desarrollado capacidades tecnológicas intermedias en actividades relacionados con el producto desarrollando adaptaciones menores y soluciones específicas para el campo mexicano; sin embargo, actividades relacionadas con la ingeniería básica, ingeniería de detalle y el diseño de la planta de I+D (bienes de capital) se ha realizado mediante la asesoría del consejo consultivo y en su mayoría han sido externalizadas. Por otro lado, pese a que la empresa no ha transferido tecnología a otras empresas, proveedores o clientes; el vínculo e interacción con otros agentes del sistema de innovación como: proveedores, empresas, instituciones gubernamentales y clientes se ha fortalecido con los años.

4.1.3 Capacidades tecnológicas de I+D: La empresa a lo largo del tiempo ha realizado grandes esfuerzos para obtener diferentes fuentes de conocimiento tecnológico y desarrollar actividades más complejas. Esta realiza constantemente vigilancia tecnológica a través de la búsqueda de información relevante de la industria en publicaciones formales, revistas científicas, patentes, evaluación de los productos de los competidores, entre otros; la investigación que realiza, por un lado, se enfoca al desarrollo de nuevos productos y/o mejorar los procesos de producción; y por otro, se relacionan con los objetivos que quieren alcanzar con esta tecnología, es decir, investigación enfocada en buscar un modelo agrícola alternativo a través de distintas estrategias de investigación (propia, colaborativa y externa); y documentan el conocimiento tácito en distintos manuales.

Cómo se mencionó párrafos arriba la empresa licenció la tecnología a la UNAM por lo que al inicio solo realizaba I+D colaborativa, con el tiempo los procesos de I+D de *Biofábrica* han evolucionado, hoy cuentan con una planta formal de I+D; la empresa ha adquirido capacidades avanzadas en innovaciones de proceso e I+D relacionada, convirtiéndose la investigación es un eje central. Actualmente, la empresa ha ampliado sus horizontes de investigación y está trabajando en la investigación científica y el desarrollo de soluciones biotecnológicas a problemas específicos como: la roya del café, la phitoptora en aguacate y críticos, la moniliasis del cacao y el pulgón amarillo en sorgo.

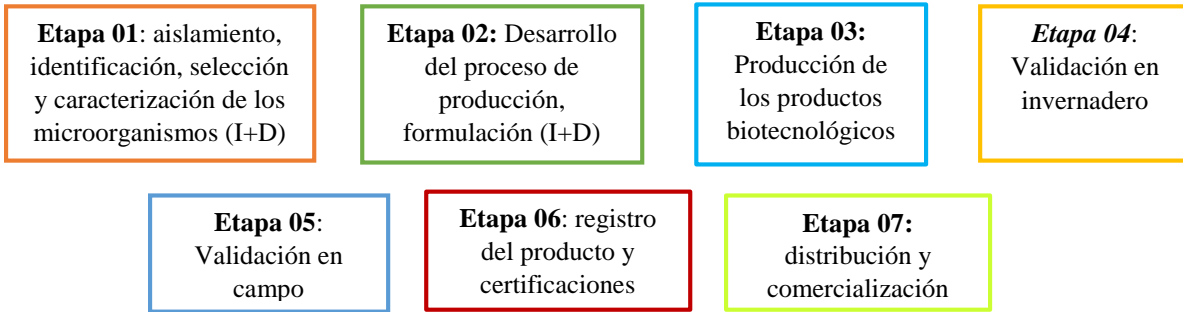
En la figura 15, se mencionan todas las etapas y pruebas que realiza la empresas en sus distintos niveles: la etapa uno implica tomar muestras, obtener cientos de cepas⁶⁹ diferentes, aislarlas, identificarlas y probarlas para ver cuáles son las mejores dependiendo de lo que se está buscando, es una etapa que requiere invertir muchos recursos y toma muchos años de investigación; en la etapa dos, empieza el desarrollo del proceso de producción industrial, donde se realizan muchas pruebas en un biorreactor⁷⁰ controlando distintos factores para después desarrollar una formulación; en la etapa 03, se inicia la producción de los productos; y en la etapa cuatro y cinco se realizan las pruebas de validación tanto en invernadero como en el campo; una vez validadas, en la etapa seis se inician los trámites para el registro del nuevo producto⁷¹; para finalmente en la etapa siete comercializarlos y distribuirlos.

⁶⁹ Es necesario mencionar que no se trabaja con microorganismos genéticamente modificados, sino con cepas y especies que en su estado natural son muy buenas para la agricultura.

⁷⁰ Se producen los microorganismos a nivel industrial.

⁷¹ Los productos cuentan con registro de COFEPRIS y los permisos necesarios, se tienen registradas varias marcas comerciales en el IMPI, se trabaja mucho con secretos industriales y están en trámites para solicitar patentes.

Figura 15: Etapas de innovación y desarrollo de Biofábrica Siglo XXI



Fuente: elaboración propia en base a datos públicos de Biofábrica Siglo XXI

4.1.4 Capacidades tecnológicas de inversión: Relacionadas con la *toma de decisiones y ejecución de proyectos* la empresa elabora guías de adquisición de tecnología, perfiles profesionales y monitorea constantemente los estudios de factibilidad que con el tiempo le ha permitido a la empresa: establecer distintos convenios de colaboración con precios especiales y de confidencialidad con sus proveedores, búsqueda y seleccionar de personal con habilidades para resolver problemas y a mantener mejor el control de los proyectos. La inversión en capacitación técnica y operativa del personal (capacitación interna al personal para habilitarlo en sus funciones en distintos niveles)⁷², así como en actividades de formación y crecimiento del capital humano (capacitación en distintos temas por parte de las instituciones vinculadas, talleres de empoderamiento y facilidades para estudiar) le ha permitido a la empresa incrementar la productividad de sus trabajadores y promover la inventiva de estos.

Así mismo, la empresa inició sus actividades con una inversión aproximada de 20 millones de pesos, con el tiempo siguió invirtiendo en el cambio técnico a través de varias fuentes de financiamiento: inversión propia, préstamos y vía proyectos públicos (se accedió al financiamiento de proyectos de SAGARPA, del PEI en su modalidad INNOVAPYME, y de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de Morelos); y en el 2019 con recursos propios la empresa llegó a invertir aproximadamente 35 millones en una nueva planta de I+D y de producción en el Parque Científico y Tecnológico de Morelos, abriendo la oportunidad para el desarrollo de nuevos proyectos biotecnológicos. Se ha invertido en I+D (aproximadamente entre el 40% y el 50%), infraestructura básica (materiales y equipos)⁷³,

⁷² El conocimiento se transmite de tres formas: comunicación directa, experiencia (en la práctica), e información documentada (diferentes manuales de laboratorio).

⁷³microscopios, biorreactores, termocicladores, cámaras de cultivo, equipo para separación de biomoléculas, y todo lo necesario para biotecnología; para microbiología tenemos equipo para

insumos, capacitación del personal, en la obtención de procesos y productos terminados. El contar con una planta propia de I+D y disminuir el uso de infraestructura de instituciones públicas da cuenta de los avances en la adquisición de capacidades de inversión avanzadas.

4.1.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización: a nivel básico, relacionado con los *procesos* la empresa verifican mensualmente las características de los procesos (control de calidad), planean estratégicamente las distintas actividades (mejora del layout) y mejoran la eficiencia de sus procesos a partir de las rutinas operacionales y de la capacidad organizacional de la empresa; a nivel intermedio y avanzado la empresa dirige su I+D básicamente a mejorar los procesos de producción (stretching) y obtener nuevos productos. El proceso general de la producción de biofertilizantes incluye: desarrollo del proceso de producción industrial, producción de los productos, validación en invernadero y campo, registro del producto y comercialización.

Por su parte, en lo relacionado a los *productos*, se identifican capacidades básicas, intermedias y rasgos de avanzadas en distintas actividades: supervisa y controla la calidad de los productos constantemente, cuentan con licencia sanitaria para la fabricación de inoculantes y el registro de los productos en Cofepris, así como con certificaciones Ceres⁷⁴ y OMRI⁷⁵, y con el dictamen de efectividad de productos por parte de SAGARPA⁷⁶, lo cual garantiza productos de calidad y responsables con el medio ambiente; también, han realizado mejoras incrementales en biofertilizantes como Azofer y Rhizofer, ahora producen también Azofer Plus y Rhizofer Plus, son los mismos microorganismos pero ha mejorado la producción y la formulación; y soluciones específicas para el campo mexicano (sustentabilidad de los cultivos, mitigación del cambio climático, regeneración de suelos y eficiencia en el uso del agua). Cabe mencionar que Biofábrica Siglo XXI realiza su producción a gran escala a través de una empresa que tiene la capacidad de producir 30000 litros; y utiliza los días de campo, eventos y distintos medios de publicidad para promocionar sus productos.

4.1.6 Capacidades tecnológicas de vinculación e interacción: en lo que compete a estas capacidades, *Biofábrica* las ha desarrollado en nivel básico, intermedio y avanzado. La empresa tiene un vasto conocimiento e interacción con el entorno biotecnológico en

esterilizar, campanas de flujo laminar, cristalería, reactivos, equipo para manipular microorganismos, para incubar, etc.

⁷⁴ Certificación de estándares ambientales.

⁷⁵ Certificación de insumos aptos para la agricultura

⁷⁶ Lo cual garantiza productos de calidad y responsables con el medio ambiente.

general (clientes, proveedores y competidores); ha realizado importantes acuerdos con IES, CI, con el sector privado y distintas instituciones de alto nivel para colaborar en proyectos de investigación, desarrollos biotecnológicos, y expansión del sector; también, ha logrado convenios de precios con los proveedores de insumos, materiales y equipos; y la relación con los clientes se ha fortalecido a través de la retroalimentación constante y acuerdos para realizar parcelas experimentales, demostrativas y mejoras de los productos.

La vinculación con otras empresas de base científica y tecnológica como *Stela Genomics* le ha permitido a la empresa acceder a otras capacidades tecnológicas y biotecnológicas que *Biofábrica* no tiene, efectuar distintas actividades y expandir las posibilidades de desarrollos futuros de la empresa⁷⁷; formar parte de CoMABIO⁷⁸ le ha permitido unir fuerzas para expandir el mercado de biofertilizantes e incidir en la definición de políticas públicas relacionadas con el desarrollo de la agrobiotecnología; y los acuerdos alcanzados con el INIFAP le permiten realizar pruebas de campo en caña de azúcar y maíz; tienen alianzas estratégicas con una empresa de maquila y cuentan con becarios del programa jóvenes construyendo el futuro.

Finalmente, *Biofábrica* tiene vinculación con Universidades y Centros de Investigación para el desarrollo conjunto de nuevos procesos y productos agro-biotecnológicos que puedan ser escalados (actualmente algunos se encuentran en etapa de evaluación y registro); así como para acceder a tecnologías que están desarrolladas o parcialmente desarrolladas y puedan ser mejoradas. Algunos de los proyectos de vinculación más importantes son: un proyecto conjunto⁷⁹ con la UNAM para desarrollar un proceso de producción que extienda la vida de anaquel (mayor a 2 años) de los microorganismos benéficos para la agricultura y poder escalar a nivel industrial, ya que inicialmente solo tenían una vida de anaquel de seis meses (funcionaban a nivel laboratorio); el convenio con el IIB de la UNAM para mejorar el proceso de fermentación; con *Stela Genomics* en los referente a al genoma y

⁷⁷ Biofábrica tiene un equipo de trabajo en *Stela Genomics* que expande las posibilidades de trabajar con otros microorganismos, con cuestiones de genoma, sin que la empresa implemente necesariamente todo el cuadro de trabajo y tecnología para trabajar en esos temas; y uno de los fundadores de *Stela Genomics* es parte del consejo consultivo de la empresa.

⁷⁸ Es una iniciativa de un grupo de empresas mexicanas que tienen como objetivo impulsar la adopción, aplicación, difusión, fomento y regulación de la biotecnología en el sector agropecuario.

⁷⁹ Además del desarrollo biotecnológico se realizó una publicación científica: "Scale-up From Shake Flasks to Pilot-Scale Production of the Plant Growth-Promoting Bacterium *Azospirillum Brasilense* for Preparing a Liquid Inoculant Formulation".

con la Universidad de Montreal y McGill University en la participación en investigación en materia de suelos y agua en Canadá. En este sentido, se observa solidez en las actividades de interacción y vinculación q con distintos actores del sistema de innovación y resultados favorables para ambas partes.

4.2. Agro & Biotecnia

4.2.1 Características de la empresa

Agro&Biotecnia es una empresa mexicana de base tecnológica, spin-off del Instituto de Biotecnología (IBT) de la UNAM y reconocida por RENIECyT. Está enfocada al desarrollo científico y tecnológico de productos biotecnológicos de alto valor agregado basados en microorganismos útiles en el control biológico de fitopatógenos y que al mismo tiempo promueven el incremento de la productividad de los cultivos agrícolas. Se fundó en el año 2008 por la iniciativa de tres socios, dos investigadores del IBT (el Dr. Enrique Galindo y el Dr. Leobardo Serrano) y un socio con experiencia comercial (el biotecnólogo Roberto Gutiérrez); para poder licenciar y explotar una formulación patentada de control biológico, producto de la investigación de un proyecto conjunto entre el IBT de la UNAM sede Morelos y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD) sede Culiacán Sinaloa. No obstante, los antecedentes de la creación de la empresa se remontan al año 2000 (ver figura 16).

Su principal producto es el biofungicida *Fungifree AB*, cuyo principio activo es una bacteria particular del género *Bacillus*, aislada del follaje del mango, que permite combatir plagas y enfermedades; el producto cuenta con el permiso de SAGARPA y COFEPRIS para usarlo en el combate de ocho especies de hongos fitopatógenos en 23 cultivos (Agro&Biotecnia, 2012). Actualmente Agro&Biotecnia tiene presencia en el mercado nacional a través de su socia estratégica FMC Agroquímica de México, quien se encarga de comercializar y distribuir sus productos en México (en conjunto realizan reuniones informativas a los clientes) y se encuentran en proceso de obtener permisos y certificaciones para exportar sus productos a Brasil. Así mismo, Agro&Biotecnia se enfrenta a dos tipos de competidores, por un lado, con empresas biotecnológicas mexicanas pequeñas que producen biofungicidas a base de bacilos, pero muchas de ellas no cuentan con certificados ni garantizan estándares de calidad; y, por otro lado, con empresas multinacionales con perfil biotecnológico como Bayer,

Figura 16: Historia de Agro&Biotecnia



2000

-Primer contacto entre el Dr. Galindo del IBT y el Mtro. Allende del CIAD en un evento organizado por el CONACYT.

-Elaboración de un proyecto conjunto entre el IBT y el CIAT para la producción de los antagonistas a escala piloto.



2006

-Solicitud de patente ante el IMPI y trámite en el sistema PCT que incluyo el control biológico de *C. gloeosporioides* en los cultivos de mango, aguacate y papayo.



2011

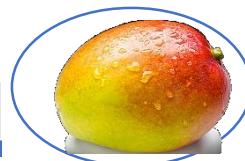
- Se concede la patente del desarrollo.
-Registro COFEPRIS
-Se firma el contrato con la empresa FMC Agroquímica de México para que comercialice y distribuya los productos.



2014

-Se logró la certificación OMRI.
-Se reconoció a *Fungifree AB* con el 1° lugar del Premio ADIAT a la Innovación Tecnológica y con el Premio Innovadores de América 2014.

2005



-Resultados obtenidos publicados en la revista de divulgación Claridades Agropecuarias.

-La empresa el Rodeo Fruit realizó pruebas de la formulación a escala semicomercial.

2008



-Se constituye legalmente la empresa Agro&Biotecnia.

2012-2013



-Se firma el convenio de transferencia tecnológica entre la UNAM-CIAD y Agro&Biotecnia y desde el 2013 se pagan regalías por el uso de patentes y TT.
-Se lanzó al mercado *Fungifree AB* en la Expo Agroalimentaria Guanajuato.
-El producto fue reconocido como uno de los tres avances más importantes de la biotecnología por el IICA.

2019



-Efectividad contra enfermedades en 27 cultivos.
-Desarrollo de tres productos propios de la empresa.

Fuente: elaboración propia

especialmente con su producto Serenade, biofungicida líquido a base de un bacilo, que compite directamente por las características y precios con Fungibree AB, biofungicida sólido a base de un bacilo que promueve el desarrollo saludable de los cultivos⁸⁰ y tiene una efectividad comparable o superior a la del producto químico tradicional al que puede sustituir (Agro&Biotecnia, 2012). Antes de pasar a discutir, las capacidades tecnológicas que ha desarrollado la empresa, en la tabla 17 se presentan las características generales de esta.

Tabla 17: Características generales de la empresa Agro&Biotecnia	
Año de creación	Fundada en el año 2008
Origen del capital	Capital nacional (empresa 100% mexicana)
Incubación o spin-off	Es una empresa spin-off del IBT de la UNAM
Tamaño de la empresa	Microempresa (hasta 10 trabajadores)
Tipo de empresa (*)	Empresa dedicada completamente a la biotecnología
Campo de aplicación	Biotecnología verde (sector agrícola)
Productos biotecnológicos	<i>Fungifree AB</i>
Participación en el mercado	No disponible
Ventas	Ventas al mercado nacional por medio de la empresa FMC Agroquímica de México.
Exportaciones	En proceso de negociación para exportar a Brasil.
Importaciones	NO
Competidores	Empresas mexicanas biotecnológicas formales e informales que producen biofungicidas y empresas multinacionales como Bayer.
Clientes	FMC Agroquímica de México (desarrolladora y comercializadora de nuevas tecnologías que ayuden a combatir plagas y enfermedades del campo mexicano).
Proveedores	Nacionales y extranjeros (materiales de laboratorio)
Vinculaciones	Sector privado, Universidades y Centros de Investigación
Estrategia de negocio	I+D propia y colaborativa

Fuente: elaboración propia.

4.2.2 Capacidades Tecnológicas de la empresa

La empresa *Agro&Biotecnia* realiza actividades de diferente índole (investigación y desarrollo, inversión, producción y vinculación externa) y complejidad; y a lo largo del tiempo ha desarrollado capacidades tecnológicas con distintos grados de madurez (básico, intermedio y avanzado). En términos de actividades de I+D, la empresa ha desarrollado capacidades tecnológicas en sus tres niveles, básico, intermedio y avanzado, evidenciándose en sus

⁸⁰ Al obtener productos con mayor vida de anaquel y frutos con mayores atributos, logrando calidad de exportación.

importantes avances científico y tecnológicos; también ha complementado sus capacidades de inversión en relación con la toma de decisiones y control y en la preparación y ejecución de proyectos, desarrollando capacidades básicas e intermedias; en cuanto a las actividades de producción tanto de procesos como de productos solo ha desarrollado capacidades tecnológicas básicas por las características y objetivos de la empresa; y en lo referente a las actividades de interacción y vinculación, la empresa ha fortalecido sus capacidades tecnológicas alcanzando capacidades a nivel intermedio y avanzado (ver tabla 18).

El desarrollo de estas capacidades tecnológicas y la creación de la empresa Agro&Biotecnia, se da ante la imposibilidad de generar vinculación entre universidad-empresa privada y que esta última pudiera explotar un desarrollo tecnológico (por falta de entendimiento y acuerdos). Entonces, poder llevar al mercado un desarrollo tecnológico de años de investigación y así la tecnología no quedara archivada, implicó avanzar hacia la creación de una spin-off con características particulares y al desarrollo, complementariedad y fortalecimientos de diversas capacidades tecnológicas que van más allá de las capacidades científicas. Así mismo, ante un panorama de uso indiscriminado de los pesticidas en México, que, si bien aumentan la productividad, también, generan diversos efectos adversos; la investigación y la orientación de la empresa se ha dirigido hacia Agentes de Control Biológico, los cuales se basan en organismos que controlan o eliminan naturalmente plagas (Galindo, *et al.*, 2015); de esta forma, Agro&Biotecnia responde de manera creativa al contexto.

Por otro lado, tanto las actividades de I+D como las actividades de inversión avanzaron a un ritmo similar, ya que era indispensable contar con financiamiento público para seguir avanzando a etapas de investigación más complejas; alcanzar capacidades tecnológicas de I+D avanzadas tomo más tiempo por su misma naturaleza. Mientras que las capacidades tecnológicas de vinculación e interacción se alcanzaron más rápido ya que el desarrollo tecnológico de Agro&Biotecnia parte de la vinculación entre dos instituciones públicas de investigación. Lo que evidencia que algunas actividades requieren más tiempo que otras para alcanzar un grado de madurez mayor.

Tabla 18: Capacidades Tecnológicas de Agro&Biotecnia

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios	
Capacidades básicas	<ul style="list-style-type: none"> _Área y/o estrategia de I+D _Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. _Planteamiento de problemas tecnológicos _Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación _Investigación de baja complejidad 	<ul style="list-style-type: none"> _Estimación de desembolsos (presupuestos). _Búsqueda de tecnologías y proveedores _Programación de actividades. _Búsqueda de fuentes de financiamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Acceso a financiamiento público y privado. _Ingeniería básica. _Incubación. 	<ul style="list-style-type: none"> _Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas. _Control de calidad en los procesos instrumentos _Mejora del layout, programación y mantenimiento. _Mejora de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en campo, en plantas piloto y prototipos factible. _Permisos por parte de Cofepris. _Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales del producto y/o servicio. _Supervisión y control de calidad de productos. _Registros de productos 	<ul style="list-style-type: none"> _Conocimiento general del entorno. _Participación en eventos relacionados. _Acuerdos de cooperación con otras empresas.
Capacidades intermedias	<ul style="list-style-type: none"> _Investigación de complejidad media _Licenciamiento hacia adentro y/o ingeniería inversa _Desarrollo de la formulación y/o diseños de prototipos. _Pruebas a nivel laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> _Evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar, insumos, materiales y proveedores. _Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos. _Negociación con proveedores. _Elaboración de propuestas técnico- 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en I+D _Inversión y adquisición en cambio tecnológico _Inversión en licenciamientos y permisos de PI. _Administración y seguimiento del proyecto. 	<ul style="list-style-type: none"> _Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching) 	<ul style="list-style-type: none"> _Diversas certificaciones _Soluciones biotecnológicas a problemas específicos del campo ** 	<ul style="list-style-type: none"> _Vinculación con clientes, proveedores, IES y CI. _Vínculos con instituciones públicas (cámaras, secretarías, organismos gubernamentales). _Utilización de instalaciones y paquetes tecnológicos de las

		económicas para solicitud de financiamiento. _Administración del proyecto(s) completos.				universidades y/o empresas.
Capacidades avanzadas	_ Prototipo terminado _ Pruebas en plantas piloto _ Pruebas en campo. _ Solicitud de PI _ Propuestas de soluciones específicas **					_ Vinculación con universidades y centros de investigación para desarrollos tecnológicos que puedan ser escalados. _ Colaboración con empresas para desarrollos tecnológicos, biomanufactura y/o distribución.
Aprendizaje tecnológico: Absorción, asimilación y adaptación de información de clientes, proveedores, competidores e instituciones locales y generación de conocimiento científico y tecnológico						

Fuente: elaboración propia.

4.2.3 Capacidades tecnológicas de I+D: La empresa ha desarrollado ciertas capacidades tecnológicas de investigación y desarrollo en sus tres niveles: básico, intermedio y avanzado; gracias a su sólida estrategia de I+D colaborativo, sus convenios de colaboración para el uso de instalaciones como laboratorios y planta piloto con el IBt y el Colegio de Posgraduados de Chapingo y las capacidades científicas y de investigación que cuenta sus socios y colaboradores. El desarrollo de estas capacidades fue un proceso gradual, complejo y tomó mucho tiempo para alcanzar ciertos objetivos; ya que por la naturaleza misma de la empresa (spin-off de base tecnológica), el licenciamiento y transferencia tecnológica fue un reto porque los investigadores-inventores tuvieron que formar Agro&Biotecnia para poder llevar al mercado la tecnología que habían creado.

Antes de que se formara la empresa legalmente, los investigadores y socios de esta, durante el proceso de desarrollo de *agentes de control biológico* obtuvieron distintas fuentes de conocimiento tecnológico a través de consultoría independiente y de la investigación colaborativa que se realizó entre el IBt y el CIAD para complementar sus capacidades de I+D dado que, “el CIAD tenía capacidades científicas y tecnológicas en la fitopatología, pero carecían de conocimientos sobre fermentación y escalamiento de procesos, mientras que el IBt contaba con capacidades en la fermentación y escalamiento, pero no en fitopatología” (Amaro & Borja, 2018) para poder producir antagonistas a escala piloto. El desarrollo del proyecto conjunto entre las dos instituciones de investigación implicó distintas fases de investigación de complejidad media y avanzada, pruebas a nivel laboratorio, experimentos a escala semicomercial y comercial, y solicitud de patente; así como, capital humano con conocimiento especializado en biología, agronomía, bioquímica y biotecnología y experiencia en la materia⁸¹.

Llegar a un producto susceptible de ser comercializado y, por ende, obtener capacidades tecnológicas de I+D intermedias y avanzadas fue un proceso complejo que tardó más de 10 años⁸². Así mismo, el proceso de negociaciones y transferencia tecnológica de la UNAM a la empresa fue un proceso que tardó más de 2 años, evidenciando las trabas legales, la complejidad de un contrato para transferir tecnología propiedad de la institución a una spin-off y el conflicto de intereses; así como el poco entendimiento de los investigadores en esta materia, por ello, para potencializar las capacidades que hacían falta se unió a la empresa un socio con experiencia en la industria.

Por otro lado, Agro&Biotecnia, realiza constantemente benchmarking con los competidores directos y vigilancia tecnológica no formal en cuanto a investigaciones científicas-académicas, patentes y desarrollos tecnológicos relacionados con agentes de control biológico para estar a la vanguardia. Así mismo, si bien Fungifree AB es el primer producto que comercializa la empresa para el control de hongos en distintos cultivos y la patente de la formulación de este es propiedad de la UNAM; ahora la empresa está desarrollando nuevos productos de control biológico de fitopatógenos para la agricultura que sean propiedad de la empresa, específicamente sistemas de control biológico contra bacterias, es decir, biobactericidas.

⁸¹ “El capital humano es la clave en industrias de base tecnológica dedicadas a la biotecnología”.

⁸² Cabe resaltar que la investigación conjunta entre el IBt y el CIAD partió de investigaciones que ya se venían realizando con anterioridad, especialmente se dio continuidad al proyecto que ya desarrollaban en el CIAD “Selección de microorganismos con potencial para el biocontrol in vitro de *Colletotrichum gleosporioides*”.

4.2.4 Capacidades tecnológicas de inversión: la programación de actividades (plan de acción anual) y la planificación estratégica para la búsqueda, evaluación y selección de fuentes de financiamiento, proveedores (con certificación OMRI) y personal, así como propuestas técnico-económicas para solicitar financiamiento, le han permitido a Agro&Biotecnia desarrollar capacidades tecnológicas básicas e intermedias en relación con la toma de decisiones y control. Por otro lado, el acceso a financiamiento público a través del fondo sectorial CONACYT-SAGARPA (en la fase de desarrollo antes de la empresa), el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Morelos, el Fondo Mixto CONACYT-Estado de Veracruz y el financiamiento propio de la empresa producto de los ingresos de las ventas para: realizar investigación y desarrollo, elaborar el plan de negocios, pruebas de campo, pruebas de escalamiento, cobertura de patentes, pruebas toxicológicas (para obtener el registro de efectividad de SAGARPA y el registro de inocuidad de COFEPRIS), insumos y lanzamiento del producto; revelan que Agro&Biotecnia ha alcanzado capacidades tecnológicas intermedias referentes a la preparación y ejecución de proyectos.

Además, es preciso mencionar que la mayor parte de la inversión que realiza la empresa es en actividades de I+D (aproximadamente el 80%), mientras que la inversión en capacitación y formación del capital humano es más baja, dado que la mayoría de sus colaboradores son exalumnos de maestría y doctorado del IBt que cuentan con habilidades y conocimiento especializados. Agro&Biotecnia, no cuenta con una instalación física como tal, pero tiene un convenio importante con el IBt, que le permite tener acceso a sus instalaciones, especialmente a la planta piloto (infraestructura muy bien equipada que cumple con estándares de calidad internacional, para brindar servicios, desarrollo de proyectos y optimización de procesos biotecnológicos) para realizar fermentaciones, secado, bioprocesamiento, escalamiento a nivel piloto de sus formulaciones o desarrollos tecnológicos, entre otros; es decir, externaliza su infraestructura.

4.2.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización: tanto en procesos como en productos, Agro&Biotecnia ha desarrollado capacidades tecnológicas de producción solo a nivel básico y rasgos de intermedias⁸³. En términos de procesos, la empresa ha formado sus grupos de trabajo en diferentes áreas (formulación industrial, control de calidad, fitopatología y regulación) que en conjunto se retroalimentan y garantizan la calidad de su producto; además, se controla la calidad de las materias primas, se revisa que las

⁸³ El tema de certificaciones es fundamental en empresas biotecnológicas y se considera como una CT intermedia en la matriz. Cabe mencionar que el producto principal de la empresa cuenta con certificación OMRI, pero en términos generales, la empresa no ha desarrollado CT de producción y comercialización a un nivel intermedio.

fermentaciones no se contaminen y realizan las pruebas por conteo para garantizar que Fungifree AB tenga al menos 1 billón de esporas por gramo de producto. Mientras que, en términos de producto, la empresa cuenta con un programa de mejora permanente de la tecnología que le ha permitido mejorar los rendimientos y optimizar la tecnología que les licenció el IBt.

Así mismo, la producción de Fungifree AB, desde la investigación y primeras pruebas hasta su comercialización recorrió un camino de 12 años (aunque este no fue un proceso lineal, hubo algunas interrupciones). Como se mencionó párrafos arriba, este proyecto inicio en el 2000, las pruebas de campo semicomerciales se realizaron a través de la participación de la empresa Rodeo Fruit en los años 2005-2006; los permisos de efectividad biológica e inocuidad tardaron alrededor de 2 años y medio (por barreras burocráticas), se obtuvieron recién en el año 2011 por lo que el producto se presentó por primera vez en noviembre del 2012; en este largo proceso se desarrollaron algunas capacidades tecnológicas y se consolidaron otras. No obstante, Agro&Biotecnia, maquila su producción a través de una empresa mexicana que se dedica a realizar fermentación y secado a gran escala y distribuye y comercializa Fungifree AB a través de la empresa FMC Agroquímica de México; por tal motivo, no han desarrollado capacidades tecnológicas de producción a nivel intermedio y avanzado.

4.2.6 Capacidades Tecnológicas de vinculación e interacción: En Agro&Biotecnia, estas capacidades están estrechamente relacionadas con las capacidades tecnológicas de I+D. A nivel intermedio, la empresa interactúa con distintos proveedores que cuentan con la certificación OMRI y así asegura que su biofungicida sea un producto orgánico; actualmente tiene vínculos importantes con instituciones de educación superior como el IBt para hacer uso de sus instalaciones, en particular de la unidad de escalamiento y planta piloto. Mientras que, a nivel avanzado, Agro&Biotecnia ha fortalecido sus capacidades tecnológicas de vinculación para realizar desarrollos tecnológicos que puedan ser escalados, tal es el caso de su primer producto, el biofungicida Fungifree AB, resultado de la vinculación entre dos grupos de investigación (IBt y CIAD); y para colaborar con empresas privadas que se encarguen de la comercialización y distribución de su producto, la empresa FMC Agroquímica de México es la encargada de hacerlo desde la firma del contrato en el 2011, dado que ninguno de los socios de la empresa contaba con capacidades de mercadotecnia, marketing, mecanismos de distribución, ni tiempo para dedicarse a la comercialización.

4.3) Applied Biotec

4.3.1 Características de la empresa

Applied Biotec es una microempresa mexicana inmersa en la economía del conocimiento a partir de la explotación de desarrollos biotecnológicos originados en Instituciones de Educación Superior y Centros de Investigación, es decir, es una spin-off del IBt de la UNAM. En palabras de su fundador: “Applied Biotec es la consecuencia de sacar la ciencia de las bitácoras y los laboratorios para convertir los hallazgos en empresas rentables que además de ser amigables con el medio ambiente, generan empleos de calidad”.

La empresa funciona como una plataforma de biocatálisis y su principal desarrollo tecnológico se basa en producir capsaicinoides (moléculas picantes del chile) de manera biotecnológica sin la necesidad de sembrar o cosechar una sola planta de chile a través de un proceso de transformación verde, amigable con el medio ambiente, que no causa daños colaterales y optimiza los recursos naturales. Este desarrollo tecnológico tiene varias aplicaciones como en la salud, agricultura y medio ambiente; por ejemplo, permitiría multiplicar la vida sana de barcos y cruceros, reducir casi en su totalidad plagas o insectos que lesionan la vida sana de las plantas y cultivos (ahuyentando a los animales, sin causarles daño), el recubrimiento de cables de fibra óptica o anti-marcaje, entre otros.

En términos generales, Applied Biotec surge a partir de la tesis de maestría del Dr. Alejandro Torres (2009) y se constituyó formalmente en el año 2017 (ver figura 17). Si bien la empresa inició sus actividades hace dos años, ha obtenido logros importantes como: asistir a una de las mejores aceleradoras de negocios en Europa gracias a la Secretaria de Innovación, Ciencia y Tecnología (SICyT) del Estado de Morelos, ganaron el Premio Nacional del Emprendedor y fueron galardonados con el Premio Nacional de Tecnología e Innovación (2018).

Figura 17: Historia de Applied Biotec



Actualmente, la empresa ha sacado al mercado el producto Zákese (repelente anti marcaje para perros y gatos), ofrece distintos capsaicinoides biotecnológicos, cuenta con otros productos mínimamente viables⁸⁴ y ofrece servicios de escalamiento de procesos biocatalíticos, solo al mercado nacional tanto a productores directos como empresas, aunque tienen la intención de abarcar también el mercado internacional en el futuro⁸⁵; en este sentido, la competencia más fuerte a la que se enfrenta la empresa son los pesticidas tóxicos y pesticidas químicos tanto por su precio como por tradición (cultura del agricultor). Así mismo, Applied Biotec, tiene un amplio conocimiento del mercado biotecnológico (clientes actuales y potenciales, competidores, proveedores), ha firmado convenios de vinculación y colaboración universidad-empresa-usuarios y también con proveedores para importar insumos, materiales y maquinaria del extranjero. Antes de pasar a discutir, las capacidades tecnológicas que ha desarrollado la empresa, en la tabla 19 se presentan las características generales de esta.

Tabla 19: Características generales de la empresa Applied Biotec	
Año de creación	Fundada en el año 2017
Origen del capital	Capital nacional (empresa 100% mexicana)
Incubación o spin-off	Es una empresa spin-off del IBT de la UNAM
Tamaño de la empresa	Microempresa (hasta 10 trabajadores)
Tipo de empresa (*)	Empresa dedicada completamente a la biotecnología
Campo de aplicación	Biotecnología verde (sector agrícola), roja (salud), blanca (medio ambiente) y azul (seres biológicos del mar).
Productos biotecnológicos	Zákese para el interior, Zákese para el exterior (repelentes anti-marcaje para perros y gatos), capsaicinoides biotecnológicos y otros productos en fase final de validación.
Servicios biotecnológicos	Servicios de biocatálisis, desarrollo de nuevos procesos biotecnológicos, desarrollo de métodos de análisis y cuantificación de muestras, validación técnica y comercial y escalamiento de nuevos productos y procesos.
Participación en el mercado	No disponible
Ventas	No disponible
Exportaciones	Aún no las realizan, pero es uno de sus objetivos estratégicos para el futuro.
Importaciones	Biocatalizador, rotaevaporadores, maquinarias y materiales de laboratorio.
Competidores	Directos, empresas multinacionales y nacionales que producen pesticidas químicos; indirectos (tradición del agricultor), productores de anti-marcajes.
Clientes actuales y Potenciales	Agricultores, usuarios directos y empresas internacionales.
Proveedores	Nacionales y extranjeros (empresas de Alemania, China y EE. UU.).

⁸⁴ Con los que están adecuando dosis, frecuencia de uso, biodegradación, entre otros.

⁸⁵ El desarrollo tecnológico de la empresa tiene una amplia gama de aplicaciones del principio activo en mercados de alto valor y de rápido crecimiento actual y potencial (PNTI, 2018).

Vinculaciones	Universidades, Centros de Investigación, empresas privadas y usuarios
Estrategia de negocio	I+D propia y colaborativa

Fuente: Elaboración propia

4.3.2 Capacidades tecnológicas de la empresa

4.3.3 Capacidades tecnológicas de I+D: Applied Biotec ha desarrollado estas capacidades con distintos grados de madurez. A nivel básico, diseña procesos para el desarrollo de la investigación que le permiten resolver problemas a partir de una estrategia experimental sui generis; también, gestionan la tecnología y realizan constantemente vigilancia tecnológica (de publicaciones, artículos científicos y patentes) a través de la ciencia métrica y minería de datos; esto les ha permitido estar a la vanguardia y desarrollar una tecnología innovadora en el mundo ya que hasta el momento la única fuente de obtención de capsaicinoides es a partir de extractos naturales de chiles (Applied Biotec, 2017); mientras, que la empresa lo hace de manera biotecnológica, es decir, sin la necesidad de sembrar una sola planta de Chile.

La empresa, realiza actividades de investigación aplicada, desarrollo y mejoramiento de productos, pruebas de laboratorio, diseño de prototipos, validación técnica y comercial, pruebas de campo y escalamiento de productos y procesos en plantas piloto a partir de su estrategia de I+D propia y colaborativa con distintas IES, especialmente con el IBt de la UNAM, ya que el suigéneris de la empresa es la investigación de tesis de maestría de su fundador; y dado que la tecnología se desarrolló dentro de la universidad, esta fue la encargada de patentarla. No obstante, Applied Biotec en el 2019 logró licenciar la tecnología a la UNAM, para seguir desarrollándola y explotándola, y así potencializando sus capacidades de investigación⁸⁶ de complejidad media y avanzada.

Así mismo, los colaboradores de la empresa transfieren su conocimiento y retroalimentan sus aprendizajes a través de la técnica SCRUM; cuenta con un área dedicada a la creatividad y esparcimiento para el planteamiento de nuevos retos y así promueven la inventiva de sus colaboradores. Applied Biotec cuenta con dos productos en el mercado y otros productos que se encuentran en la etapa final de validación, es decir, en las pruebas de campo para adecuar ciertos factores; pero llegar hasta esta etapa de investigación le ha tomado a la empresa alrededor de 10 años y ha implicado el desarrollo de capacidades

⁸⁶ En palabras del Dr. Alejandro Torres, la I+D en la biotecnología es clave “Yo creo que la investigación y desarrollo juega un papel súper importante en la biotecnología, porque tienes que estar renovando constantemente, entonces, si no haces I+D pues en tres años se acabó tu empresa”.

tecnológicas de I+D intermedias y algunas capacidades avanzadas (que están en proceso), por lo expuesto en los párrafos anteriores.

4.3.4 Capacidades tecnológicas de inversión: relacionada con la toma de decisiones y control la empresa ha desarrollado capacidades básicas e intermedias. Cuentan con un modelo de negocios completo que le ha permitido definir con claridad quiénes son, cómo lo hacen, a qué costo y con qué recursos y de esta manera buscan y seleccionan la tecnología, proveedores, personal y recursos financieros de manera óptima. Los proveedores de maquinaria se han elegido en términos de sus precios (China), mientras que los de insumos, materiales y biocatalizador por su calidad (México y Alemania) porque la biotecnología es muy fina y requiere tener buenos proveedores para obtener excelentes resultados; por su parte, los colaboradores de la empresa son elegidos en base a la experiencia, habilidades y valores; donde predomina el trabajo en equipo, la comunicación asertiva y una estructura plana para cumplir objetivos.

Por su parte, relacionados con la preparación y ejecución de proyecto, Applied Biotec ha desarrollado capacidades tecnológicas de inversión básicas, intermedias y algunas avanzadas. La empresa ha accedido a distintas fuentes de financiamiento: propias (aportación de los socios capitalistas) y especialmente del gobierno a través del programa de Fomento a la Innovación Tecnológica (FIT)⁸⁷; los cuales se han invertido en cambio tecnológico (equipos, licenciamiento de tecnología, materiales e insumo), I+D (un acumulado del 60% de la inversión del 2013 al 2019), salarios y capacitación del personal, y la inversión más fuerte en los dos últimos años se ha canalizado en adquirir infraestructura propia (local propio, laboratorios de análisis cuánticos y desarrollos de procesos biotecnológicos, planta piloto y escalamiento).

La empresa, aproximadamente ha invertido hasta ahora 10 millones de pesos y las capacidades de inversión que ha desarrollado tienen su base en procesos de aprendizaje provenientes de la adquisición de cambio tecnológico, la adaptación y mejora al equipo (ya que se han diseñado y adaptado partes del equipo y la maquinaria para responder a las necesidades específicas de los procesos), de la experiencia de sus colaboradores y de la retroalimentación recibida por parte de los evaluadores de los concursos que han participado.

⁸⁷ Aunque cabe mencionar que este proyecto de financiamiento está dividido en tres etapas, la primera ya fue entregada a la empresa, la segunda tenía dos meses de retraso (al momento de la entrevista), lo que trunco los planes de la empresa relacionados con el afianzamiento de clientes y promoción del producto.

Tabla 20: Capacidades Tecnológicas de Applied Biotec

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios	
Capacidades básicas	<ul style="list-style-type: none"> _Área y/o estrategia de I+D _Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. _Planteamiento de problemas tecnológicos _Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación _Investigación de baja complejidad 	<ul style="list-style-type: none"> _Estimación de desembolsos (presupuestos). _Búsqueda de tecnologías y proveedores _Programación de actividades. _Búsqueda de fuentes de financiamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Acceso a financiamiento público y privado _Estudios de factibilidad y de mercado _Inversión en infraestructura _Permisos y cumplimiento de normas de seguridad, sanidad. 	<ul style="list-style-type: none"> _Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas. _Control de calidad en procesos _Mejora del layout, programación y mantenimiento. _Mejoras de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en campo, en plantas piloto y prototipos factible. _Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales del servicio _Supervisión y control de calidad de productos y/o servicios. _Registros de marcas 	<ul style="list-style-type: none"> _Conocimiento general de clientes, proveedores, competencia, IES e CI. _Búsqueda de vínculos con distintos actores. _Acuerdos de cooperación con empresas _Participación en eventos relacionados
Capacidades intermedias	<ul style="list-style-type: none"> _Investigación de complejidad media _Licenciamiento hacia adentro y/o ingeniería inversa _Diseños de prototipos. _Pruebas a nivel laboratorio. 	<ul style="list-style-type: none"> _Evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar, insumos, materiales y proveedores. _Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos. _Negociación con proveedores. _Elaboración de propuestas técnico- 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en I+D _Inversión y adquisición en cambio tecnológico _Inversión en licenciamientos y permisos de PI. _Administración y seguimiento del proyecto. -Ingeniería a detalle 	<ul style="list-style-type: none"> _Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching) -Actividades de formación y crecimiento del capital humano. - Mejoras en la organización 	<ul style="list-style-type: none"> _Soluciones biotecnológicas a problemas específico (Ej. capsaicinoides para ahuyentar animales de las plantas de maíz) 	<ul style="list-style-type: none"> _Vinculación con clientes, proveedores, IES y CI. _Vínculos con instituciones públicas (cámaras, secretarías, organismos gubernamentales). _Utilización de instalaciones y paquetes tecnológicos de las

		económicas para solicitud de financiamiento. _Administración del proyecto(s) completos.				universidades y/o empresas.
Capacidades avanzadas	_ Prototipos viables. _ Pruebas en plantas piloto _ Pruebas en campo.		-Inversiones en plantas piloto y laboratorios propios. -Adaptaciones menores a maquinaria y equipo. -Manejos regulatorios.	Innovaciones en procesos.		_ Colaboración con empresas para desarrollos tecnológicos. -Colaboración con centros de investigación para desarrollos tecnológicos que pueden ser escalados.
Aprendizaje tecnológico: Adquisición y/o absorción de habilidades, experiencias y conocimientos internos y externos para generar y fortalecer el cambio técnico.						

Fuente: elaboración propia

4.3.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización: Applied Biotec ha desarrollado capacidades básicas e intermedias relacionadas a las actividades de producción de procesos; la aplicación de la técnica SCRUM⁸⁸ por parte de los colaboradores, su especialización en ciertas actividades, el aprendizaje tecnológico interno y la retroalimentación como equipo le ha permitido a la empresa mejorar la eficiencia de sus

⁸⁸ Cada colaborador tiene 15 minutos para presentar las actividades que hizo durante la semana, las que va a hacer y los retos que estas implican.

procesos, estiramiento de sus capacidades de producción, eliminar fallas, introducir cambios organizacionales y así cumplir con sus objetivos estratégicos. En cuanto al control de calidad, la empresa externaliza esta actividad, si bien realizan un prediagnóstico en el laboratorio es un tercero el encargado de verificar que los desarrollos tecnológicos cumplan con los estándares de calidad requeridos; y en cuanto al crecimiento del capital humano, la empresa promueve, motiva y da facilidades a sus colaboradores para que puedan seguir desarrollándose profesionalmente y al mismo tiempo nutran las áreas en la que la empresa tiene deficiencias.

Mientras, que, relacionado a las actividades de producción y comercialización de productos la empresa ha desarrollado capacidades básicas. El desarrollo de capacidades de I+D y contar con infraestructura propia le ha permitido a la empresa escalar su desarrollo tecnológico (pasar de cinco litros a 50 litros), contar con prototipos viables, realizar pruebas de campo y mejoras incrementales⁸⁹; al momento de la entrevista la empresa contaba con productos mínimamente viables y los permisos de COFERPIS estaban en proceso. No obstante, a partir de la revisión de fuentes públicas se pudo observar que actualmente Applied Biotec cuenta con dos productos en el mercado (Zákese para el interior y Zákese para el exterior), pero hace falta indagar si la empresa es la encargada de la biomanufactura y comercialización de estos para constatar si la empresa ha desarrollado capacidades de producción y comercialización intermedias y avanzadas.

Es importante mencionar que la empresa también funciona como una plataforma de biocatálisis, es decir, ofrece distintos servicios relacionados con el desarrollo de métodos de análisis y cuantificación de muestras y compuestos, adecuación de procesos, validación técnica y comercial de tecnologías emergentes; así como el desarrollo de productos a base de capsaicinoides biotecnológicas aplicables a distintas áreas de acuerdo con las necesidades particulares de los clientes. En este sentido, la empresa “se presenta como aliada en un espacio de colaboración abierta y pone a disposición su infraestructura y capital humano a proyectos en etapas tempranas de maduración que requieran de alguno de los servicios” (Applied Biotec, 2020).

4.3.6 Capacidades de vinculación e interacción: La empresa ha desarrollado estas capacidades en sus tres niveles: básico, intermedio y avanzado. Applied Biotec al tener un amplio conocimiento de su entorno y estar en constante interacción con sus clientes,

⁸⁹ El desarrollo tecnológico tiene ciertas características para cultivos como el maíz, la caña y el sorgo, pero para aplicarlo en cultivos como la lechuga, la coliflor y los berries implica realizar mejoras incrementales, en cuanto a usar tensoactivos aprobados por la FDA o por la OMRI.

proveedores, CI e IES; ha podido mejorar sus procesos, dar soluciones más eficientes, lograr acuerdos importantes (formalizar convenios), realizar pruebas de campo, adquirir nuevos conocimientos y fortalecer sus capacidades. Por ejemplo, el pertenecer a la asociación Innovación con Ciencia le ha permitido a la empresa participar en cursos y adquirir conocimientos sobre medición de la calidad, de gestión empresarial, de tecnológica, entre otros.

Así mismo, la empresa tiene una estrecha vinculación con el IBt de la UNAM, con quienes firmaron un convenio de licenciamiento de transferencia de tecnología⁹⁰ y en su momento usaron su infraestructura; su estrategia de I+D colaborativo le ha permitido vincularse con otras IES (Universidad de San Nicolás de Hidalgo⁹¹ y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño⁹²) y empresas de base tecnológica (Scicore Medial y Arvensis) para adquirir conocimiento externo y participar en el codesarrollo de diferentes tecnologías; que sumado a las capacidades internas de la empresa le ha permitido afianzar su aprendizaje tecnológico y sus capacidades de absorción. Muestra de la evolución de las capacidades de vinculación e interacción es que actualmente Applied Biotec ha logrado un convenio de colaboración con una empresa de Malasia para la producción de antivegetativos.

4.4) Nutravia

4.4.1 Características de la empresa

Nutravia es una pequeña empresa mexicana dedicada al desarrollo de mejoras tecnológicas y soluciones biotecnológicas específicas para la industria de alimentos a diferentes escalas; está certificada como Oficina de Transferencia de Tecnología (OTT)⁹³ ante el Conacyt para promover la articulación entre la generación de conocimiento-tecnología y las necesidades de cualquier empresa en términos de investigación, innovación y desarrollo tecnológico a través de un enfoque multidireccional (academia-empresa y empresa-empresa). Amaro & Sánchez (en prensa), consideran a Nutravia como una “plataforma tecnológica, ya que su objetivo no es la obtención de productos para

⁹⁰ Siendo los primeros exalumnos del Instituto en lograr este convenio a través de la creación de una empresa de base tecnológica.

⁹¹ Colaboración para un desarrollo tecnológico relacionado con las plagas del maíz.

⁹² Proyecto conjunto referente a la utilización de ciertos compuestos para el tratamiento de la obesidad y del síndrome ambiental.

⁹³ Nutravia como OTT bajo un esquema de estricta confidencialidad ofrece distintos servicios relacionados a: Vigilancia tecnológica y Scouting, evaluación de tecnología, desarrollo de tecnología, vinculación estratégica, asimilación y transferencia de tecnología, asesoría y acompañamiento en el área de protección intelectual.

comercializarlos, sino el desarrollo de proyectos de I+D que brinden soluciones, ya sea productos o servicios para la industria alimentaria y de nutrición”.

La empresa surge por la iniciativa de cuatro egresados del Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) del IPN, todos con conocimientos y experiencia en el área de alimentos; quienes, mientras estudiaban tuvieron un acercamiento directo a los problemas productivos y adquirieron conocimientos básicos sobre el funcionamiento de las empresas⁹⁴. La influencia del Dr. Sergio Trejo⁹⁵, de un exitoso empresario y la combinación de una visión técnica y empresarial durante su formación fue decisivo para que los egresados se convirtieran en socios y dieran vida a Nutravia, constituyéndola formalmente en el 2011. En palabras de una de las fundadoras, “Nutravia tiene un perfil de spin off porque si bien no se desprendió formalmente del CIBA, tenemos una relación estrecha con el centro y recibimos la asesoría legal de una de las empresas donde realicé mi estancia de investigación”.

En síntesis, Nutravia es una empresa y OTT que cuenta con laboratorios propios, planta piloto, con un grupo de trabajo especializado y de alta calificación (maestría y doctorado) así como una red de vinculación con diferentes empresas e instituciones para brindar soluciones biotecnológicas específicas, agregar valor a productos, fomentar la innovación, transferencia tecnológica y patentamiento. Su mercado es básicamente nacional, productores directos, empresas mexicanas y algunas subsidiarias relacionadas con la industria de los alimentos a las cuales se les proporciona un método de calidad, la mejora de un proceso, un ingrediente, productos terminados u otros servicios. En este sentido, enfrentan una competencia baja, porque, aunque existen empresas en el mismo campo somos muy pocas las empresas e instituciones que venden servicios de proyectos con soluciones biotecnológicas en el área de alimentos (ver tabla 21).

Tabla 21: Características Generales de la empresa Nutravia	
Año de creación	Fundada en el año 2011
Origen del capital	Capital nacional (empresa 100% mexicana)
Incubación o spin-off	Tiene un perfil de spin-off por la fuerte influencia del CIBA del IPN, pero no se desprendió de él.
Tamaño de la empresa	Pequeña empresa (de 11 a 49 trabajadores)
Tipo de empresa (*)	Empresa dedicada completamente a la biotecnología
Campo de aplicación	Biotecnología amarilla (industria alimentaria)

⁹⁴ El esquema de formación del CIBA permite a los estudiantes realizar estancias en empresas para desarrollar su tesis.

⁹⁵Reconocido biotecnólogo mexicano y profesor-investigador del CIBA.

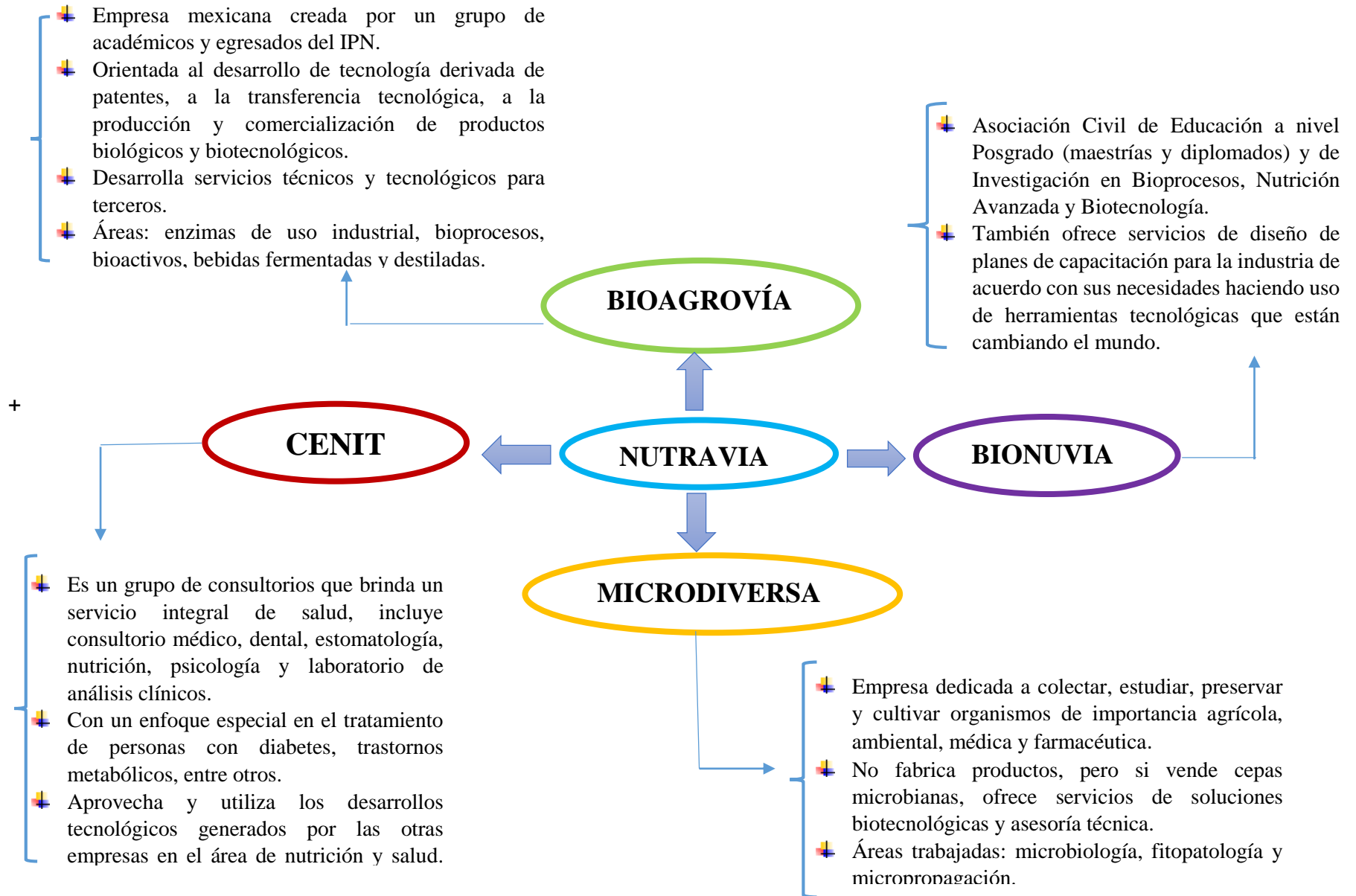
Productos o servicios biotecnológicos	Brinda soluciones biotecnológicas específica (productos-procesos); no es su finalidad comercializar productos, sino desarrollarlos a petición de otras empresas. También apunta a la formación de recursos humanos, la generación de proyectos en colaboración con otras empresas e instituciones públicas
Participación en el mercado	No disponible
Ventas	Han aumentado de 2011 a 2017 cada año; de 2018 a 2019 han permanecido igual, pero con el doble de esfuerzo.
Exportaciones	En negociaciones
Importaciones	Directas: Equipos específicos. Indirectas: insumos y materiales de laboratorio (reactivos).
Competidores	Empresas nacionales certificadas como OTT Empresas que brinden soluciones en biotecnología amarilla (competencia baja).
Clientes	Empresas relacionadas con la industria alimentaria (mexicanas y algunas subsidiarias) y productores directos.
Proveedores	Nacionales y extranjeros (empresas de Alemania, China y EE. UU.).
Vinculaciones	Universidades, Centros de Investigación, empresas privadas y usuarios
Estrategia de negocio	I+D propia y colaborativa

Fuente: elaboración propia.

Cabe mencionar que, ante un panorama biotecnológico incierto y complejo, Nutravia ha diversificado sus actividades para seguir siendo competitiva en el mercado; actualmente también “apuntan a la formación de recursos humanos, la generación de proyectos en colaboración con otras empresas e instituciones públicas”⁹⁶, a la consultoría y a la incubación de empresas de base tecnológica en biotecnología. Nutravia ha logrado construir a su alrededor un ecosistema de empresas, con quienes comparten el mismo departamento formal y administrativo y complementan sus capacidades; las empresas incubadas reciben acompañamiento y asesoría técnico-productivo, en gestión tecnológica, empresarial y propiedad intelectual y operan dentro de las instalaciones de Nutravia hasta que generen independencia (ver figura 21).

⁹⁶ (Amaro & Sánchez, en prensa).

Figura 21: Ecosistema de empresas formadas alrededor de NUTRAVIA



4.4.2 Capacidades Tecnológicas de la empresa

La combinación de habilidades técnico-productivas, conocimientos de gestión tecnológica y empresarial y el aprendizaje logrado a partir de los años le ha permitido a Nutravia diversificar sus actividades y desarrollar capacidades tecnológicas con distintos grados de madurez (ver tabla 22). La empresa ha desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas relacionadas con la I+D y la vinculación e interacción, ya que por su misma naturaleza (brindar servicios y soluciones biotecnológicas para la industria alimentaria y funcionar como OTT) trabajan en base a proyectos de I+D+I, todo el tiempo realizan actividades de investigación aplicada, vigilancia tecnológica, diseñan y desarrollan tecnología y la protegen, realizan pruebas a nivel laboratorio y en planta piloto; así mismo, asimilan conocimiento externo, complementan sus capacidades al colaborar con otras empresas e instituciones y transfieren tecnología

Las actividades de inversión también han evolucionado, con el tiempo y con la práctica los socios de Nutravia desarrollaron capacidades de gestión organizacional, empresarial y tecnológica; lo que les permitió realizar y monitorear estudios de factibilidad y de mercado, seleccionar tecnología y reclutar al personal idóneo, al punto que ahora realizan ingeniería básica, ingeniería a detalle y asesoran a otras empresas en estos temas. Nutravia inició sus actividades con recursos propios, por un tiempo dependieron de fondos públicos y ahora se financian a partir de sus propias actividades. Las inversiones más fuertes se han realizado en I+D, cambio tecnológico, infraestructura y en el crecimiento del capital humano; lo expuesto anteriormente evidencia el desarrollo de capacidades básicas, intermedias y avanzadas.

En cuanto a las actividades de producción, Nutravia ha desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas relacionadas con los procesos, mientras que en términos de producción y comercialización de productos ha desarrollado sólo capacidades básicas e identificamos algunos rasgos de capacidades avanzadas debido a que la empresa desarrolla productos para otras empresas pero no se encarga de la biomanufactura ni de la comercialización; no obstante, han protegido sus desarrollos con la finalidad de ser licenciados. Finalmente, es importante mencionar que la empresa ha sistematizado un conjunto de aprendizajes obtenidos en el tiempo en un Manual de procedimientos Administrativos y de operación, que al igual que la incubación de otras empresas de base tecnológica dan muestra del desarrollo de capacidades tecnológicas por parte de Nutravia.

Tabla 22: Matriz de Capacidades Tecnológicas de NUTRAVIA

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios (*)	
Capacidades básicas	<p>_Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva.</p> <p>_Planteamiento de problemas tecnológicos</p> <p>_Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación</p> <p>_Investigación de baja complejidad</p>	<p>_Estimación de desembolsos (presupuestos).</p> <p>_Monitoreo activo y control de: estudios de mercado, factibilidad, selección de tecnologías, proveedores y personal.</p> <p>_Programación de actividades.</p> <p>_Búsqueda de fuentes de financiamiento.</p>	<p>_ Acceso a financiamiento</p> <p>_Estudios de factibilidad y de mercado</p> <p>_Inversión en infraestructura (adaptación).</p> <p>_Permisos y cumplimiento de normas de seguridad, sanidad.</p> <p>_Ingeniería básica (para terceros).</p>	<p>_Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas.</p> <p>_Control de calidad de los procesos</p> <p>_Mejora del layout, programación y mantenimiento.</p> <p>_Desarrollo de capacidades organizacionales.</p> <p>_Mejora de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales.</p>	<p>_Pruebas en plantas piloto y prototipos factible.</p> <p>_Adaptaciones menores mejoras incrementales del producto (para un tercero) y/o servicio.</p> <p>_Supervisión y control de calidad de productos y/o servicios.</p>	<p>_Conocimiento general de clientes, proveedores, competencia, IES e CI.</p> <p>_Búsqueda de vínculos.</p> <p>_Servicio social, estancias profesionales e intercambios (universidad-empresa / empresa-empresa).</p> <p>_Acuerdos de cooperación con empresas.</p>
Capacidades intermedias	<p>_Departamento formal de I+D</p> <p>_Investigación de complejidad media</p> <p>_Promoción de la creatividad y la inventiva del personal.</p> <p>_Desarrollo de la formulación y/o diseños de prototipos.</p> <p>_Pruebas a nivel laboratorio.</p>	<p>_Búsqueda, evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar y proveedores.</p> <p>_Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos.</p> <p>_Negociación con proveedores</p> <p>_Administración del proyecto(s) completos.</p>	<p>_Inversión en I+D</p> <p>_Inversión y adquisición en cambio tecnológico (equipos, tecnologías, etc.)</p> <p>_Inversión en licenciamientos y permisos de PI.</p> <p>_Capacitación técnica y operativa del personal.</p> <p>_Administración y seguimiento del proyecto.</p> <p>_Ingeniería a detalle (para terceros)</p>	<p>_Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching)</p>	<p>_Diversas certificaciones</p> <p>_Diseño incremental de nuevos productos y/o servicios (para un tercero).</p> <p>_Soluciones biotecnológicas a problemas del área de alimentos.</p>	<p>_Transferencia de tecnología</p> <p>_Vinculación con clientes, proveedores, IES y CI.</p>

Capacidades avanzadas	<ul style="list-style-type: none"> _ Prototipo terminado _ Pruebas en plantas piloto _ Solicitud de licenciamiento de PI. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Desarrollo de nuevos procesos y sistemas de producción 	<ul style="list-style-type: none"> _ Inversión en plantas pilotos y laboratorios propios. _ Actividades de formación y crecimiento de capital humano. _ Diseños de procesos y desarrollo de la I+D relacionada. -Adaptaciones menores a maquinaria y equipo. -Manejo de regulaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Innovaciones de procesos _ Patentes en métodos. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Innovación de productos y/o servicios (para un tercero). _ Patentamiento de productos. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Colaboración con empresas para desarrollos tecnológicos, biomanufactura y/o distribución. _ Colaboración en desarrollos tecnológicos con clientes, proveedores y socios.
	<p style="text-align: center;">Aprendizaje tecnológico: Adquisición y/o absorción de habilidades, experiencia y conocimientos internos y externos para generar y fortalecer el cambio técnico.</p>					

Fuente: elaboración propia

4.4.3 Capacidades tecnológicas de I+D: Nutravia las ha desarrollado en sus tres niveles, la esencia de la empresa es realizar investigación, desarrollo e innovación (I+D+I); periódicamente hacen vigilancia tecnológica, *scouting* y un análisis del estado del arte para brindar la mejor propuesta de solución biotecnológica a sus clientes. Una vez concretado algún proyecto, Nutravia está involucrada en todas las fases de la investigación aplicada: desde el planteamiento del problema, diseño y desarrollo de la tecnología o formulación, validación conceptual, prototipos, escalamiento hasta el primer lote. Llevar a cabo todo este proceso de I+D implica para la empresa estar inmiscuida en una dinámica de aprendizaje constante, generación de conocimiento e innovación abierta; mismos que traducen en artículos, patentes, mejoras de procesos, valor agregado a productos existentes o productos innovadores en el área de alimentos y nutrición.

Por otro lado, la empresa ha licenciado patentes al IPN para validarlas y seguir desarrollándolas dado que fueron generados por los socios de Nutravia, pero dentro de la institución; realiza distintos proyectos de investigación colaborativa con IES y CI e investigación por contrato con algunos investigadores en áreas específicas; es decir, la empresa no solo aprovecha la disponibilidad de conocimientos internos que poseen, sino que también asimilan conocimiento externo para potencializar sus capacidades científicas-tecnológicas así realizar investigación con un grado de madurez y complejidad mayor y responder creativamente al mercado.

4.4.4 Capacidades tecnológicas de inversión: la empresa tiene capacidades básicas intermedias y avanzadas tanto en la *toma de decisiones y control* como en la *preparación y ejecución del proyecto*. El Manual de Procedimientos Administrativos y de Operación elaborado por la empresa facilita la toma de decisiones de ésta, dado que establece con claridad el plan estratégico que seguirá la empresa en cada proyecto interno⁹⁷; optimizando el monitoreo de los estudios de factibilidad técnica-económica, la selección de la tecnología en base a los requerimientos específicos de cada proyecto⁹⁸, el reclutamiento del personal⁹⁹ y la administración completa del proyecto.

Nutravia también tiene establecidos diagramas de flujo y etapas claramente definidos que les permite preparar y ejecutar un proyecto desde el nivel más básico hasta el diseño de procesos y desarrollo de la I+D (Amaro & Sánchez, en prensa); tanto el manual como los diagramas son ejemplos claros del desarrollo de capacidades tecnológicas resultado de un proceso de aprendizaje previo. Así mismo, para que la empresa adquiera y construya su infraestructura fue necesario además del financiamiento propio, concursar y acceder a Fondos que Conacyt tenía como parte del PEI¹⁰⁰; el 80% de sus reinversiones han sido dedicadas a generar infraestructura (laboratorios, planta piloto, equipos y maquinaria, entre otros). No obstante, refieren que también invierten en la capacitación operativa, (“de nada sirve tener la mejor tecnología, sino la saben usar e interpretar”), en la formación¹⁰¹ y crecimiento del capital humano, los impulsan a formar sus propias empresas o incluso pueden llegar a ser socios de Nutravia.

4.4.5 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización: se identifican capacidades básicas, intermedias y avanzadas relacionadas con los procesos. La empresa cuenta con un mecanismo de formación de grupos de trabajo (doctores, maestros y becarios) para realizar pruebas, eliminar fallas, calibrar equipos y garantizar la calidad de los procesos; y con habilidades para realizar adaptaciones tecnológicas, mejoras en los procesos e incluso innovaciones en procesos, que implican licenciamientos a terceros. Así

⁹⁷ El Manual incluye procedimientos sobre las actividades involucradas en el asesoramiento tecnológico, la administración y finanzas, propiedad intelectual y el financiamiento, los estudios de factibilidad técnico-económico, la vigilancia tecnológica y la gestión de proyectos (Amaro y Sánchez, 2020).

⁹⁸ De manera general la evaluación y selección de tecnología, equipo y materiales toma en cuenta los estándares de calidad y los tiempos de entrega.

⁹⁹ Buscan colaboradores con maestría o doctorado, experiencia en el área, habilidades técnico-productivas y ética.

¹⁰⁰ Es necesario mencionar que actualmente la empresa se financia a partir de los proyectos privados que realiza, aunque todavía no ha logrado generar estabilidad; por lo que está en constante búsqueda de un equilibrio entre los diferentes proyectos para poder cubrir sus costos todo el tiempo.

¹⁰¹ Los colaboradores participan de diversos congresos, cursos con especialistas en algún tema, pasantías en empresas, etc.

mismo, un conjunto de actividades rutinarias le ha permitido a la empresa mejorar su eficiencia operacional y generar capacidades en la gestión y organización.

(*) En cuanto a las actividades centradas en el producto Nutravia ha desarrollado capacidades básicas y algunas con rasgos intermedios y avanzados. La empresa al funcionar una plataforma tecnológica no genera productos para el mercado, pero si los desarrolla a petición de sus clientes, a quienes brinda soluciones biotecnológicas a la medida (adaptaciones, mejoras incrementales o ingredientes para usarlos en productos, otros); y en algunos casos han generado patentes de productos propios con la finalidad de ser licenciados o en su defecto Bioagrovia se ha encargado de producirlos a gran escala y comercializarlos. “Esto es así porque para la producción se requieren capacidades distintas y estándares de calidad que no se han enfocado a desarrollar”¹⁰².

4.4.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación: La vinculación e interacción con empresas, IES y CI es parte clave y cotidiana del proceso de I+D que realiza Nutravia; en este sentido, ha desarrollado capacidades en los tres niveles. La empresa está en constante interacción con sus clientes (otras empresas), con quienes trabaja en un ambiente de apertura, confianza y confidencialidad, logrando incluso estancias y movilidad entre empresas. Además, las empresas incubadas por Nutravia mantienen un sólido vínculo con esta, comparten infraestructura, conocimientos y personal; logrando claramente complementar sus capacidades científico-tecnológico y lograr sus objetivos estratégicos.

La empresa ha generado también relaciones fuertes con IES; por un lado, siguiendo el esquema de colaboración del CIBA, la empresa promueve y gestiona convenios tripartitos (empresa-Nutravia-IES) para que los estudiantes se formen haciendo su tesis en empresas; y por otro lado, Nutravia tiene acuerdos de colaboración con algunos investigadores en temas específicos y acuerdos para acceder al uso de infraestructura de las instituciones ya que hay equipos que son muy costos y especializados con los que no cuenta la empresa¹⁰³. Es importante mencionar que la empresa cuenta con una política estandarizadas de transferencia del conocimiento (ya sea por consultoría o por licenciamientos) para establecer los criterios en torno a la propiedad intelectual, comercialización y posible conflicto de intereses de las innovaciones y enlaces tecnológicos generados, desarrolladas, ejecutadas o gestionadas por Nutravia. Lo expuesto párrafos

¹⁰² (Amaro y Sánchez, en prensa).

¹⁰³ Hay equipos en biotecnología que cuestan alrededor de 15 a 30 millones de pesos, y la empresa solo lo usaría 1 vez cada dos años; por lo que es más redituable acceder a ellos a través de un convenio de uso de infraestructura.

arriba habla de un nivel avanzado de capacidades tecnológicas de vinculación e interacción.

4.5) METCO

4.5.1 Características de la empresa

Metco es una empresa mexicana dedicada a la investigación, desarrollo, producción y comercialización de edulcorantes bajos y sin calorías, azúcares de alto rendimiento, invertidos y mascabados, tanto para el consumo directo como para la industria. Lleva 25 años suministrando a sus clientes endulzantes innovadores, inocuos y con los más altos procesos de calidad, que cumplen con las regulaciones nacionales e internacionales. La empresa se caracteriza por estar inmersa en un proceso de mejora continua, innovación, trabajo en equipo y colaboración; y por promover la equidad de género.

Fue fundada en 1991 por el economista Héctor Álvarez, quien tras perder su empleo en la Unión Nacional de Productores de Azúcar puso en práctica algunas ideas que tenía para la empresa estatal. Les propuso a dos ingenieros químicos (excompañeros) desarrollar la cocrystalización de esteviósidos¹⁰⁴ con la sucralosa, ya que él había estudiado por mucho tiempo los esteviósidos en Paraguay; iniciaron la investigación y desarrollo utilizando los laboratorios del IPN y en 1993 lograron patentar este desarrollo tecnológico. No obstante, necesitaban llevar su desarrollo a escala comercial pero no contaban con los recursos para instalar una planta, por lo que en un inicio maquilaron su producto (Azúcar BC).

En el proceso que Azúcar BC lograra salir al mercado, la empresa también identificó otra oportunidad, en ese tiempo la azúcar aún se vendía en botaderos, pero generaba muchas pérdidas; el dueño de Metco realizó un estudio de las mermas que generaba Walmart usando este tipo de distribución y les propuso empaquetar su azúcar, convirtiéndose en pionero en esta actividad, pero cómo era muy fácil de realizar en unos años tuvo muchos competidores. Su fundador comenta que aprendió una gran lección “si no innova uno, pues va a ser muy fácil que cualquiera le robe la idea y te saque del mercado”. Desde entonces la historia de la empresa está marcada por la investigación, desarrollo e innovación, actualmente cuenta con diez productos en el mercado (ver figura 19).

¹⁰⁴ Es uno de los azúcares obtenidos naturalmente de Stevia rebaudiana.

Figura 19: Historia de Metco®



Fuente: elaboración propia en base a Metco (2020).

Cabe resaltar que Metco es una empresa activa en biotecnología ya que utiliza una o más técnicas biotecnológicas en la I+D o producción de sus productos, inicio sus actividades

con 3 trabajadores y actualmente cuenta con 700; producto de este crecimiento es que la empresa no solo tiene presencia a nivel nacional sino también en distintos países del extranjero. La estrategia de I+D colaborativa de Metco le ha permitido estar a la vanguardia de los últimos desarrollos tecnológicos en su área; y su estrategia comercial de diversificar sus productos y ofertarlos en distintas presentaciones, se han traducido en una mayor cuota de mercado; lo que ha llevado a Metco a posicionarse como una de las mejores empresas de edulcorantes bajos en calorías en México. La tabla 23 muestra sus características más importantes.

Tabla 23: Características generales de la empresa METCO	
Año de creación	Fundada en el año 1991.
Origen del capital	Capital nacional (empresa 100% mexicana).
Incubación o spin-off	NO
Tamaño de la empresa	Empresa grande (más de 250 trabajadores).
Tipo de empresa (*)	Empresa activa en biotecnología en el área de endulzantes sin y bajos en calorías, de alto rendimiento, invertidos y mascabados.
Campo de aplicación	Biotecnología amarilla (industria alimentaria)
Productos (utilizando técnicas biotecnológicas) o servicios	-Azúcar BC, Mascabado, Svetia, DB Sugar, Sweet-O, Piloncillo, Mascabado BC, Monkia, Azúcar glass, Svetia Blend, ConfiSweet. -Food Service para profesionales de hoteles, restaurantes y cafetería.
Participación en el mercado	35 % del mercado.
Ventas	Han aumentado.
Exportaciones	Estados Unidos, Canadá, España, Guatemala, Panamá, Venezuela y Costa Rica.
Importaciones	Algunos equipos y maquinaria.
Competidores	Empresas nacionales y extranjeras productoras de edulcorantes y azúcar bajas en calorías
Clientes	-Consumidores directos e industria.
Proveedores	Nacionales y extranjeros.
Vinculaciones	Empresas privadas, IES y CI.
Estrategia de negocio	I+D colaborativa y propia.

Fuente: elaboración propia

4.5.2 Capacidades tecnológicas:

La innovación en Metco ha sido la clave para que logre ser competitiva en el mercado nacional e internacional durante más de 25 años; este proceso implicó aprendizaje continuo, adquisición y asimilación de conocimientos y el desarrollo de capacidades

tecnológicas con distintos grados de madurez (ver tabla 24). Se identifican capacidades básicas y rasgos de intermedias y avanzadas en actividades de I+D, dado que sus desarrollos tecnológicos surgen a partir de la investigación colaborativa con empresas científicas-tecnológicas especializadas en biotecnología; no obstante, la empresa cuenta con un área de I+D interna que trabaja en coordinación con su par, laboratorios con equipo básico y plantas piloto para validar resultados.

Relacionado con las actividades de inversión Metco ha desarrollado capacidades básicas e intermedias en toma de decisiones y control, mientras que relacionado con las actividades de preparación y ejecución del proyecto ha desarrollado capacidades en sus tres niveles. La empresa ha invertido en cambio tecnológico, infraestructura propia, I+D, capacitación operativa, vigilancia tecnológica en proteger sus desarrollos y promocionar sus productos; además, cuenta con un equipo multidisciplinario especialista en distintas áreas que toman decisiones y ejecutan actividades basados en criterios establecidos.

Por otro lado, en lo que se refiere a las actividades centradas en el proceso y en el producto Metco ha desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas. La empresa cuenta con un área de control de calidad y una planta de manufactura a gran escala para producir endulzantes innovadores, inocuos y con los más altos procesos de calidad; su política de mejora continua le ha permitido innovar tanto en procesos como en productos, realizar mejoras incrementales y adaptaciones a las necesidades del mercado. Así mismo, su estrategia comercial y de mercadotecnia (diversificación de productos, distintas presentaciones y publicidad) ha permitido a la empresa acceder a nuevos clientes y aumentar su cuota de mercado.

Finalmente, se identifican capacidades básicas, intermedias y avanzadas relacionadas con las actividades de interacción y vinculación, mismas que han permitido a la empresa acceder a distintas fuentes de conocimientos y lograr acuerdos importantes para aumentar su rentabilidad. Estas relaciones de colaboración se han desarrollado con mayor fuerza con empresas biotecnológicas relacionadas al área de alimentos y a través de estas con IES, Metco ha hecho la vinculación parte de su proceso de investigación y desarrollo. De la misma forma, la interacción dinámica con sus socios comerciales se ha traducido en mayores ventas.

Tabla 24: Matriz de Capacidades Tecnológicas para METCO

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Procesos	Productos y/o servicios	
Capacidades básicas	<ul style="list-style-type: none"> _Área y/o estrategia de I+D _Vigilancia tecnológica e inteligencia competitiva. _Planteamiento de problemas tecnológicos _Diseño de procesos para el desarrollo de la investigación _Investigación de baja complejidad 	<ul style="list-style-type: none"> _Estimación de desembolsos (presupuestos). _Monitoreo activo y control de: estudios de mercado, factibilidad, selección de tecnologías, proveedores y personal. _Programación de actividades. _Búsqueda de fuentes de financiamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> _ Acceso a financiamiento _ Estudios de factibilidad y de mercado. _Inversión en infraestructura (planeación, preparación, acondicionamiento, construcción o adquisición) * _Permisos y cumplimiento de normas de seguridad, sanidad... _Ingeniería básica 	<ul style="list-style-type: none"> _Formación de grupos para hacer pruebas y eliminar fallas. _Control de calidad de los procesos. _Mejora del layout, programación y mantenimiento. _Desarrollo de capacidades organizacionales. _Mejora de la eficiencia a partir de las rutinas operacionales 	<ul style="list-style-type: none"> _Pruebas en plantas piloto y prototipos factible. _Focus Group con clientes. _Permisos por parte de Cofepris. _Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales del producto y/o servicio _Supervisión y control de calidad de productos y/o servicios. _Registros de productos 	<ul style="list-style-type: none"> _Conocimiento general de clientes, proveedores, competencia, IES e CI. _Búsqueda de vínculos. _Estancias profesionales e intercambios (empresa-empresa). _Acuerdos de cooperación con empresas. _Participación en eventos relacionados
Capacidades intermedias	<ul style="list-style-type: none"> _Investigación de complejidad media (a través de colaboraciones). _Pruebas a nivel laboratorio (referente a control de calidad). 	<ul style="list-style-type: none"> _Búsqueda, evaluación y selección de tecnologías, equipo estándar y proveedores. _Reclutamiento de personal de trabajo y/o contratación de asesoría y servicios técnicos. _Negociación con proveedores _Administración del 	<ul style="list-style-type: none"> _Inversión en I+D _Inversión y adquisición en cambio tecnológico (equipos, tecnologías, etc.). - Inversión en mercadotecnia. _Capacitación técnica y operativa del personal. _Administración y seguimiento del proyecto. _ Ingeniería a detalle 	<ul style="list-style-type: none"> _Mejora del proceso y estiramiento de capacidades de producción (stretching) _Introducción de cambios organizacionales. 	<ul style="list-style-type: none"> _Diversas certificaciones _Producción a gran escala de productos (manufactura). _Diseño incremental de nuevos productos y/o servicios. 	<ul style="list-style-type: none"> _Vinculación con clientes, proveedores, IES, CI y empresas. _Utilización de instalaciones y paquetes tecnológicos de las universidades y/o empresas.

		proyecto(s) completos.				
Capacidades avanzadas	<ul style="list-style-type: none"> _Solicitud de propiedad intelectual. _Pruebas en plantas piloto 		<ul style="list-style-type: none"> _Inversión relacionada a la PI. _Inversión laboratorios, plantas piloto y/o plantas de producción propios. _Manejo de regulaciones. _Actividades de formación y crecimiento de capital humano. _Adaptaciones menores a maquinaria y equipo. 	<ul style="list-style-type: none"> _Innovaciones de procesos. -Protección de las innovaciones o mejoras en procesos. 	<ul style="list-style-type: none"> _Innovación de productos y/o servicios. _Patentamiento de productos. _Marketing y comercialización de productos. _Adaptaciones menores a maquinaria y equipo 	<ul style="list-style-type: none"> _Colaboración con empresas para desarrollos tecnológicos, biomanufactura y/o distribución.
Aprendizaje tecnológico: Adquisición y/o absorción de habilidades, experiencias y conocimientos internos y externos para generar y fortalecer el cambio técnico.						

Fuente: elaboración propia

4.5.4 Capacidades tecnológicas de I+D: Metco ha desarrollado capacidades básicas y rasgos de avanzadas relacionadas a la I+D, ya que, si bien cuenta con un área de investigación y desarrollo para identificar problemas, validar algunos desarrollos y escalarlos a nivel industrial, está dirigida especialmente para trabajar temas relacionados al control de calidad; no es su objetivo realizar todas las fases de la I+D. No obstante, la empresa para ser competitiva en el mercado y poder innovar, realiza investigación más compleja a través de su estrategia de I+D colaborativo con empresas biotecnológicas dedicada a la I+D relacionadas con el área de alimentos y nutrición.

De esta manera, el equipo de investigación interna de Metco trabaja en paralelo con su par, la empresa biotecnológica se encarga del desarrollo de la tecnología, de hacer distintas pruebas de laboratorio y Metco se encarga de llevarlo a una escala piloto para validar los resultados; esto implica movilidad de los colaboradores entre ambas empresas, retroalimentación constante y aprendizaje tecnológico. Así mismo, para estar a la vanguardia de las últimas tendencias en alimentos bajos en calorías e indagar que ésta haciendo la competencia, la empresa realiza vigilancia tecnológica, participa en food enineering y en ferias internacionales relacionadas con su área; así llegan a nuevo punto de partida que guían la dinámica de la investigación.

4.5.4 Capacidades tecnológicas de inversión: la empresa tiene capacidades básicas e intermedias en *la toma de decisiones y control*; la formación, la experiencia profesional en la industria del azúcar y el espíritu emprendedor de su fundador han sido claves para la toma de decisiones en un primer momento; pero más adelante estas fueron complementadas con una serie de actividades como: estudios de factibilidad técnico-económico, estudios de mercado, estimación de desembolsos, reclutamiento del personal, selección de tecnologías, equipo y proveedores en base a criterios definidos. Ahora cuentan con áreas formales de: I+D, recursos humanos, mercadotecnia, finanzas, manufactura, ventas y asesoría jurídica.

Mientras que, en las capacidades necesarias para la *preparación y ejecución de proyectos* tienen capacidades básicas, intermedias y avanzadas que las fueron consolidando cada año. La inversión en infraestructura propia tomo su tiempo, al inicio la empresa maquilaba su producción con terceros, después alquilo una planta en Irapuato para desarrollar y producir jarabes invertidos, y poco a poco fueron invirtiendo en cambio tecnológico; actualmente cuentan con laboratorios de análisis de calidad¹⁰⁵, equipo básico para la I+D, planta piloto y planta de producción propia.

Algunas de las actividades de la empresa fueron cofinanciadas a través de fondos públicos que antes otorgaba Conacyt; estas sirvieron especialmente para adquirir equipo de laboratorio y poder realizar investigación aplicada, “que a lo mejor con recursos propios no hubiera sido posible llevarlas a cabo en ese entonces”, tal como comenta su fundador. Ahora Metco tiene la capacidad para financiar todas sus actividades, incluidas las de I+D, aunque el mayor porcentaje de reinversión se destina a mercadotecnia. Por otro lado, su política de reclutamiento, capacitación y crecimiento profesional¹⁰⁶ han dado buenos resultados ya que la rotación de personal es baja (no hay fuga de capital) y los objetivos estratégicos de la empresa se han cumplido.

4.5.4 Capacidades tecnológicas de producción y comercialización: se identifican capacidades básicas, intermedias y avanzadas tanto en las actividades centradas en el *proceso* como en el *producto*. Metco ha desarrollado distintas habilidades, conocimientos y capacidades para producir y comercializar; cuentan con un departamento de control de

¹⁰⁵ Todo lo necesario para medir cenizas, humedad, color, resistencia y viscosidad a nivel.

¹⁰⁶ La selección del personal se basa en la: experiencia, formación, habilidades, pero sobre todo en la actitud; buscan siempre promover la equidad laboral, aproximadamente el 60% de colaboradores y directivos de Metco son mujeres. Así mismo, les dan facilidades y apoyos para que puedan realizar estudios de posgrado y crecer dentro de la empresa, un claro ejemplo de ello es la directora general de Metco, quien inicio como investigadora.

calidad encargado de asegurar que se cumplan todos los estándares de calidad durante el proceso y en caso de fallas detectar en qué área se originaron para subsanarlas. Así mismo, cumplen con la norma internacional ISO 14001, cuentan con los sellos de Orgánico SAGARPA México y USDA Orgánico y con las certificaciones Kosher y FSSC 22000 que garantizan productos de calidad, inocuos y responsables con el medio ambiente.

La empresa realiza estudios previos del potencial del mercado, costos y rentabilidad y una vez que cuenta con la formulación lleva a cabo distintos focus group para validar el producto en el mercado; luego, inicia un proceso de negociación con los compradores de la tienda para que autoricen la venta del producto, cuando estos dan el alta recién empieza la manufactura a gran escala y el marketing por distintos medios (redes sociales, televisión, degustación, puntos de venta, entre otros). Esta dinámica le ha permitido a la empresa mejorar su eficiencia y realizar adaptaciones de sus productos a las necesidades del mercado. Así mismo, Metco cuenta con habilidades para adaptaciones tecnológicas y nuevos desarrollos tecnológicos; a lo largo de estos 25 años en el mercado la empresa ha realizado mejoras incrementales a los productos, innovaciones en procesos y productos que han sido protegidos; a la fecha cuenta con 8 patentes vigentes en México y el extranjero, 70 marcas y varios secretos industriales.

4.5.6 Capacidades tecnológicas de interacción y vinculación: referente a estas actividades Metco ha desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas. Realiza periódicamente un mapeo general de sus clientes actuales y potenciales, proveedores y competidores; la interacción con los primeros le ha permitido realizar mejoras constantes que satisfagan las necesidades del cliente (dado que un producto que no tiene anaquel sale del mercado); las negociaciones con sus proveedores le han permitido disminuir costos, por ejemplo, antes importaban la Stevia pero ahora tiene contratos con agricultores mexicanos de Chiapas, Sinaloa y Nayarit para sembrarla; y finalmente, analiza a la competencia para poder superarla. También, participa en eventos y discusiones con una red de industriales para dar propuestas de solución a problemas alimenticios que afectan a México.

Referente a las vinculaciones con los CI, IES y empresas, observamos que Metco no tiene convenios con CI¹⁰⁷, si bien, en un inicio se buscó un acercamiento con el Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas y Tecnología Avanzada (CICATA) para realizar

¹⁰⁷ Cabe mencionar que en algún momento la empresa tuvo una colaboración muy pequeña con Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño (CIATEJ)

investigación sobre productos derivados del azúcar no se concretó nada porque el centro no contaba con alguien que estuviera investigando ese tema. No obstante, los vínculos más estrechos se han generado con empresas científico-tecnológicas especializadas en biotecnología, especialmente para realizar investigación y desarrollos tecnológicos colaborativos; estas colaboraciones implican: el desarrollo de los tres niveles de capacidades, compartir infraestructura, feedback constante, movilidad de colaboradores, adquirir y asimilar conocimiento externo; así mismo, la empresa biotecnológica gestiona de colaboración entre Metco y la academia a través de estancias de investigación aplicada¹⁰⁸. Así mismo, los acuerdos generados con sus socios comerciales como: Soriana, La Comer, Grupo Walmart, entre otros., le han permitido obtener distintos beneficios, diversificar sus puntos de venta y posicionarse en el mercado.

4.6. Síntesis de resultados

Después de analizar la evidencia empírica encontramos que las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario han desarrollado capacidades tecnológicas con distintos grados de madurez relacionadas a actividades de I+D, inversión, producción, comercialización, interacción y vinculación. En síntesis, las empresas biotecnológicas mexicanas a lo largo del tiempo han desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas tanto en las actividades de I+D como en las actividades de vinculación e interacción; mientras que relacionadas con las actividades de inversión que a su vez se dividen en dos: toma de decisiones y control, y preparación y ejecución de proyectos, han desarrollado básicas e intermedias; referente a las actividades de producción de procesos tiene capacidades básicas, intermedias y rasgos de avanzadas y en producción y comercialización de productos han desarrollado capacidades básicas con rasgos de intermedias y avanzadas (ver tabla 25).

Tabla 25: Síntesis de los resultados de las CT de las empresas estudiadas

	Actividades de investigación y desarrollo	Actividades de inversión		Actividades de producción y comercialización		Actividades de interacción y vinculación
		Toma de Decisiones y control	Preparación y ejecución de proyectos	Centras en el proceso	Centradas en el producto	
Capacidades básicas	Biofábrica siglo XXI Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnia Applied Biotec	Biofábrica Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco

¹⁰⁸ Estudiantes de posgrado pueden desarrollar su tesis en la empresa.

Capacidades intermedias	Biofábrica siglo XXI Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnica Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnica Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnica Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Metco	Biofábrica Agro&Biotecnica Applied Biotec Nutravia Metco
Capacidad es avanzada	Biofábrica siglo XXI Agro&Biotecnia Applied Biotec Nutravia Metco	Nutravia	Biofábrica Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnica Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Applied Biotec Nutravia Metco	Biofábrica Agro&Biotecnica Applied Biotec Nutravia Metco

■ Han desarrollado esa capacidad ■ Se identifican rasgos de esa capacidad

Estas capacidades tecnológicas desarrolladas por las empresas estudiadas tienen su base en la interacción con el entorno biotecnológico, en el aprendizaje tecnológico individual y colectivo generado a lo largo de los años, en las habilidades, conocimientos y experiencias del capital humano especializado con el que cuentan las empresas y en el contexto en el que se desempeñan. Entonces, el proceso de buscar, seleccionar, adquirir, asimilar, adaptar y/o crear nueva tecnología ha dependido de factores específicos de las empresas, así como del contexto y de factores externos a esta (como la legislación, el marco regulatorio, programas gubernamentales, capacidades biotecnológicas del país, cultura y preferencias de los clientes, entre otros).

En este sentido, es importante mencionar que la tecnología va más allá que los objetos y las técnicas, tal como lo expresan Villavicencio & Arvanitis (1994), la tecnología es “simultáneamente información y conocimientos codificables acumulados en los procesos de desarrollo de la ciencia y la técnica, así como información y conocimientos no codificables acumulados en experiencias de aprendizaje individuales y colectivos”. De allí que el aprendizaje tecnológico interrelacionado con el factor tiempo juega un papel crucial en el desarrollo de las capacidades tecnológicas.

Las empresas estudiadas tienen diferentes edades (que van desde los 3 años hasta los 29 años desde su creación) por lo que han acumulado diferentes experiencias internamente y en relación con su contexto y, por ende, la forma cómo y cuándo han desarrollado las capacidades tecnológicas es distinto. Del mismo modo, las empresas han estado inmersas en un continuo aprendizaje tecnológico para utilizar el conocimiento tecnológico de manera efectiva. No obstante, han aprendido de diferente manera ya sea haciendo, usando y/o interactuando y lo han hecho a distintos ritmos e intensidades; mismos que se exponen a continuación.

Biofábrica Siglo XXI, alcanzó más rápidas capacidades avanzadas de producción de procesos y vinculación externa porque desde sus inicios el modelo de innovación de la empresa se centró en la vinculación con diversos agentes; mientras que las capacidades de investigación y desarrollo (I+D) e inversión tomaron mayor tiempo para fortalecerse. Aprendieron en el proceso de usar la tecnología y al interactuar con el CCG para poder extender la vida de anaquel del desarrollo tecnológico licenciado y así poder escalarlo a nivel industrial; la interacción con Stela Genomics les ha permitido ampliar sus posibilidades de desarrollo referente al genoma; tanto con los agricultores como con los consultores especializados hay un feedback constante. No obstante, las actividades relacionadas con la ingeniería básica, ingeniería de detalle y el diseño de la planta de I+D se ha realizado mediante la asesoría del consejo consultivo y en su mayoría han sido externalizadas.

Para Agro&Biotecnia tanto las actividades de I+D como las actividades de inversión avanzaron a un ritmo similar, ya que era indispensable contar con financiamiento público para seguir avanzando a etapas de investigación más complejas. La interacción y vinculación entre el IBt y el CIAD fue clave para desarrollar tecnología, complementar sus CT y fortalecer su aprendizaje ya que el CIAD tenía capacidades en fitopatología y el IBt en fermentación y escalamiento. La empresa ha formado grupos de trabajo en diferentes áreas que en conjunto se retroalimentan y transmiten sus conocimientos.

Por su parte, las capacidades tecnológicas que ha desarrollado Applied Biotec tienen su base en procesos de aprendizaje provenientes de la adquisición de cambio tecnológico, la adaptación y mejora al equipo ya que se han diseñado y adaptado partes del equipo y la maquinaria para responder a las necesidades específicas de los procesos; de la retroalimentación recibida por parte de los evaluadores de los concursos que han participado; y de la interacción con distintas asociaciones e instituciones. Los colaboradores de la empresa transfieren su conocimiento y retroalimentan sus aprendizajes a través de la técnica Scrom; además, realizan ciencia métrica y minería de datos constantemente.

Nutravia ha sistematizado un conjunto de aprendizajes obtenidos en el tiempo en un Manual de procedimientos Administrativos y de operación. Diseñan, desarrollan, patentan y transfieren tecnología; aprovechan la disponibilidad de conocimientos internos y habilidades técnico-productivas que poseen; asimilan conocimientos externos y complementan sus CT al interactuar con el ecosistema de empresas construidas a su alrededor, otras empresas e instituciones. Con el tiempo han aprendido mediante la práctica, el uso y adaptación del equipo y maquinaria; actualmente también realizan ingeniería básica y a detalle y asesoran a otras empresas en estos temas.

Por otro parte, Metco cuenta con habilidades para adaptaciones y nuevos desarrollos tecnológicos, cuya base de aprendizaje está en su estrategia de investigación colaborativa con empresas científicas-tecnológicas especializadas en biotecnología, retroalimentación constante y movilidad de colaboradores. La empresa biotecnológica se encarga del desarrollo de la tecnología, de hacer distintas pruebas de laboratorio y Metco se encarga de llevarlo a una escala piloto para validar los resultados. También generaron aprendizaje en el proceso de negociación con sus socios comerciales; mismos que le permitieron lograr acuerdos importantes para aumentar su rentabilidad.

Además, encontramos que el grado de madurez de las capacidades tecnológicas en las empresas biotecnológicas mexicanas no precisamente sigue una secuencia, ya que hay actividades que se desarrollan con mayor rapidez, mientras que otras toman más tiempo o se desarrollan de manera paralela dependiendo del contexto, de los objetivos, tipo y edad de la empresa. Los desarrollos tecnológicos de las empresas implican el uso de distintas técnicas biotecnológicas, equipos especializados, recursos humanos calificados y estar inmersos en una constante dinámica de aprendizaje e innovación. En términos de tiempo, si bien las empresas más antiguas han consolidado el desarrollo de capacidades tecnológicas; en general observamos que el tipo de CT desarrolladas por las empresas han dependido en gran medida de los objetivos, su base de aprendizaje tecnológico e interacciones de las empresas con su entorno.

Se observa que las empresas han recorrido un proceso difícil y largo para desarrollar capacidades de asimilación y absorción ya que este ha implicado comprender la tecnología, dominar su aplicación y usarla; también ha involucrado llevar a cabo un conjunto de actividades para profundizar en el conocimiento de equipos, procesos, productos o servicios, es decir, las empresas han interlazado y dominado las tecnologías propias o adquiridas para mejorarlas y desarrollar nuevas tecnologías. Por otro lado, se encuentra que la mayoría de las empresas han desarrollado capacidades de adaptación y modificación de equipos, ajustes en los procesos, ajustes en la producción y calidad de productos, ajustes para responder a las necesidades del mercado, entre otros.

Los primeros desarrollos tecnológicos de las empresas estudiadas se realizaron dentro de IES y CI; a excepción de Metco que lo hizo de manera independiente. Biofábrica Siglo XXI licenció un desarrollo tecnológico del CIFI de la UNAM para poder explotarlo; Applied Biotec y Nutravia también licenciaron desarrollos del IBt y del CIBA respectivamente, pero con la particularidad que estos fueron desarrollados por sus fundadores cuando eran estudiantes; y en el caso de Agro&Biotecnia, tanto la creación de la empresa como el licenciamiento se

da ante la imposibilidad de generar vinculación entre academia-empresa privada. Lo anterior, corrobora la teoría que la biotecnología es una tecnología intensiva en conocimiento científico. Además, encontramos que en todos los casos la transferencia de tecnología produjo aprendizaje tecnológico.

Se observa que la I+D+I ha sido un factor clave para que las empresas puedan generar conocimiento tecnológico e innovar tanto en procesos como en productos y así ser competitivas en el mercado. Estas actividades les han permitido a las empresas desarrollar habilidades para realizar adaptaciones tecnológicas, mejoras incrementales a los desarrollos licenciados, y generar nuevos desarrollos tecnológicos; estos a su vez han sido protegidos a través de patentes o secretos industriales para reducir la probabilidad de ser imitados. A la fecha todas las empresas analizadas cuentan con productos en el mercado y desarrollos susceptibles de ser comercializados. Alcanzar capacidades avanzadas y realizar investigación más compleja implicó para las empresas utilizar una estrategia de I+D propio y colaborativo; y tomo mucho tiempo por la misma naturaleza de estas actividades.

Las inversiones más fuertes por parte de las empresas se han realizado en infraestructura y cambio tecnológico a través de diferentes fuentes de financiamiento: propias, privada y fondos públicos que antes otorgaba Conacyt. Encontramos que las microempresas (Agro&Biotecnia y Applied Biotec) tienen fuerte dependencia de los fondos públicos para realizar distintas actividades; mientras que las pequeñas y medianas empresas (Biofábrica Siglo XXI, Nutravia y Metco) con el tiempo han fortalecido estas capacidades y han logrado independencia financiera. Por su parte, las empresas dedicadas completamente a la biotecnología la mayor parte de sus reinversiones son destinadas a I+D; en tanto, las empresas activas en biotecnología destinan la mayor parte de reinversiones a mercadotecnia.

Por otro lado, las capacidades de inversión que han desarrollado algunas de las empresas tienen su base en procesos de aprendizaje provenientes de la adquisición de cambio tecnológico, la adaptación y mejora al equipo de la experiencia de sus colaboradores y de la retroalimentación recibida del entorno biotecnológico (clientes, proveedores, socios, otros); así mismo, el conocimiento tácito generado ha sido sistematizado en diferentes manuales de operación y administración. Dado que el capital humano en la biotecnología es fundamental, las empresas invierten en capacitación, promueven, motivan y dan facilidades a sus colaboradores para que puedan seguir desarrollándose; no obstante, encontramos que solo Applied Biotec cuenta con un espacio dedicado a la creatividad y esparcimiento para fomentar la creatividad e inventiva del personal.

En cuanto a las actividades de producción centradas en el proceso, las empresas cuentan con habilidades para realizar adaptaciones tecnológicas, mejoras e innovación en procesos; las actividades rutinarias, así como la constante capacitación les ha permitido desarrollar capacidades de gestión y organización. No obstante, a pesar de que todas las empresas estudiadas cuentan con permisos, certificaciones que garantizan la calidad y registros de los productos (que en todos los casos ha sido una barrera para salir al mercado), externalizan las actividades de producción a gran escala porque no se han enfocado a desarrollar las capacidades necesarias para dedicarse a la producción, lo hacen a través de alianzas estratégicas; excepto de Metco que si cuenta con un departamento de control de calidad y planta de producción. Cada empresa de acuerdo con su mercado y objetivos aplica técnicas de mercadotecnia diferentes.

Se observa solidez en las actividades de interacción y vinculación de las empresas con distintos actores del entorno biotecnológico a lo largo del tiempo, lo cual les ha permitido obtener diferentes fuentes de conocimiento tecnológico para desarrollar actividades más complejas, complementar y fortalecer diversas capacidades tecnológicas y de gestión que van más allá de las capacidades científicas; también, lograr convenios de colaboración importantes para: el uso de instalaciones e infraestructura, investigación colaborativa para nuevos desarrollos tecnológicos, pruebas de laboratorio, pilotos y de campo, biomanufactura y comercialización.

Las vinculaciones se han dado tanto con IES, CI y con empresas; por un lado, con las primeras ha funcionado porque de alguna manera había una relación previa de los fundadores de las empresas con las instituciones o por negociaciones estratégicas; y con las segundas les ha permitido acceder a capacidades que no tienen las empresas, ampliar el horizonte de desarrollos futuros, expandir el mercado y dar propuestas de política pública agroindustrial alimentaria. Finalmente, se identifica que las capacidades de interacción y vinculación están estrechamente relacionadas con las actividades de I+D, producción a gran escala y comercialización.

En síntesis, los casos de empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario analizados en esta investigación representan esfuerzos aislados para desarrollar capacidades tecnológicas y encontrar oportunidades de mercado; por lo que podríamos considerarlos casos exitosos ya que de alguna manera han enfrentado estratégicamente barreras institucionales, de mercado y jurídicas. Aún hacen falta esfuerzos de política pública integral en materia de biotecnología agroalimentaria que de coherencia y articule los esfuerzos aislados en una sola dirección, que de seguridad jurídica

y optimice los recursos; apoyos económicos de largo plazo que sean redituables y tomen en cuenta al mercado; claridad en los mecanismos de transferencia tecnológica y más incentivos para que la investigación universitaria llegue al mercado. Es decir, generar más incentivos que barreras para fomentar la innovación biotecnológica.

Conclusiones y propuesta de un modelo de innovación

Preguntas de investigación

El objetivo de esta investigación ha sido caracterizar y analizar las capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial y alimentario; para ello se recurrió al uso de una matriz de capacidades tecnológicas adaptada para la biotecnología y al uso de estudios de caso múltiples bajo una lógica comparativa en el diseño de la investigación. Se respondieron dos preguntas que guiaron la investigación: 1) ¿Qué tipo de capacidades tecnológicas desarrollan las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario? y 2) ¿Qué factores y relaciones determinan el nivel de capacidades tecnológicas que han desarrollado las empresas biotecnológicas mexicanas del sector agroindustrial alimentario?

La tabla 25 nos ayuda a responder la primera pregunta. En términos generales, se identifica que a lo largo del tiempo las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario han desarrollado capacidades básicas, intermedias y avanzadas tanto en las actividades de I+D como en las actividades de vinculación e interacción; mientras que relacionadas con las actividades de inversión que a su vez se dividen en dos: toma de decisiones y control, y preparación y ejecución de proyectos, han desarrollado básicas e intermedias; referente a las actividades de producción de procesos tienen capacidades básicas, intermedias y rasgos de avanzadas y en producción y comercialización de productos han desarrollado capacidades básicas con rasgos de intermedias y avanzadas.

Y en términos de la segunda pregunta se identifican que el grado de madurez de las capacidades tecnológicas desarrolladas por las empresas estudiadas tienen su base en la interacción con el entorno biotecnológico, en el aprendizaje tecnológico individual y colectivo generado a lo largo de los años, en las habilidades, conocimientos y experiencias del capital humano especializado con el que cuentan las empresas, en la edad de las mismas y en el contexto en el que se desempeñan; los cuales les han permitido a las empresas estar inmersas en una dinámica de innovación. En otras palabras, el proceso de buscar, seleccionar, adquirir, asimilar, adaptar y/o crear nueva tecnología (desarrollar CT) ha dependido de factores específicos de las empresas, así como de factores externos a esta (como la legislación, el marco regulatorio, programas gubernamentales, capacidades biotecnológicas del país, el mercado, contexto económico, social y ambiental).

Se corrobora la hipótesis planteada en esta investigación ya que las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario han

desarrollado capacidades tecnológicas avanzadas en términos de I+D e interacción y vinculación; mientras que relacionadas con las actividades de inversión, producción y comercialización han desarrollado capacidades básicas con rasgos de intermedias y avanzadas. El nivel de madurez y tipo de capacidades tecnológicas que han desarrollado las empresas biotecnológicas mexicanas son diferenciados porque las empresas estudiadas tienen diferentes edades por lo que han acumulado distintas experiencias internamente y en relación con su contexto y, por ende, la forma cómo y cuándo han desarrollado las capacidades tecnológicas es distinto.

Del mismo modo, las empresas han estado inmersas en un continuo aprendizaje tecnológico para utilizar el conocimiento tecnológico de manera efectiva. No obstante, han aprendido de diferente forma ya sea haciendo, usando y/o interactuando y lo han hecho a distintos ritmos e intensidades; las relaciones que han establecido las empresas a lo largo de los años con su entorno marcan ciertas diferencias. La mayoría de las empresas han aprendido en el proceso de realizar vigilancia tecnológica y negociar con los proveedores utilizando distintas estrategias; otras han generado su base de aprendizaje tecnológico al adquirir, instalar, operar y dar mantenimiento a equipos y tecnología; mientras que otras han generado procesos de aprendizaje al adaptar y mejorar el equipo.

En la misma marcha las empresas han aprendido haciendo u operando con diferentes ritmos y han acumulado una base de capacidades tecnológicas que les ha permitido adquirir y asimilar conocimiento externo. Los conocimientos técnicos y operativos han circulado al interior de las empresas de colaborador a colaborador, producto del trabajo en equipo y de la interacción de estos; además, algunas empresas han sistematizado los conocimientos tácitos en diferentes manuales. Pero, probablemente la principal fuente de aprendizaje tecnológico que han logrado las empresas ha sido mediante la interacción con distintos actores de su entorno; las estrechas relaciones establecidas con instituciones, clientes, proveedores y otras empresas les han permitido aprender producto de la transferencia de tecnología, uso de infraestructura, intercambio de colaboradores, desarrollo conjunto de tecnologías, asesorías técnicas externas y retroalimentación de los clientes y proveedores.

Contribuciones y reflexiones generales

Las taxonomías de capacidades tecnológicas propuestas anteriormente han sido útiles para analizar empresas manufactureras; no obstante, para estudiar a empresas biotecnológicas fue necesario replantear la lógica de la matriz y adaptar algunos segmentos teniendo en cuenta las características, requerimientos y particularidades de esta tecnología. En este sentido, una primera aportación teórica metodológica de este trabajo es la propuesta propia

de una matriz de capacidades tecnológicas para la biotecnología agroindustrial alimentaria, la cual representa un primer acercamiento para medir de forma alternativa las capacidades tecnológicas; aunque se reconoce que esta puede ser mejorada y ampliada a otro tipo de biotecnología en investigaciones futuras.

El trabajo también implicó definir al sector agroindustrial alimentario, identificar y clasificar a las empresas biotecnológicas mexicanas ya que existe gran divergencia en los datos presentados sobre estas en México; en este sentido, el trabajo aporta en la caracterización y análisis de empresas mexicanas biotecnológicas del sector agroindustrial alimentario. Se identifica que su mayoría las empresas mexicanas son activas en biotecnología, es decir, empresas de otros sectores industriales que en sus prácticas productivas aplican técnicas biotecnológicas; son pocas las empresas cuya actividad predominante es realizar I+D biotecnológica y aplicar técnicas biotecnológicas en la producción de bienes o servicios. Caso contrario a lo que sucede en países como Estados Unidos donde existe una potente estructura empresarial de firmas dedicadas completamente a la biotecnología que incluso cotizan en la bolsa; lo anterior evidencia las brechas que existen entre países que desarrollan esta tecnología.

Cómo se mencionó párrafos arriba para responder a los objetivos de la investigación se utilizó el uso de estudio de casos múltiples bajo una lógica comparativa en el diseño de la investigación. Los casos aquí presentados se seleccionaron en base a los criterios planteados en el capítulo III, estos no pretenden ser generalizados, pero de alguna manera permiten comprender, interpretar y ejemplificar un fenómeno bien delimitado que no ha sido ampliamente abordado (estado exploratorio) como lo son las capacidades tecnológicas en empresas mexicanas dedicadas a la biotecnología y de esta manera se aporta con evidencia empírica para futuras líneas de investigación.

A partir del análisis de estudios de caso se observa que las empresas estudiadas cuentan con un umbral base de conocimientos, habilidades y experiencias que les permiten absorber conocimiento externo y producir nuevo conocimiento tecnológico para innovar, es decir, a través del aprendizaje tecnológico y la capacidad de absorción las empresas han podido reforzar y crear nuevas capacidades tecnológicas para realizar actividades de innovación de manera autónoma. Estos hallazgos ejemplifican los resultados obtenidos por Oliver y Stezano (2019), quienes encuentran una relación positiva entre las capacidades de absorción de las empresas y la probabilidad de innovar. Dada la importancia del proceso de aprendizaje tecnológico y las capacidades de absorción para la innovación, estos requieren ser estudiados profundidad en futuros trabajos.

La innovación en las empresas biotecnológicas es fundamental para lograr ser competitivas y permanecer en el mercado, aunque este es un proceso complejo que no depende solo de los esfuerzos individuales de las empresas sino del diseño de una matriz institucional clara y políticas públicas que fomenten la innovación biotecnológica; sin embargo, este no es el caso de México. Por lo que las empresas aquí estudiadas se pueden considerar como ejemplos de casos de éxito que han hecho frente a las barreras del sistema y han aplicado distintas estrategias empresariales y tecnológicas para lograr innovar bajo un marco institucional limitado; concentrándose en nichos de mercado olvidados por las grandes empresas y apostando por llegar a mercados regionales o al mercado nacional.

El desarrollo de la biotecnología requiere altos niveles de inversión de capital y estos determinan en gran medida el desarrollo y acumulación de capacidades tecnológicas (Amaro & Natera, 2020); por lo cual las empresas han seguido estrategias de financiamiento tanto público como privado. El primero se dio a través de los programas públicos para el financiamiento de proyectos de investigación que existían para la promoción de la innovación, los cuales han sido claves para generar una base de infraestructura sólida para desarrollar actividades de I+D y productivas; y el segundo se da a través de inversiones propias. El financiamiento público para las empresas biotecnológicas es importante, pero para las micro y pequeñas empresas es esencial porque dependen de este para realizar sus actividades. En este aspecto, aún hace falta capital de riesgo privado en México y nuevas formas de acceder a inversiones de distintos tipos para financiar desarrollos biotecnológicos inciertos.

Por otro lado, se observa que la biomanufactura (producción a gran escala) por lo general es una actividad que se externaliza, ya que esta requiere otro tipo de capacidades, inversiones y conocimientos en control de calidad para llevarla cabo, que las empresas no se han enfocado a desarrollar. Aunque cabe mencionar, que obtener un desarrollo tecnológico, prototipo factible escalado a nivel piloto y obtener permisos de sanidad y registros de los productos toman mucho tiempo y demandan capacidades complejas; pero una vez que se obtengan es más sencillo realizar la maquila ya que sigue procesos estandarizados y requiere personal que entienda y lleve a la práctica la operación.

Esto nos demuestra dos cosas: por un lado, que las empresas que realizan biotecnología necesitan personal calificado con conocimientos especializados que todo el tiempo estén proponiendo soluciones creativas especialmente para realizar la I+D+I; por otro lado, la poca presencia de parques agrobiotecnológicos públicos o privados limitan las oportunidades de las empresas para compartir infraestructura de I+D, de producción y

aprovechar al máximo la capacidad instalada de este, sin la necesidad de contar con una planta de producción propia o al menos hasta que la empresa tenga la capacidad de hacerlo; como es el caso de algunas empresas.

El camino de la comercialización de productos o servicios biotecnológicos también es complejo; requiere inversiones, habilidades para negociar y conocimientos en temas de gestión, organización y marketing que para algunas empresas ha significado mayores recursos para poder desarrollarlas. Gran parte de las empresas biotecnológicas (spin off) son un ejemplo de ello, ya que los investigadores o estudiantes que han fundado las empresas tienen una formación ligada a la investigación pero que se aleja de una visión empresarial, lo cual implica adquirir estas habilidades durante la marcha. De allí la importancia de formar equipos multidisciplinarios que coadyuven al proceso, capacitarlos para ello o seguir esquemas de formación técnico-productivo como los que propone el CIBA.

Las empresas biotecnológicas mexicanas han establecido colaboraciones con: universidades, centros de investigación, empresas de base científica tecnológica, empresas de otros sectores y en algunos casos se ha logrado colaborar con agentes extranjeros; para adquirir nuevos conocimientos y habilidades, licenciar tecnología, acceder a capacitación técnica, usar instalaciones e infraestructura, realizar investigación colaborativa, lograr acuerdos comerciales estratégicos, beneficiarse de la derrama de conocimientos y así reforzar las capacidades tecnológicas de las empresas y que se traduzcan en nuevos conocimientos tecnológicos e innovación. La importancia que las empresas ponen a su colaboración con las IES corrobora el hecho que dichas instituciones cuentan con investigadores con un grado de especialización elevado, una potente infraestructura y mayores capacidades para generar descubrimientos científicos.

En este sentido, se observa esfuerzos en la política de ciencia y tecnología a nivel federal en la formación de recursos humanos especializados a través de distintos instrumentos como los programas de becas o el sistema nacional de investigadores, lo que ha significado un crecimiento de la masa crítica de científicos y profesionales (Amaro y Villavicencio, 2015); esto es importante porque si bien no todo conocimiento científico se convierte en conocimiento tecnológico, a mayor cúmulo de conocimiento científico mayores son las posibilidades de generar conocimiento tecnológico susceptible de generar innovación. No obstante, cabe resaltar que aún faltan incentivos adecuados para promover que esos recursos humanos realicen investigación aplicada y desarrollo tecnológico con impacto en la producción, investigación que parta del mercado, cambios en la legislación universitaria,

mayor formación empresarial en los IES y mayor organización de las Oficinas de Transferencia Tecnológica para que la investigación llegue a las empresas.

Además, hay un tema legal importante en biotecnología que inhibe el desarrollo de esta, hay tecnologías interesantes que solucionan problemas concretos desarrolladas en México, pero no pueden usarse o llevarse al mercado porque la norma no lo permite, ya que está totalmente obsoleta; para empezar México no cuenta con un glosario de biotecnología claro cómo lo tienen Australia, Francia, Estados Unidos, entre otros (entrevista 4); entonces, todos hablan de biotecnología, pero cada quién entiende algo diferente. Así mismo, las empresas biotecnológicas se enfrentan a los ajustes en los sistemas de propiedad intelectual y a fuertes regulaciones y permisos sanitarios. De este modo, el marco regulatorio y jurídico aún sigue siendo débil para fomentar una mayor actividad biotecnológica, poco ha incidido en el diseño e implementación de políticas y más bien ha favorecido la homogenización con la legislación internacional; además de que hay muchos vacíos legales y jurídicos que lejos de impulsar la industria biotecnológica mexicana fortalece el monopolio de las transnacionales.

Por otro lado, el 95% de la manufactura productiva actual es altamente tóxica y contaminante, en el futuro no habrá planeta que aguante esta forma de producción, la industria tendrá que migrar a formas alternativas desde la producción de plásticos hasta la producción de medicamentos (entrevista 7); quizás en la biotecnología encontremos las respuestas, sin duda evaluar los impactos económicos, sociales y ambientales de las aplicaciones biotecnológicas es una tarea a futuro. Si bien, la biotecnología ha sido la gran promesa para recomponer la productividad, es decir, migrar de tecnologías basadas en petróleo a tecnologías biológicas (a partir de la aplicación de la ciencia y la tecnología a organismos vivos), aún es complicado que esta promesa se traduzca en hechos por barreras institucionales, de mercado, jurídicas, etc., tal como lo plantean Amaro & Sandoval (2019).

Vale la pena mencionar que la biotecnología va más allá que la transgénesis, la biotecnología es una tecnología de aplicación transversal en distintos sectores económicos; solo por mencionar algunos ejemplos en la agroindustria alimentaria hay desarrollos que van desde biofertilizantes, bioplaguicidas, bioactivos de origen vegetal o microbiano, mejoradores de suelos, desarrollo vegetal, micropropagación, mejoras en cultivos y control fitosanitario hasta diferentes insumos para el sector alimentos; y en el contexto actual, a partir de la biotecnología se están realizando aportes fundamentales para el desarrollo de

vacunas y terapias contra el Covid. De allí, la importancia de la biotecnología en el desarrollo científico y tecnológico de los países.

Finalmente, el panorama general de la biotecnología agroindustrial en México nos muestra dos caras. Por un lado, el país cuenta con una sólida plataforma de conocimientos, recursos humanos calificados y capacidades científicas, que si bien aún insuficiente porque hay un escaso vínculo con las empresas, constituyen un valioso recurso que puede detonar el desarrollo biotecnológico productivo (Jiménez, Reyes & Sánchez, 2019); cuenta con gran diversidad de ecosistemas, especies, recursos genéticos y biológicos que son la base para potenciales desarrollos biotecnológicos y esfuerzos aislados de empresas por desarrollar biotecnología. Por otro lado, el gasto en I+D, la patentabilidad y derechos de obtentor, el financiamiento público, las actividades de regulación y la vinculación entre academia-empresa exhiben un desempeño débil y limitado, es decir, hay un rezago en comparación con otros países. Sumado a lo anterior, no existen políticas públicas con direccionalidad, estrategias u objetivos establecidos claramente en materia biotecnológica relacionada con el sector agroindustrial alimentario que incentive la innovación.

Limitaciones y líneas futuras de investigación

Si bien la investigación arroja algunos resultados interesantes y hallazgos entorno a las características, capacidades tecnológicas desarrolladas y a cómo se comportan las empresas biotecnológicas mexicanas relacionadas con el sector agroindustrial alimentario; la investigación también presenta limitaciones. Se reconocen las siguientes limitaciones de la investigación: el análisis del estudio de casos múltiples no permite realizar generalizaciones estadísticas; la matriz propuesta para la biotecnología puede ser mejorada; no se indaga a profundidad cómo es el proceso de aprendizaje tecnológico de las empresas biotecnológicas; se deja de lado el estudio de otro tipo de capacidades cómo las capacidades organizacionales y también el análisis de empresas multinacionales en territorio mexicano con perfil biotecnológico.

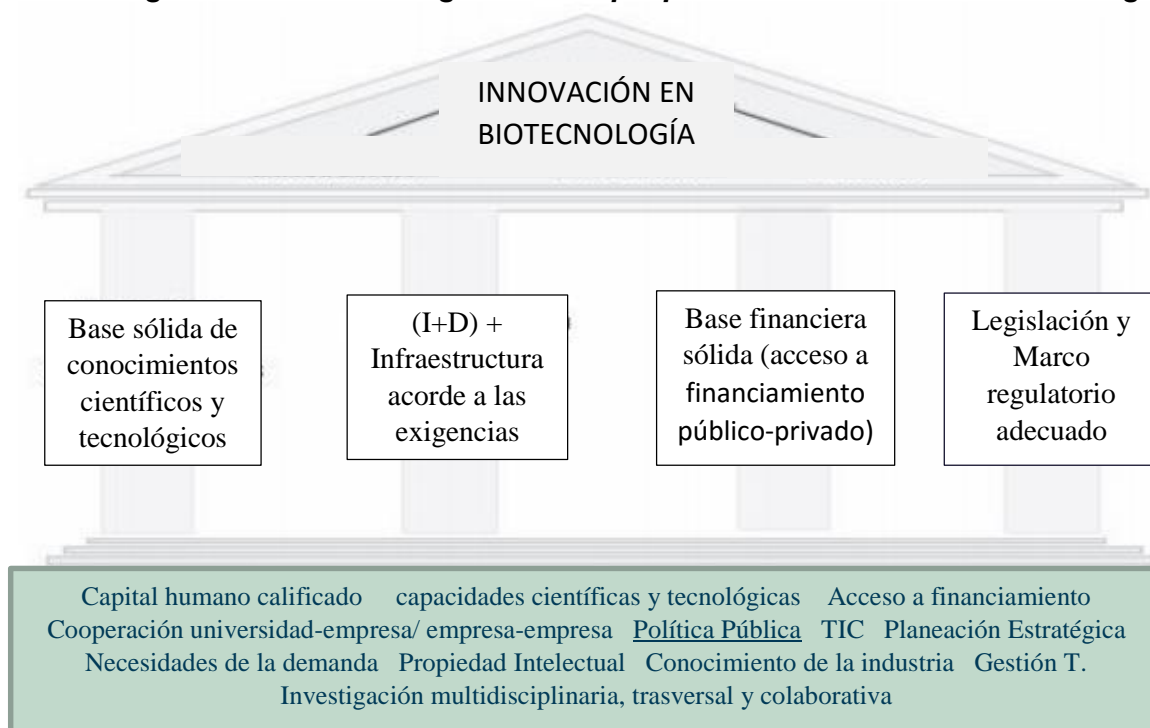
Por otro lado, la investigación logró responder las preguntas planteadas, pero también se abrieron nuevas líneas de investigación a partir de los hallazgos y de las limitaciones de esta. Queda pendiente abordar en futuras investigaciones con mayor profundidad los siguientes temas: Acumulación de capacidades tecnológicas e innovación en empresas biotecnológicas mexicanas utilizando una metodología mixta, ¿cómo es el proceso de aprendizaje tecnológico y las capacidades de absorción generadas por las empresas biotecnológicas mexicanas?, ¿cuáles son los impactos económicos, sociales y ambientales de las aplicaciones biotecnológicas?, ¿cómo y qué tipo de capacidades organizacionales

han desarrollado las empresas biotecnológicas mexicanas?, ¿cuál es el papel de las multinacionales en la promoción de la innovación biotecnológica en México? y ¿cuáles son las barreras a la innovación biotecnológica en México?

Propuesta de un modelo de innovación para la biotecnología

Para fomentar la innovación biotecnológica relacionado con el sector Agroindustrial Alimentario en México se requiere crear un conjunto de condiciones, relacionar distintos factores y la participación multidisciplinar de actores públicos y privados que permitan que esta se lleve a cabo desde diferentes bandos. En este sentido se hace una propuesta integral de un modelo adaptado de Hernández (2008) sobre el templo de la Gestión de la biotecnología y aportaciones propias para impulsar la innovación biotecnológica en México desde los diferentes actores (ver figura 20).

Figura 20: Modelo Integral del Templo para la Innovación en Biotecnología



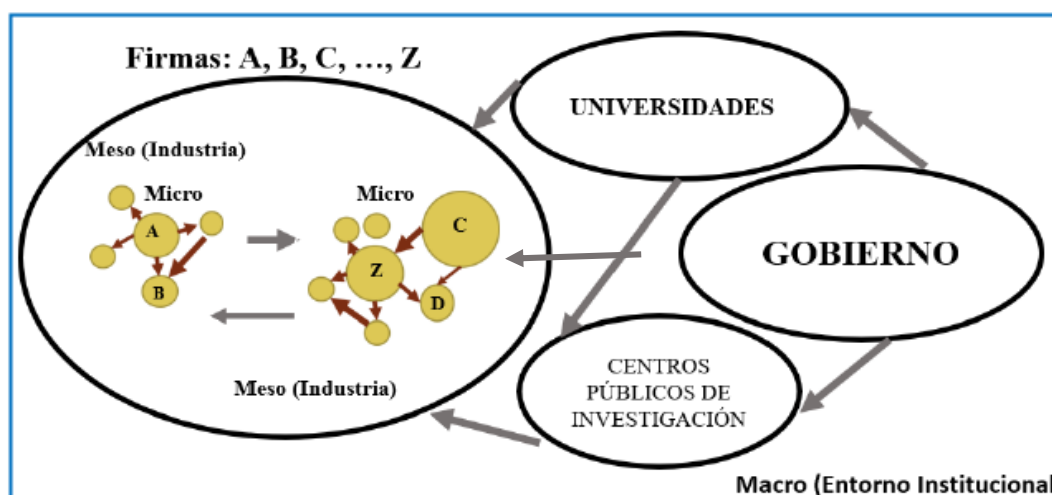
Fuente: elaboración propia

Como se observa en la figura 20, el modelo del templo de impulso a la innovación biotecnológica en el sector agroindustrial alimentario requiere 4 pilares fundamentales, que son las columnas y soporte de la innovación, estas son: una base sólida de conocimientos científicos y tecnológicos; investigación y desarrollo e infraestructura acorde con las exigencias; base financiera sólida que incluye acceso a financiamiento público-privado y propio; y una legislación y marco regulatorio adecuado. Pero también, requiere considerar

los siguientes elementos importantes: investigación multidisciplinaria, transversal y colaborativa, política pública que contemple a la biotecnología dentro de sus planes y áreas estratégicas, capacidades científicas-tecnológicas y capital humano especializado, conocimiento del sector y las necesidades del mercado, propiedad intelectual, gestión tecnológica y planeación estratégica en diferentes niveles.

Además, el modelo implica una serie de interrelaciones claves dentro del tiempo por distintos actores y en distintos niveles. A nivel micro encontramos a las empresas, que representan al único agente capaz de introducir al mercado nuevos productos y procesos; pero estas no innovan solas, sino que lo hacen articuladas a una red de agentes que coadyuvan al proceso, tal como lo señala (Lundvall, 1992). Por ello a nivel meso, estas empresas se relacionan e interactúan con otras empresas del sector y de otros sectores; pero también lo hacen con el gobierno, universidades y centros de investigación. Y en conjunto las interacciones que se generan entre los distintos actores que promueven la innovación se dan dentro de un entorno macro: institucional, económico, ambiental y social (ver figura 21 y tabla 26).

Figura 21: Ambiente de Innovación en Biotecnología



Fuente: Elaboración propia en base a las notas de clase de Innovación impartidas por el Dr. Díaz

Tabla 26: Actores y factores determinantes del éxito en biotecnología

<u>Factores Determinantes del éxito</u>	<u>Actores</u>
<ul style="list-style-type: none"> • Una política de innovación biotecnológica. • Programas de fomento de la innovación biotecnológica. • Desarrollar infraestructura y recursos adecuados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gobierno • Centros de generación de conocimiento (universidades, centros de innovación, centros de I+D).

<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de capacidades y habilidades. • Financiamiento e inversión • Participación ciudadana • Red de promoción de la innovación biotecnológica • Marco legislativo y de regulación de apoyo. • Participación de generadores de conocimiento que impulsen la innovación biotecnológica. • Liderazgo empresarial y entorno propicio. 	<ul style="list-style-type: none"> • Empresas biotecnológicas (activas o dedicadas) relacionadas con el sector agroindustrial alimentaria. • Instituciones financieras • Organismos internacionales. • Desarrolladoras de capacidades de innovación. • Empresas de otros sectores.
--	---

Fuente: elaboración propia

Lo propuesto anteriormente requiere que los gobiernos, empresas y generadores de conocimiento asuman ciertos roles que se presentan a continuación.

Papel del gobierno:

- Creación de una política industrial y de innovación biotecnológica con impactos en diferentes sectores, directrices, objetivos y mecanismos de acción claros. Esta política debe implicar una visión concreta donde todos los actores se complementen para lograr un determinado objetivo (por ejemplo, lograr que México sea el país líder en el desarrollo de la biotecnología agroalimentaria); debe promover desarrollos biotecnológicos amigables con el medio ambiente, sustentables, que generen impactos en la huella hídrica¹⁰⁹ y de carbono, en la salud de las personas e incidan en la distribución del ingreso; a su vez estos desarrollos deben ir acompañadas de políticas de aliento a la producción, estrategias educativas y de sensibilización; y que no haya contradicciones con otras políticas relacionadas¹¹⁰. Se deben tener en cuenta distintas correlaciones múltiples entre ingresos, geografía, productos/servicios, entre otros según sea el caso para traducirlos en indicadores de política.
- Incentivar la interacción de la academia con la industria a través de estímulos fiscales, financiamiento de proyectos conjuntos en la que haya mecanismos de protección intelectual, incorporación de estudiantes graduados en empresas que colaboren con la academia, posgraduados en la industria que atiendan problemáticas específicas en ciertas áreas industriales.

¹⁰⁹ Por ejemplo, si sacamos la huella hídrica de la stevia, nos daríamos cuenta de que pudiéramos sembrar en vez de 750 mil hectáreas u 800 mil hectáreas de caña para producir lo que estamos produciendo de azúcar, podríamos estar sembrando 26 mil hectáreas de stevia para producir el mismo contenido de edulcorante que nos producen las 748 mil hectáreas.

¹¹⁰ por ejemplo, si hay programas de lucha contra la obesidad y la diabetes, las políticas de etiquetado deben contribuir a ello y no solo exigir que se coloquen los sellos de advertencia en los edulcorantes bajos en calorías sino en los mismos productos de azúcar.

- Fomentar la innovación biotecnológica vía: compras públicas, laboratorios, aceleradoras, incubadoras públicas, programas de estímulos y acompañamiento de mediano y largo plazo que incluyan créditos flexibles o exenciones fiscales; donde las empresas estén obligadas a devolver los recursos públicos y los proyectos a financiar partan del mercado. También, requiere de evaluaciones del impacto de estos programas para saber cuántos prototipos, mejoras a procesos o productos nuevos tuvieron viabilidad comercial, si las empresas que participan en varios proyectos participan de actividades de mayor complejidad, y a grandes rasgos saber los resultados del proyecto para poder mejorarlos.
- Crear parques tecnológicos públicos y mixtos cerca de las IES y CI para que los estudiantes, académicos o empresarios puedan beneficiarse de estos espacios, realizar investigación, crear empresas o utilizar equipos e instalaciones.
- Generar un programa de apoyo para la creación y financiamiento de incubadoras y aceleradoras o convenios con fondeadoras internacionales.
- Promoción de la Propiedad Intelectual y mecanismos acordes a las condiciones del país.
- Generar redes de promoción de la innovación biotecnológica, un marco regulatorio inteligente que fomente la innovación y flexibilidad en la legislación para implementar nuevas formas de financiamiento colectivo, es decir, que promueva las inversiones, pero al mismo tiempo proteja a los consumidores.
- El gobierno debe buscar convenios con Organismos Internacionales como la ONU, FAO, CEPAL, BID, UNESCO, entre otras para poder tener sedes de laboratorios de innovación en México, asistencia técnica y cofinanciamientos de proyectos de investigación en materia biotecnológica.
- Promoción de clúster y hubs biotecnológicos.

Generadores de Conocimiento

- Implementar cursos sobre el proceso de innovación, de gestión y organización en los planes de estudio de preparatorias, universidades, institutos, centros de investigación públicos y privados y posgrados. Así como brindar, tópicos o seminarios a académicos y graduados en temas relacionados a la innovación.
- Destinar recursos a investigaciones dirigidas a la generación de tecnologías con alto valor agregado en biotecnología agroindustrial alimentaria.
- Creación de centros de desarrollo y emprendimiento, así como la implementación de laboratorios de innovación biotecnológica.

- Generar espacios de colaboración, creación e integración con creadores y usuarios de conocimiento nacional y extranjero.
- Mayor organización por parte de las Oficinas de Transferencia Tecnológica de las universidades para promover la innovación biotecnológica.
- Académicos y estudiantes deben realizar investigaciones aplicadas que respondan a las necesidades de la industria, para que los desarrollos tecnológicos derivados de las investigaciones sean transferidos a empresas interesadas en la explotación de estos. Además, deberían de buscar expandir sus capacidades tecnológicas con ayuda de científicos e ingenieros de tal manera que se pudieran obtener productos o procesos con mayor valor agregado.
- Académicos y estudiantes deben participar en la creación Spin-off derivadas de las tecnologías originadas por proyectos en los que hubo financiamiento con dinero público o proyectos de investigación realizados por los estudiantes en sus centros de estudio. Aquí la legislación universitaria debe ser más flexible y abierta.
- Los estudiantes y académicos pueden beneficiarse de los parques tecnológicos públicos para desarrollar una idea o un producto, así como acceder al equipo y espacio necesario para llevarla a cabo.
- Convenios universidad-empresa para la realización de pasantías tanto de académicos, estudiantes como trabajadores de las empresas.

Empresas

- Estrategias de colaboración con otras empresas nacionales y multinacionales, IES y CI en: investigación, asistencia técnica, uso de instalaciones, transferencia de tecnología, entre otros.
- Inversión en I+D+I, infraestructura, capacitación y generación de capacidades tecnológicas.
- Impulsar y participar en la creación de parques tecnológicos privados (asociados a una red de inversionistas con alto conocimiento en tecnología e innovación) y mixtos (el interés de los inversionistas y el tipo de equipamiento albergan a los proyectos más ambiciosos y el estado tiene interés de financiar con donativos a fondo perdido)
- Participación y cooperación con redes de investigación, empresas del rubro y otras empresas, para realizar investigación, generar una base de datos de patentes de dominio público, estrategias para expandir el mercado e incidir en la política pública agro biotecnológicos alimentaria.

- Convenios empresa-universidad y empresa-empresa para la realización de pasantías tanto de académicos, estudiantes como trabajadores de las empresas (en ambas instalaciones).
- Convenios con organismos internacionales para recibir asistencia técnica en la materia, así como información y promoción de concursos y mecanismos de información para acceder a cofinanciamientos.
- Elaboración de propuestas técnico-económicas para solicitud de financiamientos públicos.
- Promover concursos abiertos al público, investigadores y otras empresas sobre: Premio a la Innovación biotecnológica Sustentable, Plataformas de apoyo a emprendedores de Start ups biotecnológicas o solución a problemas específicos de la empresa; y así acceder a distintos estímulos fiscales que ofrece el gobierno.

Siguiendo a Etzkowitz (2002)¹¹¹, se recomienda que los esfuerzos hechos por cada actor que conforman el modelo propuesto para impulsar la innovación (gobierno, generadores de conocimiento y empresas) deben estar alineados para que cada uno pueda coadyuvar al desarrollo de los otros; las vinculaciones e interacción entre generadores de conocimiento-empresas-gobierno no debe ser estático, debe evolucionar con respecto a las necesidades, retos, oportunidades, estrategias e inclusive cambios sociales generados a nivel global.

En síntesis, para poder generar iniciativas y participar en las políticas públicas y privadas que impulsen la innovación en materia biotecnológica es necesario realizar un diagnóstico adecuado de la industria a nivel mundial y a nivel nacional; para después poder avanzar en el diagnóstico, evaluación, y desarrollo de políticas tanto públicas como privadas en materia biotecnológica, establecer criterios y guías que permitan avanzar en esa dirección. En otras palabras, para que la biotecnología agroindustrial alimentaria en México alcance su despliegue, es necesario lograr una sinergia entre la actividad universitaria, el acceso al financiamiento, las políticas sanitarias, el sistema de libre mercado, un marco jurídico de protección de la propiedad intelectual y el marco regulatorio claro y flexible.

111 Citado en (Flores & Sandoval, 2019).

Referencias Bibliográficas

- Albornoz, M. (2009), *Indicadores de innovación: las dificultades de un concepto en evolución*. Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad, noviembre 2009, 5(13): 9-25.7
- Alvarez, G. (2009). *Legislación y políticas públicas en biotecnología en México*. México: Colección estudios e Investigaciones.
- Anlló, G., Bisang, R., & Trigo, E. (2018). *Bioeconomía: hacia una lógica productiva sostenible*. Montevideo: UNESCO. Obtenido de <http://forocilac.org/wp-content/uploads/2018/10/PolicyPapersCILAC2018-Bioeconomia.pdf>
- Antonelli, C. (2006). La economía de la innovación: del legado de los clásicos a la economía de la complejidad. *Apuntes*(58), 51-105.
- Amaro, M., & Villavicencio, D. (2015). Incentivos a la innovación de la biotecnología agrícola -alimentaria en México. *Estudios Sociales*, XXIII(35), 35-45.
- Amaro, M. (2018), *Procesos Sociales y culturales en la producción de la ciencia, la tecnología y la innovación: el caso de la biotecnología en México*. Ponencia presentada en el Seminario de Perspectivas Contemporáneas de la Investigación en Ciencias Sociales.
- Amaro, M. (julio-agosto 2019), *Estrategias de nicho de mercado y capacidades tecnológicas de las empresas biotecnológicas mexicanas*. Economía Informa 417.
- Amaro, M. (2019). Biotecnología agroindustrial alimentaria en México, entre grandes empresas y pequeños productores. En M. Morales, & M. Amaro, *La biotecnología en México, innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* (págs. 211-243). México: Facultad de Economía-UNAM.
- Amaro, M., & Sandoval, S. (2019). Industria biotecnológica, concentración y oportunidades para las empresas mexicanas en el panorama mundial de encadenamientos productivos. En M. Morales, & M. Amaro, *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto internacional* (págs. 93-127). México: Facultad de Economía, UNAM.
- Amaro, M., & Natera, J. (2020). *Technological capabilities accumulation and internacionalization strategies of Mexican biotech firms*. Economics of Innovation and New Technology.
- Amaro, M., & Sánchez, M. (en prensa). Capacidades tecnológicas, innovación y reacciones creativas de dos empresas de la industria de los alimentos y la agricultura en México, relacionadas con la biotecnología. En Stezano F. & Oliver, R (coord.). *Actividades de innovación en biotecnología de empresas en México*. CONACYT-IPN.
- Arocena, R. & Sutz, J. (2013), *"Innovación y democratización del conocimiento como contribución al desarrollo inclusivo"* En Dutrénit, G. & Sutz, J. (edit.) *Sistemas de Innovación para un desarrollo inclusivo* (pp. 19-34). México: Foro Consultivo, Científico y Tecnológico, AC.
- Arroyo, G. (1988), *Biotecnología: ¿una salida para la crisis agroalimentaria?* Colección Agricultura y Economía. México: UAMX.
- Bisang, R., Campi, M., & Cesa, V. (2009). *Biotecnología y desarrollo*. Santiago de Chile: CEPAL
- Bell, M. (1984). Learning and the Accumulation of Industrial Technological Capacity in Developing Countries. En K. King, & M. Fransman, *Technological Capacity in the Third World*. Londres, Macmillan.
- Bell, M., & Pavitt, K. (1993). *Accumulating technological capability in developing countries, Proceedings of the World Bank Annual Conference on Development Economics*. Washington: Banco Mundial.
- Bellinghini, M. & Figueiredo, P. (2006). Capacidades tecnológicas e estrategia empresarial. Evidencias em nivel de empresa da industria de telefonía fixa no Brasil. *Administração Mackenzie*, 7 (2), pp. 39-60
- Bolívar, F. (2007). *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna*. México: El Colegio Nacional.
- Burrone, E. (2006). *Las patentes, pilar esencial del sector de la biotecnología*. OMPI. Obtenido de https://www.wipo.int/sme/es/documents/patents_biotech.htm

- Canales, M. (2006). *Metodologías de la investigación social*. Santiago de Chile: LOM Ediciones.
- Canales, A. & Godínez, J. (2015), "Competitividad y Redes de Conocimiento: Hacia la formulación de un referencial conceptual y metodológico". En Morales, M., Gortari, R. y Stezao, F. (coord.) *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos* (pp. 139-161). México: CONACYT- Red de Convergencia.
- Coffey, A., & Atkinson, P. (2003). *Encontrar el sentido de los datos cualitativos. Estrategias complementarias de investigación*. Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Cohen, M., & Levinthal, D. (1990). *Absorptive Capacity: A New Perspective on Learning and Innovation*. *Administrative Science Quarterly*, 128-152.
- Corona, L. (2002), *Teorías económicas de la innovación tecnológica*. México: Instituto Politécnico Nacional.
- Dahlman, C., & Westphal, L. (1982). "Technological effort in industrial development: an interpretative survey of recent research". En F. Stewart, & J. James, *The Economics of New Technology in Developing Countries* (págs. 105-137). London: Frances Pinter.
- Domínguez, L., & Brown, F. (2004). Medición de las capacidades tecnológicas en la industria mexicana. *Revista de la Cepal* 83, 135-151.
- Dutrénit, G., Vera-Cruz, A. & Arias, A. (2003). Diferencias en el Perfil de Acumulación de Capacidades Tecnológicas en tres Empresas Mexicanas". *El Trimestre Económico*. Vol. LXX (1), México.
- Dutrénit, G., & Vera-Cruz, A. (2005). Acumulación de capacidades tecnológicas en la industria maquiladora. *Comercio Exterior*, 55(7), 574-586.
- Dutrénit, G., Vera-Cruz, A., Arias, A., Ampedro, J., & Urióstegui, A. (2006). *Acumulación de capacidades tecnológicas en subsidiarias de empresas globales en México, el caso de la industria maquiladora de exportación*. México: Miguel Angel Porrúa/UAM.
- Eisenhardt, K. (1989). Building Theories from Case Study Research. *Management Review*, 14(4), 532-550.
- Enos, J. (1991). *Learning How: The Creation of Technological Capability in Developing Countries*. Geneva: International Labour Office.
- EY. (2017). *Biotechnology Report: Beyond Borders-Staying the Course*. Obtenido de [https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-biotechnology-report-2017-beyond-borders-staying-the-course/\\$FILE/ey-biotechnology-report-2017-beyond-borders-staying-the-course.pdf](https://www.ey.com/Publication/vwLUAssets/ey-biotechnology-report-2017-beyond-borders-staying-the-course/$FILE/ey-biotechnology-report-2017-beyond-borders-staying-the-course.pdf)
- Festel, G. (2018). Economic Aspects of Industrial Biotechnology. En A. Fiechter, *Advances in Biochemical Engineering /Biotchnology* (págs. 1-22). Berlin: Springer.
- Flores, C., & Sandoval, S. (2019). Breve panorama de la innovación biotecnológica en México. En M. Morales, & M. Amaro, *La Biotecnología en México: Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* (págs. 93-125). México: Facultad de Economía, UNAM
- Freeman, C. (1974). *The Economics of Industrial Innovation*. Middlesex: Penguin Books Harmondsworth
- Gomm, R., Hammersley, M., & Foster, P. (2009). Case Study and Method. En G. Robert, M. Hammersley, & P. Foster, *Case Study Method*. SAGE (online).
- Gonsen, R. (1998). *Technological capabilities in developing countri, Industrial Biotechnology in Mexico*. Gran Bretaña: Macmillan Press LTD.
- Gosset, G., & Bolívar, F. (2007). Ingeniería celular microbiana. En F. Bolívar, *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna* (págs. 219-247). México: El colegio Nacional.
- Guadarrama, V. (2006). *Vinculación y acumulación de capacidades tecnológicas en una empresa farmaceutica. El caso PROBIOMED*. México: Universidad Autónoma Metropolitana
- Gutman, G. (2010). *Hacia una tipología de empresas biotecnológicas en Argentina*. Argentina: CEUR-CONYCET.

- Gutman, G., & Lavarello, P. (2014). *Biotecnología Industrial en Argentina. Estrategias empresariales frente al nuevo paradigma*. Buenos Aires: Gran Aldea Editores.
- Hernandez, J. (2017). *Capacidades tecnológicas y organizacionales de las empresas mexicanas participantes en la cadena de valor de la industria aeronáutica*. Ciudad de México: ALTEC.
- Herrera, L., & Martínez, M. (2007). Plantas transgénicas. En B. Bolívar, *Fundamentos y casos exitosos de la biotecnología moderna* (págs. 167-192). México: El Colegio Nacional.
- ICEX. (2016). *El mercado de la Biotecnología en Estados Unidos*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Chicago: ICEX.
- ICEX. (2017). *El mercado de la Biotecnología en Estados Unidos*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Chicago: ICEX.
- ICEX. (2018). *El mercado de la biotecnología en Estados Unidos*. Oficina Económica y Comercial de la Embajada de España en Chicago: ICEX.
- INEGI. (2012). *Clasificación para actividades económicas*. México: INEGI.
- Jaffe, A. (1986). Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firms Patents, Profits, and Market Value. *The American Economic Review*, 76(5), 984-1001.
- Jiménez, G., Reyes, J., & Sánchez, G. (2019). Retos de la investigación en biotecnología agroindustrial en México. En G. Sánchez, & I. Núñez, *Innovación y desarrollo tecnológico en México. Estudios sectoriales y regionales* (págs. 85-117). México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Katz, J. (1986). *Desarrollo y crisis de la capacidad tecnológica latinoamericana, el caso de la industria metalmeccánica*. Buenos Aires: BID/CEPAL/CIID/PNUD.
- Kazez, R. (2009). Los estudios de caso y el problema de la selección de la muestra Aportes del Sistema de Matrices de Datos. *Subjetividad y Procesos Cognitivos*, 13(1), 1-17.
- Kim, L. (1997). The dynamics of Samsung's technological learning in semiconductors. *California Management Review*, 39(3), 86-100.
- King, G., Keohane, R. O., & Verba, S. (2012). *El diseño de la investigación social La inferencia científica de los estudios cualitativos*. Madrid: Alianza Editorial.
- Lall, S. (1987). *Learning to Industrialise: The Acquisition of Technological Capability by India*. London: Macmillan Press.
- Lall, S. (1992). Technological Capabilities and Industrialization. *World Development*, 20(2), 165-186.
- Lijphart, A. (1971). Comparative politics and the comparative method. *American political science review*, 65(3), 682-693.
- Lundvall, B. (1988). "Innovation as an interactive process: from user-producer interaction to the national system of innovation". En G. Dosi, *Technical change and economic theory*. Nueva York: Columbia University Press.
- Lundvall, B. (1992). *National Systems of Innovation*. London: Pinter.
- Manzano, F. (en prensa). *Capacidades tecnológicas e innovación: Evidencia empírica de empresas financiadas por CONACYT*.
- Martínez, P. (2006). El método de estudio de caso: estrategia metodológica de la investigación científica. *Pensamiento & Gestión*(20), 165-193.
- Mexicampo. (2015). Urge construir una "auténtica Revolución Verde". México: *Mexicampo Internacional*. Obtenido de <https://www.mexicampo.com.mx/urge-construir-una-autentica-revolucion-verde/>
- Miranda, E. & Figueiredo, P. (2010). Dinámica de acumulacao de capacidades innovadoras: evidencias de empresas de software no Rio de Janeiro em Sao Paulo. *Revista de Administração de Empresas*, 50 (1), pp. 75-93.

- Mokyr, J. (2002), *The Gifts on Athena. Historical Origins of the Knowledge Economy*. Nueva Jersey: Princeton University Press. Recuperado de: https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=k9bTtNh4-i0C&oi=fnd&pg=PR7&dq=the+gifts+on+Athena&ots=N-9iD_Hsge&sig= isatDGCTV1jDQ4C0OC3m7AZaFI#v=onepage&q=the%20gifts%20on%20Athena&f=false
- Morales, M., & Chiapa, A. (en prensa). Análisis de capacidades tecnológicas en el sector de la biotecnología en México. En G. Mendoza, *Cambio técnico y crecimiento económico en el crecimiento económico en el capitalismo neoliberal*. México.
- Morales, M. & Villavicencio, D. (2015), "Convergencia de Capacidades científicas y Tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México". En Morales, M., Gortari, R. y Stezao, F. (coord.) *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos* (pp. 139-161). México: CONACYT- Red de Convergencia
- Morales, A., & Amaro, M. (2017). Panorama general de la biotecnología en México y el mundo. En D. Villavicencio, *Las vicisitudes de la innovación en biotecnología y nanotecnología en México* (págs. 33-69). México: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
- Morales, M., & Díaz, H. (2018). Determinantes de las capacidades de innovación en el sector biotecnológico en México. *JE*, 78(307), 90-118.
- Morales, A., & Díaz, H. (2019). Perspectiva geneal y delimitación del sector biotecnológico desde la Economía de la Innovación. En A. Morales, & M. Amaro, *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* (págs. 23-51). México: Facultad de Economía, UNAM.
- Morales, A., & Manzano, F. (2019). Sector biotecnológico en México: un análisis de patentes a través de minería de textos. En G. Sánchez, & I. Núñez, *Innovación y desarrollo tecnológico en México. Estudios sectoriales y regionales* (págs. 67-84). México: Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
- Nelson, R., & Rosenberg, N. (1993). Technical innovation and national systems. En N. (ed.), *National Innovation Systems* (págs. 3-21). Nueva York: Oxford University Press.
- OCDE. (2005). *A Framework for Biotechnology Statistics*. Paris: OCDE. Obtenido de www.OCDE.org/dataOCDE/5
- OECD. (2006). *Manual de Oslo*. España: Grupo Tragsa.
- OECD (2009), *Biotechnology Statistics*. OECD. Paris.
- Oliver, E., & Stezano, F. (2019). Capacidades y desempeños de innovación en empresas biotecnológicas de México. En A. Morales, & M. Amaro, *La biotecnología en México* (págs. 271-321). México: Facultad de Economía, UNAM.
- Ortega, R., Borjas, J., & Jasso, J. (2007). *Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas*. México, Guadalajara: Congreso ACACIA
- Otero, G. (1991). Biotechnology and economic restructuring: ¿towards a new technological paradigm in agriculture? En Sasson, A. & Costarini, V. (edit.). *Biotechnologies in perspective*. Paris: UNESCO.
- Otero, M. (2018). Bioeconomía: una necesidad del mundo, una oportunidad para las Américas. México: El País. Recuperado de: https://elpais.com/elpais/2018/08/30/planeta_futuro/1535629457_545173.html
- Paredes, O. (1990). Retos y oportunidades de la biotecnología agroalimentaria. *Comercio Exterior*, 40(12), 1143-1152.
- Pavitt, K. (1984). Sectoral patterns of technical change: Towards a taxonomy and a theory. *Research Policy*, 13(6), pp. 343-373.
- Pérez, R. (2014). *La biotecnología agrícola como factor de riesgo social. Un acercamiento sociológico a la contaminación de semillas nativas de maíz en México*. México: UNAM.
- Pisano, G. (2006). Profiting from innovation and the intellectual property revolution. *Research Policy*, 35(8), pp. 1122-1130.

- Ponce, A. (2018). El Estudio de Caso Múltiple. Una estrategia de Investigación en el ámbito de la Administración. *Revista Publicando*, 15(2), 21-34.
- PROMÉXICO. (2014). *Situación de la biotecnología en el Mundo*. México: PROMÉXICO.
- PROMÉXICO. (2017). *Panorama actual de la industria biotecnológica en México*. México: PROMÉXICO.
- Puig, D. (2017). *TESIS DOCTORAL "ESTRATEGIAS DE INNOVACIÓN EN LAS EMPRESAS DE BIOTECNOLOGÍA CATALANAS"*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Reyes, J., Morales, A., & Amaro, M. (2015). Efectos de la legislación de la propiedad industrial en el patentamiento. El caso de la biotecnología agrícola en México. En A. Morales, R. Gortari, Stezano, & F, *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad* (págs. 77-98). México: CONACYT.
- Rodríguez, D. (1986). *Biotecnología y Producción agroalimentaria*. México: UNAM.
- Ruane, J., & Zimmermann, M. (2003). *Biotecnología agrícola para países en desarrollo*. Roma: FAO. Obtenido de <http://www.fao.org/3/Y2729S/y2729s00.htm>
- Stake, R. (1995). *The art of Case Study Research*. California: Sage.
- Stiglitz, J. (2016). *LA CREACIÓN DE UNA SOCIEDAD DEL APRENDIZAJE: Una nueva aproximación al crecimiento, desarrollo y el progreso social*. Ensayo.
- Secretaría de Economía. (2010). *Situación de la biotecnología en el mundo*. México: ProMéxico.
- Soberón, X. (2016). *La ingeniería genética, la nueva biotecnología y la era genómica*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Solleiro, J., & Briseño, A. (2003). Propiedad Intelectual II: el caso de la biotecnología en México. *Interciencia*, 28(2), 90-96.
- Solleiro, J., & Castañón, R. (2016). *Manual de Gestión Tecnológica para PyMES Mexicanas*. México: CONACYT (FINNOVA).
- Stezano, F. (2017). Nuevas estrategias institucionales y de competitividad en el sector biotecnológico agrícola. En D. Villavicencio, *Las vicisitudes de la innovación en biotecnológica y nanotecnología en México* (págs. 141-171). México: Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco.
- Stezano, F., Morales, M., & Amaro, M. (2019). Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos. *Nueva Época*, 17-44
- Tarrés, M. (2015). *Observar, escuchar y comprender sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. México: El Colegio de México.
- Torres, A. (2006). Aprendizaje y Construcción de Capacidades Tecnológicas. *Journal of Technology Management and Innovation*, 1(5), 12-24.
- Trejo, S. (2010). *La Biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en el mundo*. México: Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada del IPN.
- Vela Peón, F. (2001). "Un acto metodológico básico de la investigación social: la entrevista cualitativa". En M. Tarrés, *Observar, escuchar y comprender. Sobre la tradición cualitativa en la investigación social*. México: Colmex y Flacso.
- Vera-Cruz, A. (2004). *Cultura de la empresa y comportamiento tecnológico, cómo aprenden las cerveceras mexicanas*. México: Universidad Autónoma Metropolitana (UAM).
- Villavicencio, D. (1990). *La transferencia de Tecnología: un problema de aprendizaje colectivo*. México: Universidad Autónoma Metropolitana: ENSAYOS.
- Villavicencio, D., & Arvanitis, R. (1994). Transferencia de tecnología y aprendizaje tecnológico. Reflexiones basadas en trabajos empíricos. *El Trimeste económico*, LXI(2), 257-279.

- Villavicencio, D. (2019). Los desafíos de la política de innovación en México. En A. Morales, & M. Amaro, *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional* (págs. 23-51). México: Facultad de Economía, UNAM.
- Westphal, L., Kim, L., & Dahlman, C. (1985). Reflections on the Republic of Korea Acquisition of Technological Capability. En N. Rosenberg, & C. Frischtak, *International Technological*. Nueva York: Praeger Publishers.
- WIPO. (2019). *World Intellectual Property Indicators 2019*. WIPO. Obtenido de https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo_pub_941_2019.pdf
- Yan, B., & Batra, G. (1998). Technological Capability and Firm Efficiency in Taiwan (China). *The World Bank Economic Review*, 12(1), 59-79.
- Yin, R. (1994). Case Study Research; Design and Methods. *Applied Social Research Methods*.
- Yoguel, G., Barletta, F. & Pereira, M, (2013), *Schumpeter a los postchumpeterianos: viejas y nuevas dimensiones analíticas*. *Problemas del Desarrollo*, 44(174): 35-59.