

**Alma Mater Studiorum A.D. 1088**

**Università di Bologna**

Dottorato di ricerca in Science, Cognition and Technology

Ciclo XXVIII

SETTORE CONCORSUALE: 11/C2 – LOGICA, STORIA E FILOSOFIA DELLA SCIENZA

SETTORE SCIENTIFICO-DISCIPLINARE: M-STO/05 – STORIA DELLE SCIENZE E DELLE  
TECNICHE

**Redes, Alianzas y Capital Social en Procesos de Innovación:  
Los Casos de la Biotecnología en Puebla y Bolonia**

Presentata da: José Francisco Romero Muñoz

Coordinatore Dottorato:

Prof. Giuliano Pancaldi

Relatore:

Prof.ssa Anna Guagnini

Correlatore:

Prof. Rollin Kent Serna

Esame finale anno 2016

# Índice

<b>Introducción</b> .....	<b>4</b>
<b>Reconocimientos</b> .....	<b>9</b>
<b>Listado de acrónimos</b> .....	<b>12</b>
<b>Capítulo I. La dinámica de la innovación tecnológica en redes</b> .....	<b>13</b>
<b>Conceptos de innovación tecnológica</b> .....	<b>13</b>
<b>Innovación tecnológica y economía</b> .....	<b>16</b>
<b>¿Qué papel juegan las redes sociales en los procesos de innovación?</b> .....	<b>19</b>
<b>Redes sociales y capital social</b> .....	<b>22</b>
<b>Diversidad de formas de colaboración universidad - empresa</b> .....	<b>24</b>
<b>Propuesta conceptual de análisis</b> .....	<b>27</b>
Innovación tecnológica .....	28
Capital Social.....	28
Diversas formas de colaboración universidad-industria .....	28
<b>Metodología de análisis</b> .....	<b>30</b>
Objetivo general del estudio .....	32
Ejes de análisis .....	32
Objetivos particulares del estudio.....	32
Preguntas de investigación.....	33
Grupos muestra y fuentes de información .....	34
Fuentes de información en Puebla.....	34
Fuentes de información en Bolonia .....	39
<b>Capítulo II. Marco contextual, emergencia de la biotecnología y su desarrollo en México e Italia</b> .....	<b>45</b>
<b>Políticas e inversión en investigación, desarrollo e innovación.</b> .....	<b>45</b>
<b>La biotecnología</b> .....	<b>51</b>
Status de la innovación en biotecnología .....	61
<b>La Biotecnología en México</b> .....	<b>65</b>
Instituciones .....	67
Líneas de investigación .....	75
Biotecnología Vegetal.....	76
Biotecnología Agroindustrial.....	81
Recursos Humanos.....	85
Financiamiento .....	87
Consideraciones finales sobre el estudio de Casas .....	97
Variedades vegetales en México.....	105
Situación actual de la biotecnología en México .....	117
Acciones de opositores y defensores de la biotecnología en México .....	125
<b>La Biotecnología en Italia</b> .....	<b>127</b>
Domenico Marotta y el <i>Istituto Superiore di Sanità</i> (1930s-1960s) .....	128
La emergencia de la política pública para la biotecnología (1980s-1990s).....	131
La biotecnología en Lombardía .....	136
Razones por las que la biotecnología se desarrolló de modo tardío en Italia, en comparación con los países líderes.....	138
Las <i>start-up</i> italianas (2000s-2016) .....	143
Biotecnología Verde, situación actual.....	145
Opiniones públicas y privadas .....	153
Consideraciones finales .....	154
<b>Capítulo III. Los casos de Puebla</b> .....	<b>158</b>
<b>3.1 Puebla</b> .....	<b>158</b>

3.2 Procesos de industrialización .....	159
3.3 Estructura del sistema de Ciencia y Tecnología y Educación Superior .....	162
3.4 Políticas públicas sobre ciencia, tecnología e innovación. ....	173
3.5 Panorama Empresarial .....	181
<b>3.6 Casos .....</b>	<b>185</b>
3.6.1 Agricultura de maíz e inoculantes.....	185
3.6.2 Agricultura de maíz y fitomejoramiento (genómica) .....	194
3.6.3 Restauración y manejo de suelos .....	202
3.6.4 Conservación y estabilización de alimentos .....	206
3.6.5 Uso de subproductos agroindustriales: quitina, quitosano y nejayote.....	217
3.6.6 Zootecnia, vacunas, bioseguridad y control de micotoxinas .....	227
<b>Capítulo IV. Los casos de Bolonia .....</b>	<b>238</b>
<b>4.1 Bolonia .....</b>	<b>238</b>
4.2 Procesos de industrialización .....	241
4.3 Estructura del sistema de Ciencia y Tecnología y Educación Superior .....	243
4.4 Políticas públicas sobre ciencia, tecnología e innovación. ....	248
4.5 Panorama Empresarial .....	253
<b>4.6 Casos .....</b>	<b>257</b>
4.6.1 Fruticultura .....	257
4.6.2 Agricultura orgánica y agro-homeopatía .....	260
4.6.3 Restauración y manejo de suelos .....	265
4.6.4 Agricultura de maíz e inoculantes.....	271
4.6.5 Mecanización agrícola .....	275
4.6.6 Conservación, estabilización de alimentos y probióticos .....	280
4.6.7 Uso de subproductos agroindustriales .....	289
4.6.8 Genómica y Zootecnia.....	296
<b>Capítulo V. Análisis, discusión de datos, y conclusiones .....</b>	<b>307</b>
<b>1. Diferencias y similitudes en el desarrollo de la biotecnología en Italia y México ....</b>	<b>309</b>
<b>2. Ejes principales de análisis de casos – Puebla y Bolonia .....</b>	<b>319</b>
Innovación tecnológica .....	319
Grados de integración con la industria dependiendo de la subdisciplina o especialidad...	322
Formas de colaboración universidad-empresa .....	331
Redes de colaboración, desarrollo de la confianza y capital social.....	333
<b>3. Resumen de conclusiones .....</b>	<b>335</b>
<b>Referencias bibliográficas.....</b>	<b>339</b>
<b>Anexo 1 Guías de entrevista y cuestionarios .....</b>	<b>354</b>

## Introducción

La biotecnología contemporánea es una disciplina que ha tenido origen y mayor desarrollo en los laboratorios de las universidades norteamericanas durante los años cincuentas del siglo pasado<sup>1</sup>. En el contexto de los Estados Unidos tuvo una expansión rápida hacia la industria, ya que surgieron nuevas empresas especializadas en biotecnología, emanadas de las universidades. Japón fue el lugar donde esta disciplina tuvo un auge importante pocos años después. Por otro lado, en los países europeos se desarrolló en un modo más tardío, destacándose los casos del Reino Unido, Alemania y Francia. En todos estos países tal disciplina ha tenido un impacto socioeconómico importante, pues ha cambiado paradigmas tecnológicos en las aplicaciones hacia el sector salud, agroalimentario y, aunque en menor medida, en el sector energético. Sin embargo, en países como México e Italia, tal disciplina, aunque ha tenido un desarrollo importante dentro de la academia, sus aplicaciones puestas en práctica en la industria no son evidentes y existen pocas experiencias documentadas.

En el caso mexicano, el desarrollo de la biotecnología vegetal tiene una tradición importante en las universidades y centros de investigación públicos, que tiene origen en el establecimiento de varios centros de investigación en la ciudad de México desde los años cuarentas, y una fuerte expansión hacia el interior de la república en los años setentas y ochentas. A pesar del desarrollo de la disciplina dentro de tales centros académicos, han prevalecido varios aspectos político-administrativos que han limitado su expansión hacia la industria, tales como las limitaciones de la participación de investigadores en la fundación de una empresa.

Mientras tanto, en el caso de Italia, la biotecnología aplicada al sector salud tuvo gran auge en centros de investigación instalados en hospitales, como el Centro Internacional de Química Microbiológica del Instituto Superior de Sanidad, fundando en los años cincuentas en Roma, y varias iniciativas llevadas a cabo en la Lombardía y otras regiones italianas en años posteriores. De modo que la industria de los antibióticos y de otras aplicaciones similares emanadas de la biotecnología han estado presentes en el contexto italiano de forma irrevocable. Sin embargo, la biotecnología agroalimentaria no ha tenido tal desarrollo industrial.

---

<sup>1</sup> La biotecnología tiene una naturaleza multidisciplinaria, pero por razones económicas a lo largo de este documento se hace referencia a ella usando el termino *disciplina*.

En tal sentido, los casos de México e Italia ofrecen la posibilidad de estudiar la forma en la que se ha desarrollado la biotecnología en contextos diversos, así como los factores que han influido para facilitar y limitar su desarrollo.

Las comparaciones nacionales, sin embargo, dejan pocas posibilidades de observar las dinámicas de los grupos de investigación que representan la base de la innovación tecnológica. La forma en la que se han conformado, la forma en la que interactúan dentro y fuera de la academia, las actitudes de emprendimiento, las concepciones que tienen en cuanto a lo que es y para lo que sirve la investigación científica, entre otros factores relacionados, influyen de manera determinante en el desarrollo de una disciplina como la biotecnología en contextos locales.

Los casos de Puebla y Bolonia nos permiten realizar un estudio comparado que pueda dar respuesta a preguntas como éstas, dado que se trata de contextos en que la biotecnología se ha incorporado “desde afuera” a la academia. Es decir, tanto Puebla como Bolonia no han sido el centro donde nació la biotecnología, y tampoco donde más auge ha tenido tal disciplina en cada uno de sus países, pero actualmente existen varios grupos de investigación que aparentemente están destacando dentro del conjunto de investigadores, que promueven la innovación tecnológica al interior de sus universidades.

Otros factores comparativos que permiten observar desarrollos similares de la biotecnología en Puebla y Bolonia son:

- La biotecnología es un campo relativamente nuevo en ambas localidades.
- En ambas localidades existen grupos o redes de investigadores, emergidos de los años noventas, especialmente en biotecnología agroalimentaria.
- En ambos casos, la biotecnología agroalimentaria se encuentra en el mismo punto de desarrollo comparable: no existen desarrollos de *start-ups* o licencias de patentes, pero existen otros modos de colaboración universidad-empresa no documentados.
- La agricultura transgénica se encuentra también en el mismo punto, está bloqueada legalmente, sin embargo existe una fuerte presencia las empresas transnacionales desarrollando investigación al interior del país, además de que ejercen fuerte presión para la aplicación de su tecnología en el campo mexicano e italiano. En los dos casos el contexto sociocultural tiene una fuerte tradición, dirigida a conservar la autenticidad de los productos agroalimentarios nacionales. México es el centro de origen del maíz en el mundo, mientras que Italia es el lugar donde más se defiende la denominación de origen de los alimentos.

- Ambas localidades son sujetas de cambios en las políticas públicas hacia el apoyo a la investigación científica. En Italia estos cambios son emanados de las políticas y financiamiento de la Unión Europea, dirigidos a romper la llamada “European paradox”. En México, desde los años 2000 se diversificaron los fondos dirigidos a la investigación científica, y la política pública ha privilegiado la investigación dirigida a las aplicaciones industriales. Sin embargo, tanto en México como en Italia, no existen cambios drásticos en la inversión en materia de Investigación y Desarrollo como porcentaje del Producto Interno Bruto.
- En ambas localidades existen grupos de investigación que han recibido recursos públicos para desarrollar investigación tecnológica, pero enfrentan problemáticas similares para llevar a la práctica el resultado de sus investigaciones, en forma de start-ups o licenciamiento de patentes. Sin embargo llevan a cabo otras formas de colaboración con la industria, como consultoría, investigación colaborativa, formación de recursos humanos y divulgación del conocimiento.
- En ambos sitios se pueden observar casos que involucran al capital social como facilitador importante de transferencia de tecnología.

De esta forma, nuestro estudio ha tenido como propósito primordial realizar un análisis comparativo de carácter cualitativo, enfocado en indagar la dinámica de los grupos de investigación en ambas localidades, de modo que sea posible documentar: 1) la forma en la que han tenido origen los procesos de innovación en los que laboran, y como se ha desarrollado a través del tiempo; 2) la estructura de los grupos de trabajo, su conformación y colaboración en redes, así como su dinámica en la construcción de alianzas; 3) la forma en la que el flujo del conocimiento tecnológico se comparte o se limita desde estos grupos (formas de colaboración universidad-empresa).

El capítulo uno ofrece una síntesis de los principales planteamientos teóricos sobre la innovación tecnológica, y su importancia en el desarrollo socioeconómico de las naciones. Asimismo, da cuenta del papel que juegan la conformación de las redes de colaboración y el capital social en el desarrollo de los procesos de innovación tecnológica, entendiendo que los individuos son sujetos sociales con motivaciones económicas y sociales, que las redes de colaboración representan formas de organización colectiva la cual trasciende a las instituciones, y tiene efectos en el desarrollo socioeconómico local. De igual forma, el capital social representa tanto un recurso como un beneficio que obtienen los actores de las relaciones interpersonales que construyen, donde el desarrollo de la confianza influye de manera determinante. La revisión de la bibliografía especializada en la innovación

tecnológica y redes de colaboración, nos permite presentar en este apartado un modelo de análisis para los casos de Puebla y Bolonia, que se basa en las concepciones sobre tres ejes principales: 1) innovación tecnológica; 2) capital social y redes de colaboración; y 3) formas de colaboración universidad empresa.

En el capítulo dos se aborda una revisión del contexto de políticas internacionales hacia la investigación tecnológica, así como el gasto en investigación y desarrollo de las naciones. Asimismo se ofrece una síntesis sobre el desarrollo de la biotecnología a nivel internacional, y en los casos específicos de México e Italia. Se ofrece también una descripción detallada de la metodología y las fuentes de información utilizadas para realizar el estudio comparativo, y sobre el desarrollo de la biotecnología al interior de los grupos de investigación de las principales universidades en Puebla y Bolonia.

En los capítulos tres y cuatro se realiza una descripción de los casos representativos en ambas localidades, incluyendo la conformación detallada de los grupos, sus especialidades, el origen y desarrollo de sus investigaciones, y las formas de colaboración universidad-empresa que han emprendido. Los casos están organizados en cada capítulo dependiendo de la subdisciplina o área principal de aplicación que desarrollan los grupos de investigación. En tal sentido, en el apartado correspondiente a Puebla se incluyen los casos de los grupos de investigación de las siguientes áreas: 1) agricultura de maíz e inoculantes; 2) agricultura de maíz y fitomejoramiento (genómica); 3) restauración y manejo de suelos; 4) conservación y estabilización de alimentos; 5) uso de subproductos agroindustriales; 6) zootecnia, vacunas, bioseguridad y control de micotoxinas. En el apartado de Bolonia se incluyen los casos de: 1) fruticultura; 2) agricultura orgánica y agro-homeopatía; 3) restauración y manejo de suelos; 4) agricultura de maíz e inoculantes; 5) mecanización agrícola; 6) conservación, estabilización de alimentos y probióticos; 7) uso de subproductos agroindustriales; y 8) genómica y zootecnia.

Finalmente, en el capítulo cinco se realiza un análisis comparativo de los casos, destacando las similitudes y diferencias en el desarrollo de la biotecnología en ambas localidades, de igual forma se da cuenta de los principales hallazgos surgidos de la investigación. Un resultado significativo es la importancia que tiene la conformación del capital social y la divulgación del conocimiento, que desarrollan los grupos de investigación para llevar a cabo los procesos de innovación. Es decir, en ambos casos los proyectos que más desarrollo han tenido provienen de grupos de investigación que se apoyan fuertemente en la participación en congresos, ferias agrícolas, conferencias, y otras formas de divulgación de conocimiento fuera de los contextos académicos. Asimismo, el desarrollo de la confianza para

la conformación de redes de colaboración está fuertemente relacionado con el prestigio que han formado estos equipos de investigación al divulgar su conocimiento, y al mismo tiempo establecer redes sociales informales.

De igual manera, en este capítulo se ofrece un análisis comparativo sobre las formas de colaboración universidad-industria que han establecido los equipos de investigación, las cuales son más amplias que sólo el establecimiento de empresas nuevas y el licenciamiento de patentes. Las formas de colaboración más amplias como consultoría, investigación colaborativa, formación de recursos humanos y divulgación del conocimiento, tienen importancia dado que representan las fuentes de innovación tecnológica y son comunes a la mayoría de las universidades. Sin embargo, la combinación que se realiza de las mismas son las que hacen posible las formas avanzadas de colaboración que son esperadas por las políticas públicas dirigidas a la innovación y el desarrollo socioeconómico (*spin-offs* y licencia de patentes).

Los cambios de las políticas dirigidas a la investigación tecnológica, y los cambios legales-administrativos de las universidades, tienen respuestas similares de las comunidades académicas en ambas localidades. Por una parte, la posibilidad de participar directamente en negocios emanados de resultados de proyectos de investigación se perciben como algo novedoso en ambas localidades, y prevalece aún cierta incomodidad para declarar públicamente intenciones lucrativas por parte de los investigadores. De este modo, la institucionalización de la investigación tecnológica y su desarrollo industrial en los casos de la biotecnología en Puebla y Bolonia se encuentra en un estado de transición, con perspectivas crecientes de mayor colaboración universidad-industria.

Nota: En la presente versión del documento el autor ha decidido indicar explícitamente, en la parte de la metodología, los nombres de las personas que fueron entrevistadas. Sin embargo, en la descripción de los casos específicos se ha utilizado un sistema de códigos para garantizar su anonimato. En caso de publicación de la tesis o parte de ella, todas las referencias a los nombres de los entrevistados quedarán en anonimato total.



## **Reconocimientos**

Ringrazio infinitamente la Professoressa Anna Guagnini. L'esperienza di fare il dottorato non sarebbe stata così gratificante senza tutti i suoi insegnamenti. Accanto a lei, ho imparato un modo diverso di guardare il mondo, anche se non sono evidenti le idee la prima volta. Ho imparato il valore della conoscenza che viene dopo l'aver guardato analiticamente la storia. Il lavoro svolto con lei mi ha permesso di essere più critico con tutti i testi, le fonti di informazione, la coerenza di ogni discorso, e l'origine di ogni affermazione. Adesso mi sento un po' parte di un'altra disciplina e di un altro paese. Penso di aver imparato anche il valore della conoscenza quando non si fanno troppe frammentazioni tra discipline e tra nazioni.

Questo documento non sarebbe stato possibile senza il contributo del Professor Giuliano Pancaldi. Tutte le sue provocazioni hanno prodotto l'effetto in me di questionare tutto il discorso che avevo prima di arrivare in Italia; come dovrebbe essere. I suoi corsi, testi, e consigli mi hanno aiutato a concepire in modo diverso e più completo la scienza e la tecnologia. Dedico a lui i capitoli sui casi di Puebla e Bologna; il modo in cui sono stati fatti è stato pensato durante le sue lezioni.

Voglio ringraziare specialmente Matteo Serafini. È stato un grande aiuto: la compagnia, le discussioni e la collaborazione che abbiamo fatto il primo anno del dottorato, quando l'idea di questo lavoro di ricerca era ancora un progetto molto confuso (e il mio italiano era pessimo).

L'esperienza di fare il dottorato coinvolge anche a chi fa il sopporto di famiglia, soprattutto quando una persona è da sola in un paese straniero. Io ho avuto fortuna quando ho trovato un fratello italiano a Ferrara, e lo ringrazio di cuore. Sono sicuro che non avrei potuto parlare l'italiano al livello a cui ci riuscivo quando eravamo compagni di appartamento. Grazie Goffredo Ferrarese.

Alla fine del cammino ho conosciuto anche molte persone che mi hanno aiutato a fare la vita felice, senza guardare l'origine delle persone, anzi guardando l'onestà. Grazie amici (il mio capitale sociale): Hylarie Kochiras (Ilaria), Anwasha Chakraborty, Dean Booyesen, Lynn Kleinveldt, Lorenzo Mantovani, Anahita Rouyan, Federico Nanni, Carina (d'Austria), Lylla Ninni, Elisa Herrera, Mara Serrano (sempre collegata su internet dal Messico), Ester D'amore

(sempre collegata su internet dalla Sicilia), Elisabetta Perrotta, Ignacio (Nacho) Hernández, Patricia (Paty) León, Norma de Ita, Jesús Leal, Azucena Monge, Luis Villafaña, Maribel Troncoso, Yaneth Castro, Guadalupe Moheno, Mtro. Jaime Vázquez, Pilar Sánchez, Rosario (Charo) Vargas, Jaime Lara e Yadi, Gianluca Caltagirone ed Edith. Grazie Gianluca per essere un bravo docente di italiano. Anche ringrazio Ilaria Lenci, Stefania Boglis, tutti gli amici della scuola di yoga tripura sundari di Bologna, Gloria Bartolomeo e tutti gli amici di Venezia. Grazie tutti.

I want to say thank you to Judy and Gerry Clark, and also Jane Corash and Michael. I will never forget all the kindness you gave me when I lived with you in Boston. I feel very glad to meet people like you. It is difficult to live in the United States for a Mexican, but you helped me to feel at home (literally). I do not speak English so well since those days, but without that experience my PhD would not be possible.

No puedo más que agradecer el gran apoyo que me ha otorgado el Doctor Rollin Kent. Una vez más he aprendido cosas nuevas a pesar de tanto años de seguir su trabajo, y recibir su orientación. La combinación de tener dos tutores ha sido un reto enorme, sobre todo cuando éstos tienen enfoques disciplinarios diversos (historia y sociología). Sin embargo, me parece haber logrado conjuntar en modo correcto ambos enfoques para lograr una interpretación más rica sobre la transferencia tecnológica. Gracias infinitas.

Este trabajo de tesis no hubiese sido posible sin la confianza y apoyo del Doctor Pedro Hugo Hernández Tejeda, Director de Innovación y Transferencia de Conocimiento de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Le agradezco la fe que tuvo durante todo el proceso de la presente investigación. Agradezco el apoyo que me ha brindado en favor de avanzar hacia una comprensión más completa y documentada sobre la transferencia de tecnología, hoy más que nunca, cuando es necesaria la formación de profesionales de tal área en México. De igual forma agradezco al Dr. Jaime Cid Monjaraz y al Dr. Gerardo Martínez Montes todo su apoyo y contribuciones, sobre todo al inicio de la presente investigación.

No puedo concluir la sección de reconocimientos sin agradecer infinitamente al Doctor Wietse de Vries. A diferencia de la mayor parte de personas que estudian un doctorado y que emprenden una nueva carrera a partir de ello, yo siento concluir un ciclo muy importante que

inició al ser auxiliar de investigación al lado del Doctor Wietse. Es imposible mencionar todas las enseñanzas que ha aportado en mi vida.

Todo buen viaje termina en casa. Quiero agradecer a mi familia que siempre ha creído en mí, aún con las dificultades que eso implica en ocasiones. A mi familia que siempre me ha apoyado en forma incondicional y me ha otorgado el amor necesario para sobrevivir (literalmente) alrededor del mundo: Ignacio Romero, Blanca Estela Muñoz, Alicia Romero, Isidro Romero, Elena García, Graciela Romero, Juan Carlos Romero, y Carmen Verdad. Así como a mis sobrinos hermosos: Amely, Braulio, Joanna y Diego. Una dedicación especial de este trabajo a todos ellos.

## Listado de acrónimos

ANUIES - Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior  
ASA - Aeropuertos y Servicios Auxiliares  
BUAP - Benemérita Universidad Autónoma de Puebla  
CFE - Comisión Federal de Electricidad  
CGEIB - Coordinación General de Educación Intercultural y Bilingüe  
CINVESTAV - Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados  
CONACYT - Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología  
CONAFOR - Comisión Nacional Forestal  
CONAGUA - Comisión Nacional del Agua  
CONAVI - Comisión Nacional de Vivienda  
CUVyTT - Centro Universitario de Vinculación y Transferencia Tecnológica  
IES - Institución de Educación Superior  
IMJUVE - Instituto Mexicano de la Juventud  
IMSS - Instituto Mexicano del Seguro Social  
INAOE - Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica  
INEGI - Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática  
INIFED - Instituto Nacional de la Infraestructura Física y Educativa  
INMUJERES - Instituto Nacional de las Mujeres  
IPN - Instituto Politécnico Nacional  
ISSSTE - Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado  
ITESM - Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey  
OCDE - Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos  
PACIME - Programa de Apoyo a la Ciencia en México  
PEMEX - Petróleos Mexicanos  
PIB - Producto Interno Bruto  
PROMEP - Programa para el Mejoramiento del Profesorado  
SAGARPA - Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación.  
SE - Secretaría de Economía  
SEB - Subsecretaría de Educación Básica  
SECOFI - Secretaría de Comercio y Fomento Industrial  
SECTUR - Secretaría de Turismo  
SEDESOL - Secretaría de Desarrollo Social  
SEMAR - Secretaría de Marina  
SEMARNAT - Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales  
SENER - Secretaría de Energía  
SEP - Secretaría de Educación Pública  
SER - Secretaría de Relaciones Exteriores  
SES - Subsecretaría de Educación Superior  
SHCP - Secretaría de Hacienda y Crédito Público  
SNI - Sistema Nacional de Investigadores  
SOAPAP - Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado  
SS - Secretaría de Salud  
UAM - Universidad Autónoma Metropolitana  
UDLAP - Universidad de las Américas, A.C. campus Puebla  
UNAM - Universidad Nacional Autónoma de México

# **Capítulo I. La dinámica de la innovación tecnológica en redes**

## **Conceptos de innovación tecnológica**

La innovación tecnológica ha sido tema de interés para diversos estudios, tanto en los ámbitos de la economía, sociología y administración, como en los estudios sociales sobre ciencia y tecnología, principalmente por su influencia en el desarrollo socioeconómico, la interacción entre actores que mantienen relaciones comerciales, políticas y sociales, así como la evolución del propio conocimiento científico-tecnológico y sus efectos en diversos contextos sociales.

El discurso de la innovación tecnológica ha sido ampliamente desarrollado en la literatura especializada. Diversos enfoques disciplinarios enfatizan su análisis o bien en los actores involucrados, o en los procesos que llevan a cabo. La figura 1 muestra las ideas principales de estas teorías.

Figura 1. Principales conceptos sobre innovación tecnológica.

Teoría / modelo de análisis	Autores	Disciplinas	Énfasis	Tesis o argumento principal ¿Qué son y cómo se explican los procesos de innovación tecnológica?
Sistemas Nacionales de Innovación	Lundvall, Nelson, Freeman	Economía	Empresas	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La innovación se entiende cómo un proceso interactivo, no lineal, que tiene peculiaridades nacionales, regionales y sectoriales. En diferentes sectores de la economía y la sociedad se hace uso de diferentes mezclas de conocimiento local y global, y en varias áreas el <i>know-how</i> es difícil de identificar o codificar.</li> <li>• De acuerdo con Godin (2009), esta teoría sugiere que el objetivo principal del sistema de investigación es la innovación, y que el sistema de innovación es parte de un sistema más largo compuesto por sectores como el gobierno, la universidad, la industria y su contexto. La teoría enfatiza las relaciones entre los componentes como las causas para explicar el desempeño de los sistemas de innovación. Godin argumenta que el enfoque de “sistema” pertenece a la OCDE, y que los trabajos desarrollados por ésta, en los años de 1960, ha sido la mayor influencia para los autores representativos de los S.N.I. (Sistemas Nacionales de Innovación).</li> </ul>
Triple Hélice	Etzkowitz, Leydesdorff	Sociología, Administración, Ciencias Políticas.	Universidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se enfatizan las relaciones entre la universidad, industria y gobierno como la base institucional para la creación de riqueza y desarrollo sustentable; a través de estas relaciones los sistemas de innovación son dinámicos en la generación de conocimiento y su efectiva aplicación.</li> <li>• El modelo se centra en observar las redes de comunicación y expectativas que reconfiguran los acuerdos entre las universidades, industrias y agencias de gobierno.</li> <li>• Incluye el discurso sobre competitividad, desarrollo regional y la “tercera misión” de la universidad. El supuesto de que, además de llevar a cabo la docencia y la investigación, la universidad puede jugar un papel mayor o más significativo en la innovación.</li> </ul>

Redes de conocimiento	Casas, Luna	Estudios Sociales de la Ciencia y la Tecnología, Sociología.	Conocimiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Retoma la idea principal de Granovetter (1973), la cual refiere que los individuos son actores con motivaciones sociales y económicas, y sus acciones están influenciadas por las redes de relaciones en las que están insertos.</li> <li>• Para Casas y Luna (2011), los actores y sus relaciones forman una red social en la que es muy importante la posición que ocupan, ya que es a través de la estructura de la red como se pueden explicar las oportunidades y restricciones para los actores.</li> <li>• Se enfatiza el conocimiento, su generación, distribución y uso. Considera que las redes son estructuras difusas, agregaciones de individuos y organizaciones (ambos independientes), que se vinculan por medio de intereses compartidos e interesados acerca de un problema, de tal forma que generan y agregan conocimiento acerca de problemas compartidos.</li> <li>• En palabras de Casas y Luna (2011), se destaca que este tipo de redes -las redes de conocimiento- promueven nuevas formas de comunicación entre distintos actores, y representan una nueva forma de organización social a favor del desarrollo local.</li> </ul>
Open Innovation	Chesbrough	Administración, Economía	Inventos, modelos de negocios adaptados, y flujo de ideas externas e internas a la empresa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se entiende a la innovación como las invenciones que se ponen en funcionamiento o se implementan en un mercado.</li> <li>• Considera los procesos de innovación enfocados en el <i>problem-solving</i>, diferenciándolos de la innovación disruptiva (las invenciones que cambian prácticas sociales: el teléfono, el automóvil, la computadora personal, la Internet, etc.).</li> <li>• Asume que la mayor parte de la gente inteligente no es miembro de un solo grupo, sino que están distribuidos en múltiples lugares e instituciones.</li> <li>• Asume que la innovación proviene de equipos multidisciplinares, que usan herramientas y métodos ajenos a los que le son familiares. La innovación no está necesariamente focalizada en términos organizacionales, sino en el flujo de ideas que proviene de diversas fuentes.</li> </ul>

El abanico amplio sobre el significado de la innovación tecnológica y cómo se explica ofrece múltiples posibilidades para entenderla. Sin embargo, como punto de partida subrayamos la idea de Lundvall (1992), acerca de que al conocimiento usado en el proceso de producción se le llama tecnología, y un nuevo (recombinado o redescubierto) conocimiento, introducido dentro de la economía, se le llama innovación. Este punto de partida nos permite hacer varias diferenciaciones que se encuentran en boga alrededor de las discusiones sobre innovación tecnológica, propiedad intelectual, y entre otros temas relacionados. El tipo de conocimiento del que hablamos está vinculado al llamado *know-how* (un desarrollo tecnológico, el conocimiento sobre cómo se hace un nuevo producto, el conocimiento que está detrás de un nuevo servicio). Sin embargo, al propio *know-how* como tal no se le puede llamar innovación sino sólo cuando se encuentra en uso durante un proceso productivo y es parte de un sistema comercial. Así, una invención aun siendo patentada no es innovación.

Otra diferenciación importante es el grado de innovación. Existen dos grados claramente distinguibles: el primero está estrechamente relacionado con el *problem-solving*, es decir, el tipo de conocimiento que se adapta a la solución de un problema específico, en un contexto específico. El segundo grado se refiere a invenciones que han cambiado prácticas sociales, como el telégrafo, el teléfono, el Internet, el automóvil o el avión. Evidentemente, entre estos dos extremos existe una relación estrecha, las grandes invenciones han nacido de estudiar cómo resolver un problema específico, y a su vez, se han introducido de diversa forma en la vida social, siempre con un sistema comercial por detrás.

Sin embargo, es necesario aclarar que en la propuesta de análisis sobre la innovación tecnológica, consideramos que los procesos de adaptación del conocimiento a la solución de problemas son innovaciones. Es decir, se trata de *know-how* que tiene diversos modos de compartirse entre actores (empresas y universidades), y distintos grados de puesta en operación en un sistema comercial. Asimismo, no se trata de procesos de innovación disruptiva, sino conocimiento enfocado en el *problem-solving*.

## **Innovación tecnológica y economía**

No hay duda de que la innovación tecnológica tiene efecto en el desarrollo económico de una región, y es evidente que el discurso sobre ésta no ha perdido vigencia. Al final, el interés



comercial por el asunto ha influido en el diseño de políticas públicas alrededor del mundo para fomentarla. Recordemos que para Godin (2009), desde los años 60s del siglo XX, el discurso de la innovación tecnológica ha seguido el marco conceptual de la OCDE y las políticas económicas que promueve.

Una aportación fundamental para entender la dinámica de la innovación, y su relación con la economía, corresponde a Nathan Rosenberg (2001), quién enfatizó tres conceptos relevantes para ello: complementariedad, el impacto acumulativo de los perfeccionamientos menores, y la interdependencia industrial.

En primer lugar, Rosenberg introdujo la idea de que la productividad de una determinada invención depende del grado de disponibilidad (avance) de tecnologías complementarias, puesto que inicialmente estas tecnologías no existían, los beneficios potenciales derivados de la invención (A) deben su obtención de las invenciones (B), (C) y (D). Estas relaciones de complementariedad hacen extremadamente difícil prever el flujo de beneficios obtenibles de una invención individual. Así, las tecnologías dependen una de otra, de modo que no son evidentes al observador ocasional y frecuentemente ni siquiera al especialista. El ejemplo más significativo que ofrecía Rosenberg, para explicar la complementariedad de la tecnología, es el impacto que el ferrocarril tuvo en la economía estadounidense de mitad del siglo XIX. Por una parte, la introducción del ferrocarril significó una reducción en el costo de transporte, impactando positivamente la productividad del sector agrícola al facilitar el intercambio de productos en áreas geográficas más vastas, antes inaccesibles, haciendo posible una mayor especialización regional sobre la producción. Estos beneficios sociales se acrecentaron con la invención de la nave a vapor que redujo el costo de las expediciones transoceánicas, y de la técnica de refrigeración. Con estas invenciones complementarias emergió al fin de siglo XIX una división del trabajo en la agricultura realmente mundial.

Así, los beneficios sociales de una innovación raramente se pueden identificar cuando vienen considerados de manera aislada. El crecimiento de la productividad en la economía industrial, según Rosenberg, es el resultado complejo de un gran número de tecnologías interdependientes que se refuerzan recíprocamente, pues sus componentes individuales, considerados aisladamente, tienen una importancia económica muy limitada. Si las tecnologías se complementan una a otra (estas ideas han apoyado los conceptos sobre la existencia de cadenas de valor, clusters y demás tipos de áreas o sectores de producción especializados), la innovación tecnológica debe concebirse no sólo en las grandes invenciones, sino en aquellas aparentemente diminutas.

En segundo lugar, Rosenberg enfatiza el impacto acumulativo de los perfeccionamientos menores, como la forma casi invisible de aportes a la innovación tecnológica. Como tal, se trata de pequeños mejoramientos que pueden ser espectaculares desde el punto de vista tecnológico, pero no así desde el punto de vista económico. Cuando una tecnología ya se encuentra en operación existen cambios menores que satisfacen las existencias particulares de quien lo utiliza; productos como la máquina a vapor, el motor eléctrico o el automóvil, han sido y siguen siendo susceptibles de una multiplicidad de mejoras de acuerdo con las exigencias de los usuarios finales. Se habla aquí de innovaciones pequeñas (en el léxico de Rosenberg), no radicales, que tienen importancia en cuanto que presentan la naturaleza gradual y fragmentada del cambio tecnológico, tienen un significado acumulativo.

Un buen ejemplo de nuestro tiempo son todos los productos de Apple Inc., donde cada uno de sus productos -una *laptop*, una *tablet*- contiene un sinnúmero de mejoras, identificadas en cada uno de sus componentes. Una búsqueda simple en la página de la WIPO<sup>2</sup> muestra 16,380 patentes de Apple Inc., en las que se encuentran prácticamente cada uno de los componentes de sus productos. El asunto cobra mayor importancia cuando se habla de técnicos trabajando para el mejor funcionamiento de un dispositivo o una máquina, y éstos se encuentran en diversas organizaciones. En efecto, desde los ejemplos históricos que señala Rosenberg hasta la actualidad, se ha tratado de equipos de trabajo reunidos en la solución de un problema; una nueva tecnología presenta un nuevo problema a resolver y en consecuencia una mejora: una pequeña innovación.

En tanto que la tecnología se complementa y se incrementa de forma gradual y fragmentada, resulta incluso obvio que exista una interdependencia entre las organizaciones que la producen. Rosenberg señala que esta interdependencia principalmente se ve en el tipo de modificaciones que las empresas ejecutan sobre los elementos “básicos” que intercambian: minerales, acero, productos químicos, fibras de aluminio, componentes electrónicos, etc. Muchos aspectos del cambio tecnológico son visibles sólo en el nivel intermedio de los procesos de producción (considerando el proceso tradicional de producción *input-output*), donde se involucra el uso de elementos de este tipo, asumiendo forma de nuevos materiales, nuevos componentes o procesos. Por ejemplo, el predominio del acero empleado para muchos procesos productivos, tuvo fin con el empleo del aluminio, de la madera compactada o del cemento compuesto pre-compacto.

---

<sup>2</sup> World Intellectual Property Organization

Sin embargo, el problema es más delicado y complejo si se considera el hecho esencial de que el progreso tecnológico de un sector de la economía depende del cambio tecnológico que se realiza en otro. Aunque Rosenberg reconoce que es difícil ejemplificarlo, da un lugar relevante a los constructores de equipamiento (o maquinaria), siendo una fuente muy importante de cambio tecnológico en muchas industrias, tal es el caso de la industria del aluminio. Otro ejemplo que aporta Rosenberg de cómo la interdependencia empresarial ha estado presente históricamente es la producción de la energía eléctrica; si bien este tipo de producción de energía inició en el último decenio de 1800, su crecimiento sucedió sólo después de que la turbina a vapor se puso a un nivel de eficiencia suficientemente elevado para construir centrales termoeléctricas, y producir energía eléctrica en plantas industriales altamente centralizadas. Así, al inicio del siglo XX, este nuevo tipo de energía terminó por desplazar el predominio de la máquina a vapor, que siempre había presentado muchos problemas, sobre todo por su limitada capacidad de generar energía.

## ¿Qué papel juegan las redes sociales en los procesos de innovación?

Para entender la innovación tecnológica se debe pensar también en que hablamos de un proceso social en el que individuos, en grupos u organizaciones, intervienen compartiendo conocimiento y estableciendo relaciones de diverso tipo, sobre todo comerciales, pero también relaciones sociales (en el término amplio de la palabra). En tal sentido, a diferencia de las concepciones que enfatizaban las organizaciones estructuradas (empresas, universidades), varias de las últimas concepciones teóricas sobre la innovación se focalizan sobre el estudio de grupos (redes sociales), coincidiendo en una idea esencial: **en la innovación tecnológica existe un flujo de conocimientos que proviene de diversas fuentes**. Es decir, más que en la empresa o la universidad como organizaciones y fuentes de conocimiento tecnológico, el desarrollo del *know-how* se da en el diálogo e interacción que establece un grupo de personas que trabajan, ya sea desde la universidad o la empresa. Es por ello que mirar el grupo es importante, porque allí suceden la producción y el flujo de conocimiento (Casas 2001; Casas y Luna, 2011; Casper, 2013).

La literatura relacionada con estas concepciones teóricas basa sus análisis en el estudio de casos. El modelo de la triple hélice, por ejemplo, ha centrado su estudio en las redes de comunicación y expectativas que reconfiguran los acuerdos entre las universidades, industrias y agencias de gobierno. Recientemente, el propio Henry Etzkowitz comentaba en el congreso

*University-Industry interaction*<sup>3</sup>, que el modelo de la triple hélice lo ha ideado a partir de observar lo que ha sucedido en Boston durante la mayor parte del siglo XX. La Route 128 MA es una de las regiones con mayor tradición en innovación tecnológica de los Estados Unidos, donde efectivamente han sucedido los acuerdos entre universidades, industrias y agencias de gobierno a partir de las redes de comunicación.

Por otro lado, Casper (2013) ha proporcionado evidencia, proveniente de las patentes de biotecnología registradas de 1980 a 2005, acerca de los vínculos existentes entre los investigadores de San Francisco y Los Ángeles. Ha argumentado que existe una red más grande y cohesionada en San Francisco que en Los Ángeles, lo cual ha facilitado la comercialización de resultados de investigación provenientes de la universidad hacia la industria. Asimismo, señala que las universidades de San Francisco han sido doblemente exitosas obteniendo patentes, en comparación con aquellas de Los Ángeles, y tres veces más exitosas estableciendo compañías (*spin-offs*), aunque hayan atraído sólo el 30% más de financiamiento para investigación. Además, argumenta que la comercialización de resultados de investigación de las universidades de San Francisco creció significativamente a inicios de los 90s, cuando la red de inventores surgió en la región.

En México, el equipo de sociólogas liderado por Rosalba Casas que se ha especializado en estudios sociales sobre ciencia, tecnología e innovación, ha documentado un amplio acervo de casos en los que destacan la conformación de redes como una estructura emergente de colaboración (Casas, 2001, 2005, 2006; Casas et al, 2000, 2007, 2011). Enfatizan el hecho de que las redes dan pie a procesos de aprendizaje entre los participantes a través de canales de ida y vuelta; entre oferta y demanda de conocimientos. De esta forma, argumentan que las redes establecidas entre empresas, centros de investigación y universidades tienen un grado de maduración que se basa en el desarrollo de la confianza. Las interacciones o colaboración a menudo comienzan con la ejecución de servicios de consultoría que resuelven problemas puntuales en los procesos de producción de las empresas. Mediante experiencias de este tipo se construye lo que denominan *confianza técnica*, que da lugar a la conformación de proyectos más complejos y ambiciosos, en los que se incluyen desarrollos tecnológicos. Sin embargo, el equipo de Casas frecuentemente hace hincapié en la conformación de redes que comparten conocimiento que va más allá de la innovación tecnológica. Es decir, se trata de intercambio de información especializada, e intercambio de conocimiento nuevo para los participantes. Los objetivos de la colaboración

---

<sup>3</sup> Llevado a cabo en Amsterdam en 2012.

en las redes implican la transferencia de saberes acumulados, que se adaptan a las necesidades y condiciones específicas de los involucrados (Casas, 2001).

Por otro lado, también señalan como factor importante en la construcción de redes de colaboración la existencia previa de relaciones informales e individuales, a través de las cuales se gesta el aprendizaje y la confianza técnica entre individuos que pertenecen a diversos sectores, así como la cercanía física que facilita las interacciones cara a cara. Estos últimos factores que actúan como *drivers* de la colaboración en los casos analizados por Casas et al, corresponden a las concepciones sobre el capital social que está involucrado en la transferencia tecnológica, y que a su vez determina la participación activa de los actores.

Una aproximación que no enfatiza explícitamente las redes sociales, sino el flujo de conocimiento entre universidad y empresa, corresponde a las ideas de Chesbrough *et al* (2003a, 2003b), quienes han analizado casos principalmente de la industria informática y electrónica, en los Estados Unidos. En esencia no es diferente a la idea del modelo de la triple hélice en cuanto considera que las ideas surgidas en la universidad pueden tener mayor trascendencia en los procesos de innovación en la industria. Partiendo de la perspectiva de la empresa, su aproximación ayuda a organizar conceptualmente mejor el cambio de paradigma que propone: pasar de *closed innovation* a *open innovation*.

Para Chesbrough el paradigma anterior propone que la innovación exitosa requiere control. En tal sentido, es la empresa la que genera sus ideas, las desarrolla, las construye y las comercializa, por tanto tiene una lógica internamente focalizada. El cambio lo representa la *open innovation*, donde se reconoce que no todo proviene de la empresa. Según Chesbrough, el paradigma anterior funcionó bien durante el siglo XX, posteriormente dejó de ser sustentable sobre todo por la ruptura de lo que se pensaba como el círculo virtuoso, donde la inversión en R&D era la fuente principal para las nuevas ideas y desarrollos tecnológicos. Este paradigma asume que las firmas pueden y deben usar ideas externas al igual que las internas, así como vías o rutas internas y externas al mercado, en la medida que busquen mejorar su tecnología. A continuación se muestran los principales supuestos de la propuesta de Chesbrough *et al*.

Figura 2. Principios Closed vs. Open Innovation	
<b>Closed Innovation</b>	<b>Open Innovation</b>
La gente inteligente en nuestro campo trabaja para nosotros.	No toda la gente inteligente trabaja para nosotros. Necesitamos trabajar con gente inteligente dentro y fuera de nuestra compañía.
Para sacar ganancias del <i>R&amp;D</i> , debemos descubrir, desarrollar y operarlo todo nosotros.	El <i>R&amp;D</i> del exterior puede crear valor significativo, el <i>R&amp;D</i> en el interior es necesario solo para solventar una porción de ese valor.
Si lo descubrimos primero, debemos llevarlo al mercado primero.	No necesitamos iniciar la investigación para aprovechar sus beneficios comerciales.
La compañía que lleva primero la innovación al mercado ganará.	Construir un mejor modelo de negocio es mejor que llegar al mercado primero.
Si creamos más y mejores ideas en la industria ganaremos.	Si hacemos mejor uso de las ideas internas y externas ganaremos.
Debemos controlar nuestra Propiedad Intelectual (PI), así nuestros competidores no sacarán ganancias de nuestras ideas.	Debemos dejar que otros saquen ganancias de nuestra PI, y debemos comprar la PI de otros, siempre que favorezca nuestro propio modelo de negocio.
Fuente: Chesbrough, H. W. (2003a).	

Debe señalarse que las concepciones de Chesbrough (2003a), Casper (2013), y el propio Etzkowitz et al (2000), provienen de estudios de casos que involucran la generación de redes de colaboración en contextos diferentes al caso mexicano e italiano; en las cuales debe analizarse las especificidades de las colaboraciones a partir de las estructuras institucionales, así como la articulación de recursos y capacidades. A pesar de ello, son un referente importante como punto de partida para entender la dinámica de las redes de colaboración.

## **Redes sociales y capital social**

Si las redes sociales, denominadas en la literatura también como redes de conocimiento o redes de colaboración, tienen una importancia significativa para facilitar los flujos de conocimiento entre la universidad y la empresa: ¿cuáles son los factores que facilitan su conformación y su funcionamiento? y ¿en realidad éstas se determinan por el contexto social en el que se encuentran las instituciones académicas, y las organizaciones empresariales? En este orden de ideas algunos estudios, sobre la innovación tecnológica, han retomado la idea de que el capital social tiene un papel fundamental en la conformación de redes de colaboración.

Entendemos que el capital social es, en principio, un beneficio que proviene de la interacción entre un grupo de personas. Pero también es un recurso, es decir una forma de

capital desarrollado por los individuos y grupos que es invertido en el proceso de innovación. El uso y la transmisión del conocimiento tácito, tan importante en la investigación científica, tienen más posibilidades en un entorno rico en capital social. Aunque existe también un debate amplio sobre el significado del capital social, se concuerda en que se trata de la serie de beneficios esperados, colectivos o económicos, que derivan de la relación preferencial y cooperación entre individuos y grupos (Putnam, 2000). Así, dentro de las redes sociales y las organizacionales, los beneficios pueden representarse individual y colectivamente.

Existe quien argumenta que el avance de la carrera de un individuo es parte del capital social en el que está inmerso, o con el que cuenta, mientras que el acceso preferencial a la información, de una organización a otra, también es parte del capital social en el que se encuentra inmersa la empresa (Inkpen y Tsang, 2005). Así, el capital social representa un factor preponderante para la cohesión pues determina la confianza al interior de un grupo social. Un proverbio destacado en el debate sobre el capital social reza “no sólo importa lo que sabes, sino a quién conoces”. Se ha fortalecido la idea de que la cohesión entre los grupos, y los beneficios que se obtienen de ésta, son factores muy importantes para la transferencia y la innovación tecnológicas.

Algunos estudios, como los efectuados por Landry, R. *et al.* (2002), se preguntan si el capital social determina la innovación. El estudio de Landry considera un análisis empírico a 440 empresas de manufactura de la región sureste de Montreal, sin embargo, sus perspectivas no conforman una teoría sobre la innovación tecnológica. Son significativos porque argumenta hallazgos que muestran relaciones entre el capital social y la innovación. Es importante aclarar que este estudio reconoce que el capital social no puede ser tomado como un indicador único para explicar la innovación, y señala distintos tipos de capital social: activos de redes de negocios, activos de redes de información, activos de redes de investigación, activos de participación, activos de relación<sup>4</sup>, y una forma de lo que han denominado capital social cognitivo (confianza mutua).

Así, lo que muestran Landry *et al.* es que estas empresas se han enfrentado a dos dilemas importantes en sus procesos de innovación: primero si deben o no innovar, y después, qué tan radical debe ser la innovación que adopten. Los autores argumentan que es aquí, en la toma de decisiones sobre innovar o no, donde se muestra la mayor influencia del capital social en la innovación, pues los activos de participación y relación son los que tienen mayor

---

<sup>4</sup> Entendemos que el término activos se refiere a los beneficios que se obtienen de cada tipo de capital social que Landry *et al.* consideran en su estudio. La redacción original señala “we have added five forms of structural social capital (business network assets, information network assets, research network assets, participation assets, and relational assets) and one form of cognitive social capital (reciprocal trust)”.

influencia. Al final es algo bastante lógico, pues estas dos formas de interrelación entre actores son las que se refieren a los intereses que persiguen cada uno.

Mientras tanto, la forma de capital social que más influencia tiene en la radicalidad de la innovación es la referida a los activos de las redes de investigación. Los autores argumentan que sus resultados soportan la idea de que entre más radical es la innovación, más empresas dependen del conocimiento creado por diferentes organizaciones de investigación. Lo cual también resulta lógico, ya que la innovación radical implica una amplia difusión del conocimiento, en qué consiste y una cantidad amplia de actores involucrados.

Las perspectivas de Landry *et al.* son importantes para considerar que existen relaciones entre capital social y la innovación, pero fallan en señalar que la confianza, lo que ellos llaman capital social cognitivo, no tiene impacto en el proceso de toma de decisiones de las empresas. La confianza mutua es, en sí misma, la base de cualquier relación social; entre los diferentes actores que participan en la innovación tecnológica es lo que motiva a crear alianzas con unos y no con otros. Esto está soportado ampliamente por autores como Granovetter (1973), y son los argumentos que retoman Casas y Luna (2011). Además, si se retoma el principio de la *actor-network-theory*<sup>5</sup> referente a que el éxito de una idea, un método o una tecnología, radica en la habilidad de despertar el interés total de múltiples actores en conjunto (Giesler, 2012), tendríamos que entender que el interés está determinado por la confianza.

De esta forma, en nuestra propuesta conceptual de análisis hacemos énfasis en la confianza como elemento estrechamente relacionado con el capital social, y los procesos en los que los distintos actores involucrados en la innovación tecnológica interactúan y comparten conocimiento.

## **Diversidad de formas de colaboración universidad - empresa**

Mientras la mayor parte de la literatura sobre el tema ofrece una perspectiva sistémica del asunto, la evidencia sobre los flujos de conocimiento entre universidad y empresa (las redes de conocimiento o grupos de investigación) continúa siendo difícil de apreciar, documentar e interpretar. Geuna & Muscio (2009), dentro de la revisión que hacen sobre la gobernanza de la transferencia de conocimiento de la universidad, ya han señalado que la revisión no ofrece evidencia considerable sobre cuánto, o qué tipo de conocimiento, es transferido a las

---

<sup>5</sup> Desarrollada por Bruno Latour, Michel Callon, y John Law.



empresas, vía las oficinas de transferencia tecnológica, y cuál es transferido directamente por los investigadores de la universidad.

En efecto, se trata de acciones donde intervienen diversos elementos que mezclan una organización formal e informal de los grupos de trabajo. Existen formas directas en las que los investigadores participan, y formas indirectas a través de las cuales también se transfiere conocimiento. Así, la transferencia de tecnología corre por diferentes vías, que van desde actividades de investigación colaborativa, consultoría académica, la formación de estudiantes que terminan trabajando en la industria, la propia explotación de patentes bajo una licencia, o el establecimiento de una *start-up*. Diversos estudios que hablan sobre esta colaboración (universidad-empresa), se centran en la identificación de patentes como evidencia de que existen procesos de innovación en los que intervienen investigadores de universidades y empresas. Otros más comienzan a apreciar las formas de investigación colaborativa como indicador de innovación tecnológica, sabiendo que en la mayor parte de los casos el *know-how* se patenta sólo cuando no representa realmente una ventaja comercial significativa y por tanto puede ser dado a conocer.<sup>6</sup>

Al respecto, existe literatura creciente sobre la investigación colaborativa (Geuna & Muscio, 2009), pues se reconoce como la fuente más importante para la innovación tecnológica, y es la que ofrece los mayores beneficios económicos para las universidades. Varios autores ya han señalado que no está en discusión que el financiamiento más grande, proveniente de la industria, es por investigación colaborativa o comisionada y no por regalías de patentes (Etzkowitz, 1998, Balconi, M., Breschi, S. & Lissoni, F., 2003).

De igual forma, los análisis de Mowery *et al.* (2001a, 2001b, 2005a, 2005b, 2002) acerca del impacto de las patentes de las universidades en Estados Unidos, ya han sugerido la dificultad y el costo de la gestión de patentes, que a su vez limita los retornos financieros de su licenciamiento. Asimismo, señalan que actualmente la mayor parte de oficinas dedicadas al licenciamiento de patentes persiguen un conjunto más amplio de objetivos, incluyendo el desarrollo de vínculos más estrechos con la industria local para el apoyo de la investigación que se realiza en la universidad. Las conclusiones de Mowery *et al.*, se basan en el análisis de la experiencia estadounidense, que incluye la historia de la *Research Corporation* y el papel del *Bay Dole Act*, como antecedente principal de la expansión de patentes universitarias y el

---

<sup>6</sup> Se patenta por diversos motivos. En el caso de los investigadores universitarios principalmente como un elemento que les otorga prestigio en lo individual y al conjunto de la universidad, pues es posible argumentar que es un indicador que muestra la vanguardia de la investigación científico-tecnológica que desarrollan. Mientras tanto, del lado de la empresa el *know-how* que representa una ventaja comercial amplia es el que se tienen como secreto industrial; no se patenta, no se divulga, ni se comparte por ningún medio.

establecimiento de oficinas de transferencia tecnológica. Aunque argumentan que varias universidades, especialmente de California, ya eran muy activas en licenciamiento de patentes décadas antes del *Bay Dole Act*, en áreas donde existió un fuerte financiamiento público y avances significativos de ciencia básica (ingeniería y ciencias aplicadas). Los análisis de Mowery *et al* enfatizan que la historia de la *Research Corporation* muestra las dificultades de mantener, como función exclusiva, un portafolio de patentes con la intención de patentarlas, ya que las regalías de patentes tienden a ser dominadas por un número pequeño de “*home runs*”. Asimismo, advierten que el surgimiento de tales *home runs* es difícil de predecir, pues usualmente representan una pequeña porción de todos los inventos, y la contribución a los ingresos está limitado por los propios términos de las patentes. Como resultado, los ingresos por licencias son inestables y difíciles de pronosticar. Finalmente, es importante señalar que los análisis de Mowery *et al* muestran que, al adoptar las patentes como criterio de evaluación de las actividades de los investigadores, las universidades han promovido *de facto* el incremento de patentes “académicas”; patentes que cuentan o tienen el mismo valor de la publicación de artículos científicos.

Por su parte, Ramos-Vielba & Fernández-Esquinas (2012), han ofrecido un panorama más amplio para documentar las formas de colaboración entre universidad y empresa, que no se limita a las enfocadas a partir de las patentes y la generación de *spin-offs*. En su estudio, basado en la encuesta a 765 líderes de equipos de investigación de la región de Andalucía en España, argumentan que la generación de patentes y *spin-offs* significan un estado avanzado, que en realidad está basado en interacciones previas entre investigadores y la industria. Estas formas de colaboración son las más evidentes pero no son las principales para la mayor parte de las universidades y centros de investigación. Así, los grupos de investigación que registran patentes no sólo se dedican a ello, más bien combinan diversas interacciones con la industria.

De igual forma argumentan que en algunas disciplinas, como las ciencias sociales y las ciencias naturales, no se transfiere conocimiento codificado, pero se transfiere conocimiento tácito. Su análisis apoya la relevancia de este tipo de vínculos, porque significan potencialmente las fuentes de innovación tecnológica.

El estudio divide en cuatro segmentos las formas de colaboración:

1. Actividades de investigación y desarrollo: consultoría académica, proyectos de investigación y desarrollo financiados exclusivamente por una empresa, y proyectos de investigación y desarrollo con financiamiento compartido o público.

2. Formación y transferencia de personal: formación de posgraduados y estancias estudiantiles en empresas, transferencia temporal de personal, capacitación específica de trabajadores provista por la universidad.
3. Comercialización y actividades relacionadas con la Propiedad Intelectual: uso o renta de instalaciones y equipamiento, explotación de patentes y modelos de utilidad, creación de nuevas firmas.
4. Otros contactos: participación en capital de riesgo para un centro de investigación híbrido, relaciones informales, otros tipos de actividades de colaboración, y actividades no-académicas de difusión del conocimiento.

## Propuesta conceptual de análisis

La literatura que hemos revisado nos ha permitido construir una propuesta conceptual para identificar y analizar procesos de innovación tecnológica, la cual presentamos en la siguiente figura.

Figura 3. Principales conceptos de la propuesta	
Innovación tecnológica	La innovación se refiere a los procesos de adaptación del conocimiento para la solución de problemas. Este proceso sucede en la interacción de grupos de investigación mixtos, entre universidades y empresas, y son multidisciplinarios. La forma de organización que prevalece para la interacción entre los actores sigue rutas formales (políticas o reglas institucionales), e informales (acuerdos basados en la confianza que son gestionados por los actores de forma independiente). Tres factores tienen un peso definitivo para el desarrollo de la innovación: el capital social, el desarrollo de la confianza, y el esfuerzo que hacen los investigadores para divulgar los resultados de investigación que realizan.
Capital Social	Las redes de conocimiento son personas que mantienen una relación formal o informal, poseen conocimiento útil y realizan una colaboración que les otorga un beneficio. Ahí, donde prevalece un clima de confianza y mutualidad, crece el capital social. Mientras tanto, el capital social son los beneficios que se obtienen de tales relaciones interpersonales: información, conocimiento, beneficios económicos, negocios, proyectos.
Formas de colaboración universidad-industria	La transferencia tecnológica se realiza por varias vías, puesto que significa el compartir conocimiento que es útil para resolver problemas, y es un medio por el que grupos de investigación colaboran. Así, son importantes cuatro conjuntos de colaboración: 1. Actividades de investigación y desarrollo. 2. Formación y transferencia de personal. 3. Comercialización y actividades relacionadas con Propiedad Intelectual. 4. Otros contactos.

## Innovación tecnológica

La definición de innovación tecnológica que adoptamos hace énfasis en aquellos procesos de investigación enfocados en la solución de problemas. La investigación colaborativa y la formación de redes de conocimiento son importantes como medios en los que se adapta el conocimiento en la práctica, y a través de los cuales surgen la confianza y los acuerdos para compartir conocimiento científico-tecnológico, riesgo y beneficios económicos.

## Capital Social

La importancia del capital social radica en que éste representa las motivaciones e intereses bajo los cuales diversos actores están dispuestos a colaborar. Para obtener el apoyo a una idea y que ésta tenga éxito, no basta sólo con tener muchos contactos, sino en despertar el interés de múltiples actores. Importan también las formas en las que se genera la confianza entre actores, y los beneficios que se obtendrán de la colaboración que realizan: el capital social.

## Diversas formas de colaboración universidad-industria

Identificar, documentar, y analizar la combinación de las diversas formas de colaboración universidad-industria, permite tener un panorama más completo de cómo la transferencia de conocimiento sucede en la práctica. Presentamos aquí, de forma específica, las formas de colaboración que exploramos en nuestro estudio.

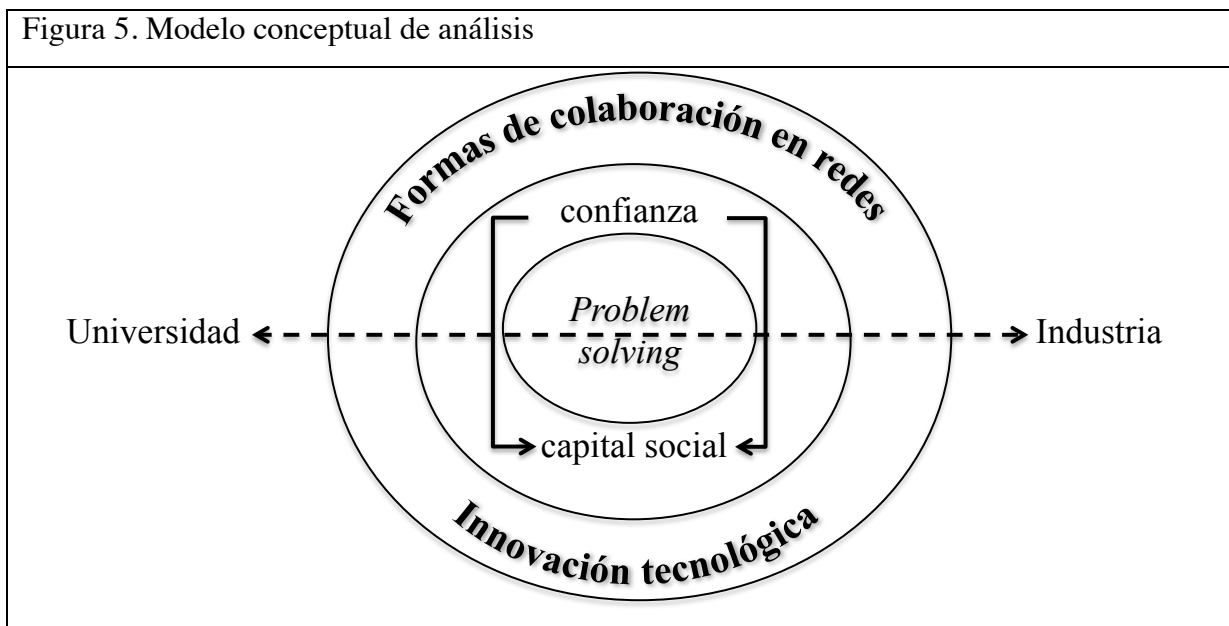
Actividades de investigación y desarrollo	de y	<ul style="list-style-type: none"><li>• Consultoría académica</li><li>• Proyectos de investigación y desarrollo financiados exclusivamente por una empresa</li><li>• Proyectos de investigación y desarrollo con financiamiento compartido o público</li></ul>
Formación y transferencia personal	y de	<ul style="list-style-type: none"><li>• Formación de posgraduados</li><li>• Estancias estudiantiles en empresas</li><li>• Transferencia temporal de personal</li><li>• Capacitación específica de trabajadores provista por la universidad</li></ul>
Comercialización y actividades	y	<ul style="list-style-type: none"><li>• Uso o renta de instalaciones y equipamiento</li><li>• Explotación de patentes y modelos de utilidad</li></ul>

relacionadas con Propiedad Intelectual	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Creación de nuevas empresas</li> <li>• Participación en capital de riesgo para un centro de investigación híbrido</li> </ul>
Otros contactos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Relaciones informales</li> <li>• Actividades no-académicas de difusión del conocimiento</li> <li>• Otros tipos de actividades de colaboración</li> </ul>

Fuente: Elaboración propia con base en Ramos-Vielba & Fernández-Esquinas (2012).

Cabe señalar que, en este rubro, las relaciones informales están estrechamente vinculadas con los contactos y el capital social que establecen los actores; mientras que las actividades no-académicas de difusión del conocimiento abarcan tanto las actividades generales de divulgación científica, como aquellas que se realizan en instalaciones y espacios no académicos.

En resumen, la figura 5 muestra la interacción entre los conceptos que señalamos como centrales para el análisis de los casos que nos ocupan en el trabajo de tesis. Entendemos que el flujo de conocimiento entre la universidad y la empresa se da a través de diversas formas de colaboración (links), que son variados y proveen a los involucrados canales de comunicación y aprendizaje mutuo. Estas formas de colaboración suceden en redes o grupos de personas que se integran, y se desintegran, alrededor de la solución de problemas y adaptaciones de conocimiento. Las formas de colaboración entre la universidad y la industria son la base de la innovación tecnológica, y su grado de integración y madurez depende en gran medida de la confianza y el capital social que logra el grupo de trabajo.



Fuente: Elaboración propia.

## **Metodología de análisis**

La mayor parte de las teorías que explican los procesos de innovación tecnológica basan sus argumentos en estudios de casos. Con mayor o menor énfasis, el estudio de un caso permite una mirada profunda a procesos que suceden en un contexto histórico y social específico. Es difícil, sin embargo, sacar lecciones y generalizaciones aplicables en contextos diversos a tal caso estudiado. Los estudios comparados, en cambio, permiten explorar procesos que tienen antecedentes análogos y que suceden en contextos sociales compatibles. Así, llegar a conclusiones generales sobre la innovación tecnológica tiene una complicación grande en contextos totalmente diversos; aún así, analizar patrones, similitudes y diferencias entre unos casos y otros resulta eficaz para obtener lecciones que retroalimenten el propio diseño de políticas institucionales locales, y el propio desempeño de la transferencia tecnológica conducida por investigadores, empresas y las oficinas dedicadas a facilitarla. Más importante resulta encontrar patrones, rutas o procesos similares en contextos sociales diferentes, lo cuál permite obtener conclusiones aún más sólidas.

Entendiendo que la innovación tecnológica tiene relevancia para países altamente desarrollados, tanto como para los países con menor desarrollo, la revisión que hacemos en la presente investigación sobre el desarrollo de la biotecnología en el mundo, nos permite ver una parte de la institucionalización y puesta en práctica de la disciplina en contextos diversos. Es decir, nos permite ver cómo la disciplina se ha desarrollado al interior de las universidades y centros de investigación (en el caso mexicano), y cómo (en el caso italiano) la disciplina se ha extendido hacia la industria. Pero existen aún cuestionamientos importantes que realizar en cuanto a por qué en algunos contextos (como el mexicano), una disciplina como la biotecnología pareciera vivir únicamente al interior de la academia, y por qué en contextos como el italiano, la biotecnología aplicada a la salud ha tenido aceptación, e incluso es motivo de orgullo, y mientras la aplicada a la agroalimentación ha visto frenado su crecimiento. Como veremos en el capítulo siguiente, nos encontramos ante el desarrollo de una disciplina que ha tenido impacto socioeconómico sólo en los países altamente desarrollados, como Estados Unidos, Japón, Reino Unido, Alemania y Francia, y que al interior de países con menor desarrollo como Italia y México, se ha desarrollado de forma más tardía y de forma diversa.

Las apreciaciones hechas a partir de las naciones en su conjunto, tienen limitaciones para analizar la dinámica de los grupos de investigación, que representan la base de la

innovación tecnológica. La forma en la que se han conformado, la forma en la que interactúan dentro y fuera de la academia, las actitudes de emprendimiento, las concepciones que tienen en cuanto a lo que es y para lo que sirve la investigación científica, entre otros factores relacionados a ellos, influyen de manera determinante en cómo se ha desarrollado una disciplina como la biotecnología en contextos diversos.

Los casos de Puebla y Bolonia nos permiten realizar un estudio comparado que pueda dar respuesta a preguntas como éstas, dado que se trata de contextos en donde la biotecnología se ha incorporado “desde afuera” a la academia. Es decir, tanto Puebla como Bolonia, no han sido el centro donde nació la biotecnología, y tampoco donde más auge ha tenido tal disciplina en cada uno de sus países. Pero hay varios grupos de investigación que existen actualmente, y que en apariencia han destacado dentro del conjunto de investigadores que promueven la innovación tecnológica al interior de sus universidades. La figura 6 muestra algunas coincidencias que nos permiten comparar a los grupos de investigación en ambas localidades.

Figura 6. Similitudes en el desarrollo de la biotecnología en Puebla y Bolonia

- La biotecnología es un campo disciplinar “nuevo” en ambas localidades.
- En ambos casos se pueden apreciar redes (grupos) de investigación, que han emergido desde los años de 1990, especialmente en la biotecnología aplicada al sector agroalimentario.
- En ambos casos, el desarrollo de la biotecnología aplicada al sector agroalimentario se encuentra en un punto de desarrollo comparable. Aunque existen varios grupos trabajando en la investigación desde la academia, la aplicación en la práctica industrial no es evidente (en el establecimiento de *start-ups* y licencias de patentes); es necesario conocer otras modalidades en las que fluye el conocimiento tecnológico. Asimismo, en ambos casos, la agricultura basada en OGM se encuentra bloqueada por ordenamientos legales, pero las posturas de los científicos difieren.
- En ambos casos, los grupos de investigación participan en procesos de innovación no disruptiva, pero desarrollan proyectos de investigación enfocados en el *problem solving*.
- La agricultura transgénica se encuentra también en el mismo punto: está bloqueada legalmente, y existe una fuerte presencia de las empresas transnacionales desarrollando investigación al interior del país, además de que ejercen fuerte presión para la aplicación de su tecnología en el campo mexicano e italiano. En los dos casos el contexto sociocultural tiene una fuerte tradición, dirigida a conservar la autenticidad de los productos agroalimentarios nacionales. México es el centro de origen del maíz en el mundo, mientras que Italia es el lugar donde más se defiende la denominación de origen de los alimentos.
- Ambas localidades son sujetas de cambios en las políticas hacia el apoyo a la investigación científica, que se ha intensificado en las últimas dos décadas. En Italia, el financiamiento de la Unión Europea (proyectos europeos) ha privilegiado el fomento a la investigación tecnológica, con la intención de

romper la llamada “Paradoja Europea”. En México, desde el año 2000, se diversificaron los apoyos a la investigación científica, enfatizando la importancia de la investigación tecnológica. En ambos casos, sin embargo, no existen cambios drásticos en el gasto total hacia la investigación y desarrollo como porcentaje del PIB.

- En ambas localidades existen grupos de investigación, que han recibido recursos destinados a apoyar la innovación tecnológica, y enfrentan a problemáticas similares para llevar a la práctica los resultados de sus investigaciones (en la forma en la que las políticas públicas supondrían: *start-ups* y licenciamientos). Pero en ambos casos, las colaboraciones que establecen con la industria dan cuenta de flujos de conocimiento en diversas modalidades (consultoría, investigación colaborativa, formación de recursos humanos, divulgación del conocimiento).
- En ambos sitios se pueden observar casos que involucran al capital social, como facilitador importante de transferencia de tecnología.

## **Objetivo general del estudio**

De esta forma, nuestro estudio ha tenido como propósito primordial realizar un análisis comparativo de carácter cualitativo, basado en entrevistas, y enfocado en indagar la dinámica de los grupos de investigación en ambas localidades. De modo que sea posible documentar: 1) la forma en la que han tenido origen los procesos de innovación en los que laboran, y como se han desarrollado a través del tiempo; 2) la estructura de los grupos de trabajo, su conformación y colaboración en redes, su dinámica en la construcción de alianzas; y 3) la forma en la que el flujo del conocimiento tecnológico se comparte o se limita desde estos grupos (colaboración universidad-empresa).

## **Ejes de análisis**

El modelo conceptual de análisis que hemos elaborado (figura 5), considera 3 ejes de análisis principales: 1) procesos de innovación tecnológica; 2) capital social y redes de colaboración; 3) las modalidades de colaboración universidad y empresa. A partir de ellas, delimitamos preguntas de investigación específicas y se construyeron guías de entrevista y cuestionarios (disponibles en el Anexo 1).

## **Objetivos particulares del estudio**

1. Identificar grupos de investigación que laboren tanto en la universidad (investigadores IN), como en la empresa (investigadores OUT), dedicados a labores de innovación



tecnológica en biotecnología agroalimentaria, utilizando como indicadores principales el registro de solicitudes de patente, y la información de proyectos financiados con fondos públicos, dirigidos al fomento de la innovación tecnológica.

2. Analizar el origen y desarrollo de invenciones y proyectos de investigación, enfocados en desarrollar tecnología en el área de la biotecnología de la agroalimentación.
3. Determinar la conformación de redes de colaboración, la forma de interacción y los beneficios de las relaciones (capital social).
4. Documentar, analizar y comparar las formas de colaboración universidad-empresa, establecidas por los grupos de investigación.

### **Preguntas de investigación**

1. ¿Qué factores han inspirado y dado origen a los desarrollos tecnológicos, realizados por los investigadores?
2. ¿Cómo es transferida la tecnología, producida desde la universidad, en contextos locales?
3. ¿Qué similitudes y diferencias se encuentran en el desarrollo de los procesos de innovación en biotecnología agroalimentaria en Puebla y Bolonia?
4. ¿Cómo se han establecido los vínculos, alianzas y colaboraciones, en los grupos de investigación de biotecnología agroalimentaria en ambas localidades?
5. ¿Qué similitudes y diferencias existen entre Puebla y Bolonia para generar confianza en investigación colaborativa, y otras formas de colaboración universidad-empresa?
6. ¿Qué problemáticas perciben los investigadores para desarrollar la colaboración al interior de grupos de investigación, y en las diversas formas de colaboración universidad-empresa?
7. ¿Qué otros factores, además del capital social, son importantes en la generación de alianzas entre grupos de investigadores?
8. ¿Qué ha facilitado el establecimiento de estas formas de colaboración?
9. ¿Qué ha limitado el desempeño de las formas de colaboración?
10. ¿Existen más formas de colaboración entre la universidad y la empresa, desarrollados por los investigadores de Bolonia que por aquellos de Puebla? ¿Qué es lo que propicia esa mayor interacción?

## Grupos muestra y fuentes de información

Se han identificado 13 grupos de investigación en Puebla, y 10 grupos en Bolonia dedicados a la biotecnología aplicada a la agroalimentación. La identificación de estos grupos proviene del análisis de dos bases de datos construidas para este estudio, que ha partido de las fuentes que se describen en el cuadro siguiente.

Figura 7. Fuentes de información del estudio		
Localidad	Tipos de fuentes de información	
	Solicitudes de Patente y patentes otorgadas	Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación
Puebla	Registradas en el periodo: 1993-2013 Fuente: Instituto Mexicano de la Propiedad Intelectual	Periodo: 2000-2014 Fuente: Sistema de Información INFOMEX del Gobierno Federal: Proyectos financiados por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y otras agencias del gobierno federal y del gobierno del Estado de Puebla.
Bolonia	Registradas en el periodo: 1970-2013 Fuente: Patiris website (sitio construido en colaboración: UNIBO, University College London, Ministero dello Sviluppo Economico).	Periodo: 1996-2014 Fuente: Sitio web. European Comission/ Communtiy Research and Development Information Service (CORDIS). Proyectos financiados por la Comisión Europea.

### Fuentes de información en Puebla

#### Solicitudes de Patente y patentes otorgadas

La información sobre las solicitudes de patente provienen de tres fuentes principales: el sistema de información de la Gaceta de la Propiedad Industrial, del Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial (IMPI)<sup>7</sup>; para determinar las patentes que corresponden al estado de

<sup>7</sup> Sitio web consultado el 20 de Marzo de 2014. Haciendo una búsqueda simple, solicitudes de patente y patentes, resultados por frase exacta, ingresando las palabras clave: universidad autonoma de puebla. <http://siga.impi.gob.mx>

Puebla hemos considerado como principal indicador la dirección del inventor y del solicitante<sup>8</sup>. La segunda fuente corresponde al catálogo de patentes 2012 y 2013, del Centro Universitario de Vinculación y Transferencia Tecnológica (CUVyTT) de la BUAP<sup>9</sup>, y bases de datos proporcionadas por el mismo CUVyTT. Finalmente, hemos considerado las fichas de patentes universitarias recolectadas por la UNAM<sup>10</sup>, que a su vez provienen del IMPI.

Con el propósito de seleccionar las solicitudes de patente del área de biotecnología aplicada al sector agroalimentario, hemos considerado la siguiente clasificación de patentes (Emergent Patent Classification). La clasificación es resultado del análisis de tres tipos de clasificaciones: la International Patent Classification (IPC), la clasificación utilizada por Balconi, Breschi and Lissoni (2002), y la utilizada por el Centro Universitario de Vinculación y Transferencia Tecnológica-BUAP (2013). La International Patent Classification, que prevalece para el análisis de patentes, corresponde al acuerdo de Estrasburgo de 1971, firmado por 65 países (incluyendo a México e Italia)<sup>11</sup>. Se trata de una clasificación común para patentes de invención, certificados de inventor, modelos y certificados de utilidad. De esta forma, la clasificación que presentamos fue creada considerando en primer lugar las subclases de la IPC, de modo que fuese más clara la identificación y el tratamiento de los datos de los desarrollos tecnológicos que nos interesan.

Figura 8. Clasificación de Patentes

International Patent Classification	Emergent Patent Classification
A- Human necessities	1. Technologies for agriculture and food (Agri-food A) 2. Technologies for health and other human necessities 3. Hygiene
B- Performing operations; transporting	4. Automotive and aeronautics
C- Chemistry; metallurgy	5. Biotechnology (all biotechnology but agri-food) 6. Biotechnology (Agri-food B) 7. Other chemical compounds (pharmaceutics, polymers, organic chemistry, etc.)
D- Textiles; paper	8. Textiles and paper
E- Fixed constructions	9. Architecture and construction
F- Mechanical engineering; lighting;	10. Mechanical engineering, energy and the environment.

<sup>8</sup> Sitio web consultado el 31 de Marzo de 2014. Haciendo una búsqueda simple, solicitudes de patente, resultados por frase exacta, ingresando la palabra clave: puebla. <http://siga.impi.gob.mx>

<sup>9</sup> Sitio web consultado el 20 de Marzo de 2014 <http://www.cuvytt.buap.mx/>

<sup>10</sup> Sitio web consultado el 20 de Marzo de 2014 <http://www.dgei.unam.mx/?q=node/61>

<sup>11</sup> Ver <http://www.wipo.int/classifications/ipc/en/>

heating; weapons; Blasting	
G- Physics	11. Electronics and telecommunications 12. Electronics (Agri-food C)
H- Electricity	13. Electricity

Adicionalmente, hemos obtenido del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas, la información correspondiente a las solicitudes de protección de variedades vegetales. En virtud de la ley federal de variedades vegetales, aprobada en 1996, este organismo ha recibido 1802 solicitudes en el periodo de diciembre 1996 a octubre 2014. Sin embargo, la mayoría de los solicitantes o fito-mejoradores (quienes han desarrollado semillas mejoradas), corresponden a empresas e instituciones de educación superior del Estado de México, el Distrito Federal y Jalisco. Existe sólo una solicitud de un fito-mejorador del Estado de Puebla.

#### Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación

En el caso de los proyectos de investigación financiados por fondos públicos, se ha obtenido la información a través del Sistema INFOMEX del Gobierno Federal<sup>12</sup>. Se trata de un sistema de información que permite realizar solicitudes a las dependencias, de los gobiernos federales y estatales, sobre las actividades que desempeñan. En virtud de la aprobación de la ley federal de transparencia y acceso a la información pública gubernamental en el año 2002, ha sido posible para cualquier ciudadano acceder de forma más amplia a la información de las cuentas públicas. Se realizaron 20 solicitudes de información dirigidas a las siguientes dependencias:

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
- Secretaría de Economía
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
- Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
- Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla
- Comisión Nacional del Agua
- Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, antes Instituto Nacional De Ecología

<sup>12</sup> <https://www.infomex.org.mx/gobiernofederal/home.action>

En resumen, ha sido posible identificar 52 solicitudes de patente efectuadas en el periodo de 1993 a 2011 que corresponden al sector agroalimentario, y pertenecen a personas que radican en Puebla. Así como 76 proyectos financiados con recursos públicos, destinados a apoyar la innovación tecnológica en este sector en Puebla. En el cuadro siguiente se muestran los fondos de los que provienen estos proyectos.

Figura 9. Proyectos seleccionados caso Puebla	
Fondo	Número de proyectos
Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla	29
Fondo Sectorial de Innovación/FINNOVA (Secretaría de Economía-CONACYT)	10
Fondo de Innovación Tecnológica/FIT (Secretaría de Economía-CONACYT)	11
Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SAGARPA-CONACYT)	4
Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua (Comisión Nacional del Agua CONAGUA-CONACYT)	0
Fondo Sectorial de Investigación Ambiental (SEMARNAT-CONACYT)	2
Programa de Estímulos a la Innovación: INNOVAPYME, INNOVATEC, PROINNOVA (CONACYT).	9
Programa AVANCE (CONACYT).	1
Proyectos de Innovación Tecnológica 2014 (CUVyTT)	10
Total	76

Con esta información ha sido posible conformar una base de datos, agrupando la información por equipos de trabajo. Es posible identificar relaciones de colaboración observando el listado de nombres que aparecen en las solicitudes de patente. En muchos casos, quienes han solicitado patentes también aparecen como responsables de proyecto con financiamiento público, de tal forma que se pueden identificar 101 equipos de trabajo. Sin embargo, hemos enfocado nuestra atención en los equipos que laboran en el área de biotecnología aplicada a la agroalimentación. Así, hemos seleccionado a 15 personas para realizar entrevistas. Un criterio adicional para seleccionar a estas personas es que, con la información disponible on-line y de artículos científicos publicados, se puede saber la institución o empresa para la que laboran. En el caso contrario, las personas que no hemos seleccionado para hacer la entrevista, se debe a que dicha información es muy escasa o inexistente. A continuación se encuentra el listado de las personas que hemos seleccionado

para realizar entrevista. Al final, se han obtenido el 95 por ciento de las entrevistas propuestas. Adicionalmente, se entrevistó al director y personal de la oficina de transferencia tecnológica de la BUAP.

Figura 10. Solicitudes de entrevista en Puebla	
Nombre	Organización
Dr. Omar Romero Arenas	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Centro de Agroecología
Dr. Raúl Ávila Sosa Sánchez	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ciencias Químicas.
Dra. Verónica Santacruz Vázquez	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química.
Dra. Claudia Santacruz Vázquez	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química.
Dra. Eva Águila Almanza	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química.
Dr. Carlos Enrique Ochoa Velasco	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Facultad de Ingeniería Química.
Mtro. Moisés Graciano Carcaño Montiel	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas.
Dr. Jesús Muñoz Rojas	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas.
Dra. Lucía López Reyes	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas.
Dr. Eduardo Torres Ramírez	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Centro de Química.
Dr. José Víctor Rosendo Tamariz Flores	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Instituto de Ciencias, Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas.
Dr. Abel Gil Muñoz	Colegio de Postgraduados, Puebla.
Dr. Javier Armando Lara Arellano	NUTEK, S.A. de C.V.
Ing. Irlanda Verónica García Rosas	NUTEK, S.A. de C.V.
Dra. Beatriz Pérez Armendáriz	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla

Este universo de personas ejemplifican a los grupos de trabajo que se enfocan en biotecnología en Puebla. Corresponden a líderes de proyectos, y a quienes aparecen con mayor frecuencia en primer lugar en las solicitudes de patente. En algunos casos, también se trata de personas que, aunque aparecen en segundo o tercer lugar en solicitudes de patente,

son también responsables de proyectos de investigación. En cualquier caso, representan a los líderes de los grupos más importantes en Puebla, que trabajan en investigación y desarrollos tecnológicos en biotecnología.

## **Fuentes de información en Bolonia**

### Solicitudes de patente y patentes otorgadas

Para el caso de Bolonia hemos obtenido la información sobre solicitudes de patentes y patentes otorgadas del sitio web “Patiris<sup>13</sup>”. Esta plataforma de información tiene la encomienda de ser un observatorio permanente, de la actividad de patentes de las universidades italianas, y de los institutos de investigación públicos en Italia. La iniciativa ha sido creada por investigadores de la Universidad de Bolonia, el Colegio Universidad de Londres (University College London), en colaboración con el Ministerio de Desarrollo Económico, y con el apoyo de Epoca Ricerca (spin-off de la Universidad de Modena y Reggio Emilia dedicada a la gestión de la información y diseño gráfico). La información del sitio web a su vez tiene como fuente la plataforma Orbit<sup>14</sup>.

Cabe señalar que en general, existe más actividad de registro de patentes y proyectos de investigación, enfocados en la innovación tecnológica, en Bolonia que en Puebla. Y en el momento de obtener la información de las bases de datos de la principal universidad del Estado de Puebla (BUAP), la información disponible debía buscarse a través de varias fuentes: IMPI, CUVyTT-BUAP, y la plataforma creada por la DGEI-UNAM. En el caso de Bolonia, todo este trabajo se simplifica porque la plataforma del sitio web Patiris ofrece la información por solicitante. Con ello fácilmente se pueden encontrar las patentes reclamadas dentro de Italia, en las que han tenido participación los investigadores de la Universidad de Bolonia, principal universidad de Bolonia. En muy buena parte de ellos, los investigadores de esta universidad también aparecen como colaboradores, al lado de investigadores del Consejo Nacional de Investigación italiano (CNR) y otras universidades italianas.

Para identificar las patentes, correspondientes al área de biotecnología aplicada al sector agroalimentario, hemos utilizado la Internacional Patent Clasification y la clasificación emergente ya descrita en la Figura 8.

---

<sup>13</sup> Sitio web consultado el 24 de Enero de 2014. Haciendo una búsqueda simple: Ricerca/Applicant: Università degli Studi di BOLOGNA  
<http://patiris.uibm.gov.it/home>

<sup>14</sup> <https://www.orbit.com/>

En cuanto a las variedades vegetales, en Italia el registro de nuevas variedades es gestionado por el Sistema Informativo Agrícola Nacional, sin embargo, en el momento de realizar nuestro estudio y hasta concluirlo, la información no aparecía públicamente; ver sitio web: <http://www.sian.it/regivis/> (última consulta: 8 de julio de 2016). Asimismo, la información disponible del SIAN, no permite ver el origen de los solicitantes, por lo que no es posible identificar a aquellos que se ubican en Bolonia.

La responsabilidad de la autorización de variedades vegetales es del Ministerio de las Políticas de Agricultura, Alimentación y Forestales, el cual señala que en el registro nacional existen 6146 variedades vegetales registradas. Adicionalmente la información sobre las variedades vegetales se puede encontrar en el sitio de la asociación ASSOSEMENTI (Asociación de Empresas Agriculturas Productoras de Semillas y Distribuidoras<sup>15</sup>), y la base de datos de la Comisión Europea<sup>16</sup>. Sin embargo, se ha decidido no hacer la búsqueda de desarrolladores de semillas mejoradas en Bolonia por tres razones: la primera es que no existe posibilidad de realizar análisis comparativos con Puebla, ya que en esta localidad prácticamente no existen grupos de investigación dedicados a desarrollar semillas mejoradas. La segunda razón es que en Bolonia está bien identificado el grupo de investigación del profesor Roberto Tuberosa; académico de fitomejoramiento y genética de plantas del Departamento de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Bolonia, quien representaría el grupo principal dentro de la academia que realiza investigación de este tipo. Sin embargo, no fue posible realizar ninguna entrevista con él. Y por último, la tercera razón se refiere a que la comercialización de semillas mejoradas, y en general la agricultura transgénica, está bloqueada en ambos países, lo que está limitando la puesta en operación de las variedades ya elaboradas en México e Italia, las pruebas de campo y la plantación de cultivos. Por lo que hemos decidido concentrarnos en el análisis de los grupos que han registrado patentes y han elaborado proyectos de investigación, desarrollo e innovación.

### Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación

Aunque existe financiamiento del Consejo Nacional de Investigación (CNR), para proyectos de investigación básica y aplicada, es difícil acceder a tal información como ciudadano extranjero. Sin embargo, los proyectos apoyados por la Comisión Europea se han

---

<sup>15</sup> <http://www.sementi.it/> consultada el 20 de enero de 2014.

<sup>16</sup> [http://ec.europa.eu/food/plant/plant\\_propagation\\_material/plant\\_variety\\_catalogues\\_databases/search/public/index.cfm](http://ec.europa.eu/food/plant/plant_propagation_material/plant_variety_catalogues_databases/search/public/index.cfm) consultada el 20 de enero de 2014.



convertido en un referente de prestigio dentro de la comunidad académica italiana, y de toda Europa. Es decir, la participación en tales proyectos representa en muchas ocasiones un monto mayor al que puede conseguirse por medio del CNR, además de que otorga la posibilidad de integrar grupos de investigación internacionales; de ahí que, quien obtiene financiamiento a través de las convocatorias de la Comunidad Europea, tiene incluso mayor reconocimiento entre colegas investigadores. En tal sentido, se ha obtenido la información de los proyectos financiados por este organismo, en donde han tenido participación instituciones y organismos localizados en Bolonia, y que han laborado en proyectos relacionados con la biotecnología. La información se puede consultar en el sitio web del Servicio de Información Comunitario de Investigación y Desarrollo (CORDIS)<sup>17</sup>.

De esta fuente de información se han podido identificar 26 proyectos de investigación, relacionados con la biotecnología aplicada a la agroalimentación. Los proyectos que hemos seleccionado tienen como responsable o coordinador de proyecto a centros de investigación de diversos países de la unión europea, y también de Italia. Sin embargo, en todos los proyectos aparecen como participantes la Universidad de Bolonia y otros centros de investigación localizados en Bolonia. La UNIBO aparece como institución responsable, o coordinadora, sólo en 5 de los 63 proyectos de biotecnología.

Figura 11. Proyectos de biotecnología financiados por la Comunidad Europea con participación de instituciones de Bolonia. Periodo 1996-2014

	Agroalimentación	Salud	Energía	Otros	Total
Universidad de Bolonia	16	19	5	7	47
Consiglio Nazionale delle Ricerche (Localizado en Bolonia)	1	2	0	0	3
Istituto per la Certificazione Etica e Ambientale	1	0	0	0	1
Istituto Nazionale di Apicoltura	2	0	0	0	2
Istituti Ortopedici Rizzoli	0	4	0	0	4
Istituto Sperimentale per le Colture Industriali	2	0	0	0	2
Istituti "Scienze e Tecnologie Agroindustriali ed Agroambientali"	1	0	0	0	1
Osservatorio per la Malattie delle Piante	1	0	0	0	1
Regione Emilia Romagna	1	0	0	0	1
FRAER-CONFAGRICOLTURA	1	0	0	0	1
	26	25	5	7	63

<sup>17</sup> [http://cordis.europa.eu/home\\_en.html](http://cordis.europa.eu/home_en.html) consultada el 25 de enero de 2014.

Es importante recalcar que en el caso de Puebla, la búsqueda de información sobre proyectos financiados públicamente es más complicada. Actualmente se puede solicitar a través del sistema de información INFOMEX, sin embargo, la diversificación de fondos implica hacer solicitudes a varias dependencias para identificar los proyectos que han sido financiados en el área de biotecnología, y que provienen de equipos de investigación localizados en Puebla. En el caso del financiamiento otorgado por la Comunidad Europea la información está disponible on-line, y se puede obtener con mayor rapidez, identificando el área y la localización de los grupos de investigación.

Con la base de información sobre patentes y proyectos de investigación, se han identificado 10 grupos dedicados a labores investigativas en biotecnología aplicada a la agroalimentación. Cabe señalarse que, la mayor parte de ellos, laboran para el Departamento de Ciencias Agrícolas y de Tecnología Agroalimentaria de la UNIBO (antes Facoltà di Agraria); aunque no se dedican exclusivamente a la biotecnología, en algún momento han realizado proyectos de investigación en esta área. Es decir, sus áreas de especialización van desde la química de suelos, química orgánica en general, o la agricultura orgánica. Así, se han seleccionado a 21 investigadores para realizar entrevistas. En principio se ha considerado realizar la mayor cantidad de entrevistas posibles, sin embargo, algunos investigadores ya han dejado de laborar para la institución a la que hacía referencia la patente, o proyecto de investigación, no existe información disponible en línea sobre su ubicación, o es muy escasa, es por ello que a quienes se seleccionaron son aquellos de los cuales más información y disponibilidad se obtuvo. De tal forma que se ha tenido respuesta positiva en el 95 por ciento de las solicitudes de entrevista del listado que se muestra a continuación; adicionalmente se entrevistó al personal de la oficina de transferencia tecnológica de la UNIBO.

Figura 12. Solicitudes de Entrevista en Bolonia

Nombre	Organización
Mariastella Scandola	Dipartimento di Chimica “Giacomo Ciamician”-UNIBO
Leonardo Setti	Dipartimento di Chimica Industriale “Toso Montanari”-UNIBO
Luca Corelli	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Luigi Manfrini	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Lucietta Betti	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Claudio Marzadori	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Luciano Cavani	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Ornella Francioso	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Cesare Accinelli	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO

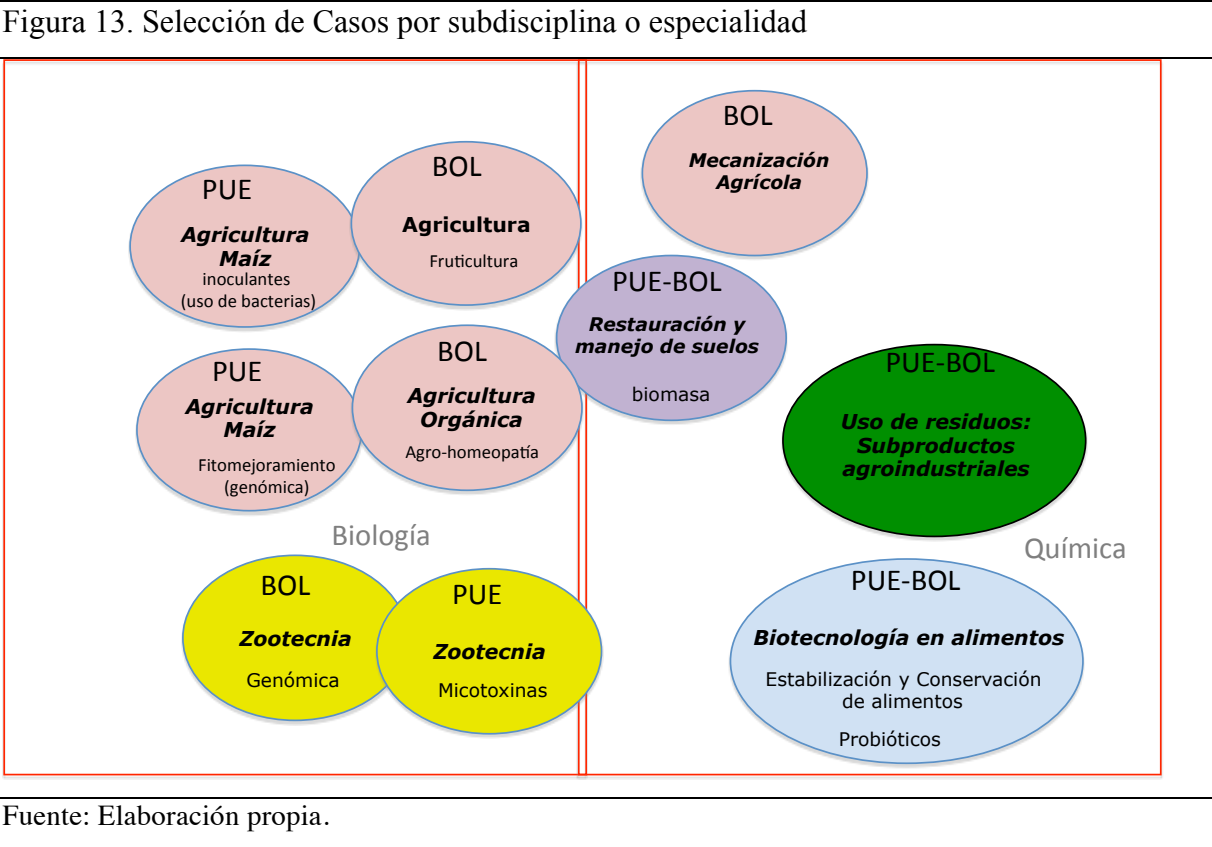
Bruno Biavati	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Guido Baldoni	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Andrea Monti	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Tuberosa Roberto	Dipartimento di Scienze Agrarie, UNIBO
Fabio Pezzi	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
María Teresa Rodríguez Estrada	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
Fabio Chinnici	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
Luca Fontanesi	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
Vincenzo Russo	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
Roberta Davoli	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
Daniele Bigi	Dipartimento di Scienze e Tecnologie Agroalimentari-UNIBO
Dario Zanichelli	Phenbiox SRL

Las personas con las que hemos realizado la entrevista representan, en su mayoría, responsables de solicitudes de patente y proyectos de investigación, desarrollo e innovación. En algunos casos, figuran como colaboradores. En el capítulo cuatro se ofrece una descripción más amplia de cada grupo de trabajo. De cualquier forma, estos investigadores representan actualmente a los principales grupos de trabajo dedicados a la biotecnología agroalimentaria en Bolonia.

#### Limitaciones de la muestra.

Un asunto que debe señalarse enfáticamente es la dificultad para documentar el flujo de conocimiento entre la universidad y la industria. Como primera complicación se encuentra el hecho de que este tipo de actividades aún se encuentran en una fase de institucionalización, en universidades como la BUAP y la UNIBO (de donde pertenecen la mayor parte de los grupos de investigación). Es decir, se trata de actividades que aún no se incorporan totalmente dentro de las funciones que realizan los investigadores como parte de su “misión”. Asimismo, existen muchos elementos legales y administrativos que recientemente se han modificando, en ambas instituciones, y dan paso a una mayor libertad y apertura para realizar este tipo de actividades, siendo recientes dichas modificaciones en ambos casos. En lo general, la colaboración universidad-industria no se declara. Aquellas actividades que se dan a conocer, sean provenientes de documentos institucionales e incluso en las entrevistas, son las que han sido gestionadas por los canales institucionales. Pero en general, los investigadores prefieren gestionarlas de manera individual.

Posterior a las entrevistas, se ha hecho una transcripción y análisis cualitativo de las mismas utilizando el software Atlas.ti. En los capítulos tres y cuatro se describe la conformación detallada de los grupos de investigación, sus especialidades y el desarrollo de sus investigaciones. Se han seleccionado los casos en los que se obtuvo mayor información durante la entrevista, así como mayor información del contexto de las investigaciones en las que cada equipo labora. Como puede verse en la figura siguiente, en diversos sub-campos de aplicación de la biotecnología agroalimentaria existen grupos laborando, tanto en Puebla como en Bolonia; igualmente existen campos que se desarrollan exclusivamente en una localidad. De esta forma, los 13 grupos de investigación en Puebla y 10 grupos en Bolonia se agrupan en las siguientes especialidades, subdisciplinas o campos de aplicación.



## **Capítulo II. Marco contextual, emergencia de la biotecnología y su desarrollo en México e Italia**

### **Políticas e inversión en investigación, desarrollo e innovación.**

Nuestro estudio ha iniciado considerando los cambios en las políticas públicas dedicadas a la ciencia, la tecnología y la innovación. En México, Europa y otras partes del mundo, la innovación tecnológica ha estado presente en el discurso del crecimiento económico desde los años de 1960. Como ya se ha mencionado, el propio Godin (2009), ha argumentado que la innovación tecnológica corresponde al modelo promovido por la OCDE y ha influenciado a su vez a la literatura que aborda el tema. Mientras tanto, fuera del discurso, la inversión en actividades de investigación y desarrollo ha seguido la misma ruta “individual” prácticamente en todos los países pertenecientes a la OCDE, con algunas variantes en los últimos veinte años.

En el panorama internacional (figura 14), la inversión en actividades de investigación y desarrollo ha seguido cuatro rutas identificables en los últimas dos décadas. En primer lugar, tomando en consideración el promedio de la inversión de los países pertenecientes a la OECD, es posible catalogar un primer conjunto de países (siempre en alto) que han alcanzado y mantenido una inversión superior al 2.00 por ciento, como porcentaje del Producto Interno Bruto. Entre ellos se encuentran todos los países que, posterior a la segunda guerra mundial, también son los más activos en “producción científica”, es decir, realizando investigación científica y publicado sus resultados. Nos referimos a Australia, Austria, Bélgica, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Japón, Luxemburgo, Países Bajos, Noruega, Suecia, Suiza, Reino Unido y Estados Unidos. Un segundo conjunto de países (siempre en medio) han realizado inversiones que van del 1.00 al 2.00 por ciento. Aquí se encuentran países como Canadá, la Republica Checa, Hungría, Irlanda, Italia, Nueva Zelanda y España. El tercer conjunto de países (siempre abajo) lo conforman quienes han invertido menos del 1.0 por ciento. Aquí se encuentran países como Chile, Grecia, México, Polonia, la República Eslovaca, y Turquía.

Figura 14. Gasto nacional en Investigación y Desarrollo como porcentaje del Producto Interno Bruto

GERD as a percentage of GDP

	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Australia	1.58	..	1.65	..	1.50	..	1.47	..	2.01	..	2.26	..	2.20	..	..	2.11	..
Austria	1.54	1.56	1.60	1.69	1.79	1.83	1.93	2.46	2.44	2.51	2.67	2.71	2.79	2.75	2.89	2.96	2.99
Belgium	1.71	1.72	1.81	1.87	1.90	1.98	1.97	1.86	1.86	1.89	1.97	2.03	2.00	2.04	2.36	2.43	2.46
Canada	1.77	1.74	1.70	1.72	1.82	1.83	1.91	2.04	2.00	1.96	1.92	1.94	1.85	1.74	1.79	1.69	1.61
Chile							..	..	..	0.31	0.37	0.41	0.42	..	0.36	0.39	0.38
Czech Republic	1.10	1.01	1.04	1.16	1.24	1.25	1.17	1.35	1.49	1.48	1.41	1.47	1.55	1.84	1.79	1.91	2.00
Denmark	..	1.84	1.85	1.94	2.04	2.06	..	2.46	2.48	2.58	2.85	3.16	3.07	3.09	3.00	3.06	3.05
Estonia							0.60	0.93	1.13	1.08	1.28	1.43	1.63	2.38	2.11	1.71	1.43
Finland	2.29	2.29	2.54	2.72	2.89	3.22	3.35	3.48	3.48	3.47	3.70	3.94	3.90	3.78	3.42	3.30	3.17
France	2.34	2.31	2.30	2.22	2.17	2.19	2.15	2.11	2.11	2.08	2.12	2.27	2.24	2.25	2.23	2.24	2.26
Germany	2.26	2.26	2.26	2.29	2.31	2.44	2.47	2.51	2.54	2.53	2.69	2.82	2.80	2.84	2.87	2.83	2.84
Greece	..	0.49	..	0.51	..	0.68	..	0.60	0.59	0.60	..	..	..	..	0.70	0.81	0.83
Hungary	0.88	0.73	0.65	0.72	0.68	0.69	0.81	0.94	1.01	0.98	1.00	1.17	1.17	1.21	1.27	1.40	1.37
Iceland	1.38	1.54	..	1.84	2.04	2.32	2.67	2.77	2.99	2.68	2.65	..	..	..	..	1.87	1.89
Ireland	1.31	1.34	1.39	1.39	..	..	1.11	1.24	1.25	1.29	1.46	1.76	1.71	1.72	1.56	1.54	1.52
Israel							4.29	4.42	4.51	4.86	4.77	4.49	4.34	4.38	4.13	4.09	4.11
Italy	1.05	1.00	1.01	0.99	0.98	1.03	1.04	1.09	1.13	1.17	1.21	1.26	1.26	1.25	1.27	1.31	1.29
Japan	2.76	2.89	2.77	2.83	2.94	2.93	3.00	3.32	3.41	3.46	3.47	3.36	3.26	..	3.34	3.47	3.58
Korea	2.44	2.50	2.60	2.69	2.55	2.47	2.30	2.79	3.01	3.21	3.36	3.56	3.74	..	4.03	4.15	4.29
Luxembourg							1.65	1.56	1.66	1.58	1.66	1.72	1.48	1.43	1.29	1.30	1.26
Mexico	0.29	0.31	0.31	0.34	0.46	0.40	0.34	0.41	0.38	0.37	0.41	0.44	0.45	0.43	0.43	0.50	0.54
Netherlands	1.95	1.99	2.01	2.04	1.95	2.05	1.94	1.90	1.88	1.81	1.77	1.82	1.85	2.04	1.94	1.96	1.97
New Zealand	..	0.97	..	1.13	..	..	..	1.14	..	1.19	..	1.30	..	..	..	1.17	..
Norway	..	1.71	..	1.66	..	1.70	..	1.51	1.48	1.59	1.58	1.76	1.68	1.64	1.62	1.65	1.71
Poland	0.76	0.69	0.71	0.71	0.72	0.75	0.64	0.57	0.56	0.57	0.60	0.67	0.74	0.77	0.88	0.87	0.94
Portugal	..	0.57	..	0.62	..	0.76	0.73	0.78	0.99	1.17	1.50	1.64	1.59	1.49	1.38	1.33	1.29
Slovak Republic	0.96	0.98	0.97	1.13	0.82	0.68	0.65	0.51	0.49	0.46	0.47	0.48	0.63	0.68	0.81	0.83	0.89
Slovenia							1.38	1.44	1.56	1.45	1.66	1.85	2.09	2.47	2.58	2.60	2.39
Spain	0.81	0.81	0.83	0.82	0.90	0.89	0.91	1.12	1.20	1.27	1.35	1.39	1.39	1.33	1.28	1.26	1.22
Sweden	..	3.46	..	3.67	..	3.80	..	3.56	3.68	3.40	3.70	3.60	3.39	3.37	3.28	3.31	3.16
Switzerland	..	..	2.73	..	..	..	2.47	..	..	..	2.87	..	..	..	2.97	..	..
Turkey	0.36	0.38	0.45	0.49	0.50	0.63	0.48	0.59	0.58	0.72	0.73	0.85	0.84	..	0.92	0.94	1.01
United Kingdom	2.07	1.98	1.91	1.84	1.83	1.87	1.82	1.73	1.74	1.77	1.78	1.84	1.80	1.77	1.62	1.66	1.70
United States	2.42	2.51	2.55	2.58	2.60	2.65	2.71	2.59	2.65	2.72	2.86	2.91	2.83	2.77	2.70	2.74	..
European Union	1.83	1.81	1.81	1.80	1.80	1.86	1.74	1.74	1.76	1.77	1.84	1.92	1.91	1.94	1.92	1.93	1.94
Total OECD	2.09	2.11	2.14	2.16	2.18	2.21	2.20	2.22	2.26	2.29	2.36	2.41	2.38	..	2.34	2.37	2.37

Source: OECD (2001) Main Science and Technology Indicators.

Source: OECD (2012) Main Science and Technology Indicators.

Source: OECD (2015) Main Science and Technology Indicators.

Existen, sin embargo, países donde la inversión ha sufrido cambios significativos en las últimas dos décadas (se ha incrementado en más de 1.0 por ciento). Aquí se encuentran los casos de países como Austria, Dinamarca, Estonia, Finlandia, Islandia, Corea, Eslovenia y Portugal. Con excepción de Portugal, Islandia, Estonia y Eslovenia, en realidad todos estos países ya estaban invirtiendo más del 2.00 por ciento del PIB desde los años de 1990. Es

decir, aún con las variantes cabrían en la categoría de países “siempre en alto”. Por tanto, la reciente y más significativa variante se puede apreciar en los casos de Estonia (pasando de 0.60 a 1.62 en la última década), Islandia (comenzando con 1.38 en 1994, alcanzando un máximo de 2.99 en 2006 y disminuyendo a 1.89 en 2014), Portugal, quien, aún con altibajos, alcanzó el 1.38 habiendo iniciado el periodo con 0.57; así como Eslovenia, país que inició en el 2000 con 1.38 y ha alcanzado el 2.39 en 2014.

En el caso de Japón, aunque el cambio no llega a ser del 1.0 por ciento, está bastante cerca; en el periodo que revisamos inició con una inversión del 2.76 en 1994, y ha alcanzado el 3.58 en 2014. El caso de Corea también es especial, el incremento de su inversión ha sido el más drástico en las dos últimas décadas; con un incremento de casi 2.0 por ciento (2.44 en 1994, hasta alcanzar 4.29 a finales del periodo). Otros cambios importantes son los de Austria y Dinamarca, el incremento es superior al 1.0, y están alcanzando el 3.0 en el último año.

Por otro lado, llama la atención el caso de Israel; la información de la OECD no permite ver cómo inició su inversión, sobre investigación y desarrollo durante los años 1990s, sin embargo, es uno de los países que ha mantenido la inversión constante en la última década por arriba del 4.0 por ciento (en su mayor parte proveniente de la industria). De hecho, es la inversión más fuerte entre los países de la OECD, ningún país ha hecho una inversión similar en el pasado. La más cercana es la que ha realizado Suecia, aunque en promedio ha invertido 3.5 por ciento. La otra economía que ha alcanzado el 4.0 por ciento de inversión es Corea, y la ha mantenido así en los últimos 3 años.

En relación con países no pertenecientes a la OEDC, es importante mencionar el caso de China y Singapore como economías emergentes significativas. Singapore ha mantenido la inversión en investigación y desarrollo por arriba del 2.0 en toda la última década. Mientras que China la incrementó de 0.9 a 2.5 durante los mismos años (OECD, 2015).

Por otro lado, en el panorama europeo es bien sabido el caso de Finlandia que, en las recientes comparaciones sobre competitividad económica, se hace referencia como un país en donde se conformó intencionalmente un sistema de innovación tecnológica sólido. El caso de Finlandia es un ejemplo de los países nórdicos, en los cuales el incremento de la inversión en R&D ha tenido como antecedente transformaciones en el enfoque de las políticas en ciencia y tecnología, formuladas en la mitad de los años de 1960s y 1970s (Oinas, 2005); hecho que también se ve reflejado en las inversiones realizadas por estos países, en investigación y desarrollo, en las últimas dos décadas como hemos visto. Las políticas tenían el objetivo de incrementar las actividades de investigación y desarrollo dado que, especialmente estas actividades en el sector privado, se apreciaban en un nivel bajo en las comparaciones

internacionales. Durante los años de 1970, la línea política puso énfasis en la investigación tecnológica, las instituciones educativas tecnológicas, los institutos de investigación y las empresas, en lugar de una política de ciencia basada sólo en la universidad (la academia). A pesar de ello, no fue sino hasta los años de 1980 cuando, con el crecimiento acelerado de las tecnologías de información y comunicación, se hizo evidente el papel de la tecnología en la prosperidad nacional. De acuerdo a Oinas (2005), durante los años de 1990, Finlandia fue el primer país en adoptar explícitamente en sus políticas tecnológicas el concepto de Sistema Nacional de Innovación (S.N.I.), promovido por la OCDE, sin que existieran cambios significativos en las formas de financiamiento a las actividades de ciencia y tecnología. Las reformas principales sucedidas en los 90s ocurrieron, sin embargo, a nivel regional. Se establecieron 16 centros dedicados a “canalizar” los fondos de la Unión Europea y “coordinar” la creación de conocimiento y su difusión en las regiones. Asimismo, cinco ministerios crearon programas conjuntos (cluster programmes), nuevos centros de distribución de tecnología fueron creados, y se estructuraron formas de *venture capital* para fortalecer la transferencia de tecnología y el empleo de conocimiento aplicado en las nuevas empresas; al mismo tiempo que se fortaleció también la política de ciencia a través de la Academia de Finlandia. Oinas (2005), enfatiza que la inversión en R&D en Finlandia creció durante los 90s mucho más rápido que en cualquier otro país de la OCDE, alcanzando el 3.0 por ciento del PIB; tal incremento, que corresponde a inversiones tanto en el sector público como en el privado, ubicó a Finlandia dentro del primer grupo de países realmente competitivos de la economía internacional. Asimismo, de acuerdo a Oinas (2005), el cambio cualitativo más importante en el funcionamiento del sistema de innovación de Finlandia se refiere a la internacionalización de R&D, a través de networking (redes de colaboración), el fortalecimiento de las políticas regionales de innovación, la comercialización eficiente de resultados de investigación y la formación intensiva de redes de colaboración a nivel nacional. Finalmente, Oinas, enfatiza el papel de los instrumentos de política de la Unión Europea y las agencias que han facilitado la comunicación y colaboración entre las empresas, universidades e institutos de investigación, tales como Tekes (<http://www.tekes.fi>), los programas de la Academia de Finlandia, los centros de conocimiento y clusters. Incluso Tekes abrió oficinas para incluir partners extranjeros en Beijing, Shanghai, Bruselas, Tokyo, San José y Washington.

Pero ¿por qué, además de todo lo anterior, es posible ver tales transformaciones en un país como Finlandia? Oinas (2005), argumenta que las tradiciones socio-culturales de Finlandia tienen efecto en su economía, y en parte explican la ideología de la nación



relacionada con su capacidad para transformarse a sí misma; además de que sus dimensiones territoriales, y de población, han permitido “naturalmente” la creación de estrechas redes sociales y vínculos entre sectores (cross-sectoral linkages). Es decir se argumenta que, de por sí, en la sociedad finlandesa es posible identificar factores que muestran su cohesión, como lo es el sistema de escuela pública, el entrenamiento militar, las asociaciones estudiantiles e incluso los medios de comunicación (principalmente la televisión nacional).

Este tipo de discurso hace pensar que el crecimiento económico depende exclusivamente de las políticas implementadas a nivel nacional, donde la creación de agencias y programas de financiamiento promueven la acción conjunta de investigadores en la academia, y empresarios para llevar a cabo actividades de investigación y desarrollo, haciendo referencia al networking como un fenómeno reciente. La importancia del networking no tiene dudas y evidentemente no es un fenómeno nuevo. La mayor parte de los autores a los que hemos hecho alusión en el capítulo anterior, implícita y explícitamente, hacen referencia a las redes de colaboración como la “base” de la alianza tecnológica, y la investigación colaborativa (Casper S., Casas R., Luna-López & Solleiro Rebolledo, Chesbrough H. W). Del mismo modo, es al interior de las redes que se forman a nivel regional y gracias al capital social que las mantiene unidas, donde sucede la comunicación entre los equipos de trabajo. La comunicación entre los grupos que están físicamente cercanos es lo que facilita la transmisión del conocimiento tecnológico; no sólo se trata de la aglomeración de capital humano y de conocimiento lo que produce colaboración, y por ende crecimiento económico (Granovetter M., Saxenian A., Helliwell J. & Putnam R., Landry R., Inkpen A. & Tsang E.). En el caso de Finlandia, el intensivo networking generado cuando se conformó el cluster de las Tecnologías de Información y Comunicación (liderado por Nokia) fue uno de los aspectos que más contribuyeron para que Finlandia pasara del path dependency al path creation. De hecho hay quien la denomina por ello “network economy” (Schienstock, 2007). Sin embargo, el hecho de que Finlandia saliera de su trayectoria tradicional, en mucho basada en la explotación de recursos naturales (bosques), no se puede explicar por un solo factor. Schienstock (2007) señala al menos cinco factores importantes:

1. La ventana de oportunidades abierta por un nuevo paradigma de conocimiento.
2. Un mercado que ofrece ganancias a largo plazo.
3. Presiones económicas para adaptar nuevos paradigmas.
4. Eventos de cambio que incitan y apoyan el proceso de transformación.
5. Cursos de acción que guían el desarrollo tecno-económico en una nueva dirección, e introducen cambios tecno-organizacionales e institucionales.

En el caso de Finlandia, la emergencia del paradigma digital en las tecnologías de información y comunicación representó un cambio fundamental que abrió nuevas oportunidades y, en buena parte, es el punto que liga los factores anteriormente mencionados. Schienstock, sin embargo, hace énfasis en el aspecto humano de la transformación de Finlandia. La creación de una nueva trayectoria, en lugar de depender de la anterior es vista como una desviación consciente y acertada, hecha por personas que entienden las oportunidades que ofrece un nuevo paradigma; mientras que el proceso de transformación depende en gran medida del compromiso de pioneros sociales como los investigadores, políticas y emprendedores, los cuáles inician y conducen cambios institucionales anticipados (2007).

Hemos visto que en otros países también están sucediendo variantes en la inversión de investigación y desarrollo, lo que indica que valdría la pena estudiar si se ven reflejados en la adaptación de nuevo conocimiento en transformaciones de la economía. Sin embargo, cuando se conoce la transformación de un país como Finlandia, uno cae en la tentación de tomarla como ejemplo y decir: ¿Por qué esto no sucede en mi país?, ¿qué hay entonces en los países donde las variantes en la inversión de R&D son prácticamente nulas? Como es el caso de Italia y México. En los países donde parecieran existir síntomas de path dependency ¿es **nula** también la adaptación de nuevo conocimiento a aplicaciones industriales, y por ende al crecimiento económico? Aunque el discurso de la innovación tecnológica promovida por la OCDE desde los 1960s mantiene el mismo ideal, su instrumentación ha sucedido de forma diferente alrededor del mundo. En los casos de Italia y México, el contexto de políticas dirigidas a investigación, desarrollo e innovación han encontrado su instrumentación más importante en los últimos dos décadas. En tales países se ha intensificado, en los últimos años, el enfoque que promueve a la innovación tecnológica como el principal instrumento de crecimiento económico. En Europa se ha dado con la intención de romper con la llamada European Paradox, que se refiere a la incapacidad de producir tecnología emanada de los resultados de investigación que suceden en la academia; siendo Europa en general un indiscutible centro de ciencia y tecnología. En México, aunque existían señalamientos desde los años noventas (en los tiempos del Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá), relacionados con el incremento de la competitividad de la economía mediante la innovación por sustitución de importaciones, es hasta los años 2000 cuando comienza un verdadero cambio en el financiamiento a la ciencia y tecnología, enfocada a la innovación tecnológica. Es claro que al firmarse el tratado de libre comercio con USA y Canadá el país que se encontraba con mayor desventaja era México, pues la competitividad de sus empresas

sería nula ya que la tecnología emanada de éstas no ha sido tradicionalmente su sello distintivo. Así, el aumento de la participación de las universidades y centros públicos de investigación en la innovación tecnológica, se entendió a través de las políticas del CONACYT y demás organismos federales sólo hasta la última década. Mientras en el caso de Italia, el incremento de su participación en el financiamiento exclusivo a la innovación tecnológica (financiamiento de la Comisión Europea) sucedió en las últimas dos décadas.

## **La biotecnología**

La biotecnología representa un campo que ofrece una cantidad muy grande de oportunidades en el terreno de la innovación tecnológica. Su nacimiento y expansión han dado lugar a álgidos debates éticos, políticos y económicos. Alrededor del mundo, el desarrollo de tal disciplina ha dependido de las capacidades de adaptación de los descubrimientos científicos y técnicas que circulan en las publicaciones científicas y las patentes, así como el financiamiento a tales líneas de investigación. Es una disciplina estrechamente ligada a la aplicación industrial, y significa el cambio de paradigma tecnológico que está impactando –y se vislumbra cambiará de forma irrevocable- los sectores agroalimentario, la medicina, la farmacia e incluso las fuentes de energía y el equilibrio de los ecosistemas.

La biotecnología se ha definido de muchas formas. Las definiciones más populares en nuestros días hacen referencia a la secuenciación genética o ingeniería genética. Pero en general, la mayoría de las definiciones la ubican como la disciplina que utiliza todo tipo de organismos vivos para elaborar productos comerciales. En estudios sobre innovación tecnológica, como el de Luigi Orsenigo (1989), se concibe como el conjunto de conocimiento y técnicas que involucran a la bioquímica, microbiología y genética, así como las ingenierías que tienen el propósito de lograr aplicaciones tecnológicas derivadas de las capacidades de microorganismos y tejidos celulares<sup>18</sup>.

La Convención sobre la diversidad biológica, de las Naciones Unidas, la define como cualquier aplicación tecnológica que use sistemas biológicos, organismos vivos o derivados, para elaborar o modificar productos o procesos para usos específicos (UN Convention on Biological Diversity, Art. 2)<sup>19</sup>. Se considera ampliamente que el término fue acuñado por el

---

<sup>18</sup> Gran parte del contenido que se describe en este capítulo, y los argumentos que se han elaborado para interpretar los casos que hemos estudiado, se basan en las investigaciones que abrieron el camino para entender el surgimiento de la biotecnología a nivel internacional realizado Luigi Orsenigo; así como la contribución de Rosalba Casas (1993) en específico para el caso mexicano.

<sup>19</sup> <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-02> sitio web consultado 27 de abril de 2016.

ingeniero agrícola húngaro Károly Ereky en 1919. Sin embargo, utilizando todas estas definiciones, se puede asegurar que la humanidad ha usado biotecnología en la agricultura, la producción de alimentos y la medicina desde miles de años atrás. A pesar de ello, es a finales del siglo XX y principios del XXI cuando la biotecnología se ha expandido como la concebimos actualmente, incluyendo nuevas y diversas ciencias como la genómica, las técnicas de recombinación genética, la inmunología aplicada, el desarrollo de terapias farmacológicas y nuevos test de diagnóstico.

La evolución de la biotecnología se puede entender en dos grandes etapas. La primera tiene que ver con la fermentación. Las técnicas usadas tradicionalmente son más bien empíricas, y carecen de fundamentos científico-tecnológicos. No es sino hasta los descubrimientos de Louis Pasteur sobre el involucramiento de microorganismos en la fermentación, hacia la segunda mitad del siglo XIX, cuando se desarrollan las bases científicas para elaborar procesos de fermentación a escala industrial. Posteriormente, el desarrollo de la microbiología dio lugar al descubrimiento de las vacunas en 1888, y más tarde a la obtención de la acetona-butanol, por medio de procesos de fermentación durante y después de la primera guerra mundial. Estos descubrimientos y avances tecnológicos marcaron el inicio del empleo de procesos de fermentación en otras industrias, además de la alimentaria. El uso de bio-procesos para la producción de ácidos cítricos provocó creciente interés en los aspectos de ingeniería química de la microbiología industrial, especialmente en el cultivo de células y la esterilización. Sin embargo, con el arribo de la industria petroquímica y sus bajos costos, los bio-procesos se vieron sobrepasados durante la segunda guerra mundial. Aún así, la introducción, desarrollo y difusión del proceso de fermentación para la producción de penicilina, y para la producción masiva de antibióticos en la década de 1940, previno la desaparición virtual de la biotecnología en la escena industrial, dando lugar a la rápida expansión de la investigación en la industria química, farmacéutica y alimentaria. Casi al mismo tiempo, la producción microbiana de vitaminas y enzimas había comenzado, aunque a baja escala. Ello, junto a otros avances significativos en bioquímica dio origen en la década de 1950 a la producción de aminoácidos (Orsenigo, 1989).

Figura 15. Principales productos industriales obtenidos a través de la fermentación.			
Solventes orgánicos	Enzimas	Ácidos Orgánicos	Vitaminas
Etanol	Amilasa	Ácido Láctico	Vit. B12
n-Butanol	Bromelina	Ácido Cítrico	Vit. B2 (Riboflavina)
Acetona	Celulasa	Ácido Glucónico	β-Caroteno
Glicerina	Dextranosa	Ácido Itacónico	L-Sorbosa
Isopropanol	Glucosa oxidasa	Ácido propiónico	
2,3 – Butanodiol	Invertasa		
	Lactasa		
	Lipasa		
	Papaína		
	Pectinasa		
	Penicilinas		
	Pepsina		
	Proteasa		
	Streptodornasa		
Polisacáridos	Aminoácidos	Antibióticos	
Dextrano	Glutamato	Penicilina	
Xantano	Lisina	Tetraciclina	
Escleroglucano	Metionina	Cefalosporinas	
		Eritromicina	
		Kanamicina	
		Rifamicina	

Fuente: Orsenigo (1989). Fuente original: David Perlman (1973), Federchimica (1986).

La segunda gran etapa de evolución de la biotecnología involucra en gran medida al desarrollo a la genómica. Son los eventos sucedidos principalmente en Estados Unidos, Japón, Alemania, Reino Unido y Francia, los que condujeron al surgimiento de la biotecnología contemporánea. Entre ellos se incluyen descubrimientos sobre la estructura del ADN, enzimas que lo cortan y lo unen, proteínas y formas de vida producidas en laboratorio, el surgimiento y expansión de empresas de biotecnología y la comercialización de productos basados en ADN recombinante, normas de comportamiento en investigación en biotecnología, el primer otorgamiento de una patente sobre micro-organismos (una forma de vida), la oferta pública de acciones de empresas de biotecnología, y la apertura pública de una biblioteca de datos de secuencias de nucleótidos.

Figura 16. Principales eventos en la historia de la biotecnología contemporánea (1953-1983).

1953	Watson y Crick descubren la estructura de doble hélice del ADN.
1957	Issac y Lindom (Instituto Nacional para la Investigación Médica) descubren el grupo de proteínas Interferón.
1959	Primer número del <i>Journal Biochemical and Microbiological Technology and Engineering</i> .
1960	Aislamiento de m-RNA (ARN mensajero).
1963	Nirenberg y Khorana descifran el código genético. En la década de 1960 se desarrollan y comercializan sintetizadores mecánicos de genes.
1965	Clasificación de los plásmidos.
1967	Descubrimiento de la enzima ligasa.
1969	Desarrollo de las técnicas de inmovilización.
1970	Aislamiento de la transcriptasa inversa.
1971	Fundación de Cetus. Descubrimiento de las enzimas de restricción.
1972	Jackson y Berg prueban en laboratorio el primer producto de r-DNA (ADN recombinante), el virus SV40. Desarrollo del biosensor. General Electric aplica para obtener una patente de una forma de vida producida en laboratorio por parte de un investigador, Ananda Chakrabarty <sup>20</sup> . Fundación de <i>Bioresponse</i> .
1973	Cohen y Boyer desarrollan la técnica de r-DNA (su invención hace posible la recombinación y clonación de ADN (Rimmer, 2008)). En Japón, la Agencia de Ciencia y Tecnología funda las Oficina para la promoción de las Ciencias de la Vida.
1974	Stanford y UCLA aplican para obtener la patente de Cohen y Boyer. Informe de la sociedad DECHEMA en Alemania.
1975	Kohler y Millstein producen anticuerpos monoclonales usando la tecnología del hibridoma. Congreso <i>Asilomar</i> sobre normas de conducta en investigación sobre ingeniería genética. Fundación de <i>Agrigenetics</i> y Laboratorios de Investigación <i>Bethesda</i> .
1976	Fundación de Genentech.
1977	Fundación de Genex. Genentech anuncia que el primer producto potencialmente comercial de ingeniería genética (somatostatina) está en desarrollo.
1978	Fundación de <i>Biogen</i> , <i>Hybritech</i> , <i>Collaborative Research</i> , <i>Biochem Technology</i> , <i>International Plant Research Institute</i> (IPRI). <i>Genetech</i> anuncia que ha clonado exitosamente insulina humana en un proyecto en asociación con Ely Lilly. Hoffmann-La Roche y Genentech comienzan investigación colaborativa sobre Interferón.
1979	<i>Bioresponse</i> se abre al público. <i>Genentech</i> anuncia que ha producido somatropina (hormona humana del crecimiento) y Timosina alfa-1 (proteína). Proyecto conjunto entre Cetus y Standard Oil de California para desarrollar un proceso de bajo costo para la producción de jarabe de maíz alto en fructosa. Fundación de <i>Molecular Genetics</i> , <i>Monoclonal Antibodies</i> y otras seis firmas de biotecnología. Desarrollo de técnicas de microencapsulación.
1980	La suprema corte de Estados Unidos dictamina sobre el caso de la patente de Chakrabarty

<sup>20</sup> La cual fue otorgada por la USPTO el 31 marzo de 1981.

	<p>permitiendo el otorgamiento de patentes sobre micro-organismos. El proceso sobre la patente de Cohen y Boyer es concedido en Diciembre. Dieciocho nuevas firmas de biotecnología son fundadas. Oferta pública de acciones de Genentech. Presentación del informe “Spinks” en el Reino Unido. <i>Hoechst</i> anuncia un contrato de investigación con el Hospital General de Massachussets.</p>
1981	<p>La FDA (Food and Drug Administration, agencia de gobierno de Estados Unidos) aprueba el primer kit de diagnóstico basado en anticuerpos monoclonales. Fundación de <i>Celltech</i>. Fundación de la Asociación Industrial de Biotecnología en Estados Unidos. Oferta pública de acciones de <i>Cetus</i>, <i>Biologicals</i>, <i>Genetic Systems</i>, <i>Hybritech</i>. Treinta y tres nuevas compañías de biotecnología son fundadas. Informe de <i>Pelissolo</i> en Francia. <i>Cetus</i> recibe el permiso de NIH (National Institutes of Health) para escalar la producción de Inteferón humano por arriba del límite de los diez litros por partida, en conjunto con <i>Royal Dutch-Shell</i>. Monsanto abre sus laboratorios de biología molecular. MITI (Ministerio de Industria y Tecnología de Japón) declara a la biotecnología como la tecnología de “siguiente generación” y comienza un programa coordinado de apoyo. Creación de “Mission des Biotechnologies” en Francia. Comercialización de vacunas de ADN recombinante (r-DNA) para ganado.</p>
1982	<p>La FDA autoriza la comercialización del primer producto de ADN recombinante, Humulina, insulina humana producida por Genentech y Ely Lilly. Primera alianza de R&amp;D (investigación y desarrollo). Más de 200 nuevas firmas de biotecnología están activas en Estados Unidos. Congreso en Pajaro Dunes para la definición de los principios y las relaciones industria-universidad en investigación sobre biotecnología. Applied Genetics y Southern Biotech van a la bancarrota. Genex comienza la comercialización de ácido l-aspártico. Reformulación de la intervención del gobierno en la biotecnología en Alemania. Se abre públicamente la Biblioteca de Datos de la Secuencia de Nucleótidos del Laboratorio Europeo de Biología Molecular.</p>
1983	<p>NIH autoriza experimentos de plantas genéticamente modificadas. Las nuevas firmas de biotecnología alcanzan los 550 millones de dólares en el mercado de valores de Estados Unidos. Du Pont crea dos nuevos departamentos de investigación en biotecnología. Genex comienza la comercialización de l-fenilalanina. <i>Molecular Genetic</i> comercializa la vacuna contra la diarrea. Fundación del Centro de Desarrollo de Biotecnología en Japón. Exitoso rediseño de una enzima usando mutagénesis dirigida.</p>

Fuente: Orsenigo (1989). Fuente original: Harrigan (1981), Yanchinsky (1985), Daly (1985), OTA (1984), Kenney (1986), Wheale and McNally (1986), various journals.

A la par de estos acontecimientos, comienzan a desarrollarse los procesos aeróbicos que emplean variedades de bacterias y hongos; son usados para producir bajo volumen de productos pero con alto valor agregado. La industria de las enzimas logran importantes éxitos con la producción de jarabe de maíz alto en fructosa ganando mercados no insignificantes. Son importantes también los descubrimientos sobre los métodos para la inmovilización de las enzimas y la introducción de los procesos de fermentación continua; estos hechos abrieron la posibilidad de que los procesos biológicos pudieran empezar a competir con los procesos

químicos usados en la petroquímica. Sin embargo, tales procesos son altamente vulnerables a la contaminación por otros micro-organismos y requerían control muy cercano de sus condiciones. Otros intentos para usar la biotecnología a gran escala industrial fallaron, como en el caso de la proteína unicelular que nunca llegó a competir con los procesos químicos a pesar de los grandes esfuerzos en investigación. En Japón, sin embargo, la biotecnología encontró grandes aplicaciones, aunque ya había sido usada ampliamente en la industria de los alimentos desde inicios del siglo XX. La industria de las enzimas para productos alimenticios y la fermentación de aminoácidos –especialmente glutamato monosódico- se desarrollaron en forma sostenible, y llevaron a la producción de otros productos tales como compuestos para intensificar sabores y aminoácidos. Los esfuerzos sistemáticos en Investigación y Desarrollo en estas áreas condujeron al indiscutible liderazgo tecnológico de Japón (Orsenigo, 1989).

Por tanto, si la microbiología, bioquímica e ingeniería química, han traído a una rápida expansión de la biotecnología, tanto en el número de productos manufacturados a través de las técnicas y la eficiencia de los procesos involucrados, el advenimiento de la biotecnología contemporánea emergió de los impulsos producidos por una disciplina científica diferente –la biología molecular- que transformó radicalmente la base del conocimiento y las oportunidades para la innovación en biotecnología (Orsenigo, 1989).

Usualmente, la fecha de nacimiento de la biotecnología contemporánea se identifica con dos eventos específicos: en 1973 Chang y Cohen en Stanford, y Boyer y Helling en UCLA San Francisco, desarrollan la técnica del ADN recombinante (r-DNA), y en 1975 Millstein y Kohler en Cambridge, emplean la tecnología del hibridoma para producir anticuerpos monoclonales (Orsenigo, 1989).

Figura 17. Biotecnología

<b>A. De acuerdo con el sector industrial</b>	
Sector	Actividades
Químicos	
Orgánico (a gran volumen)	Etanol, Acetona, Butanol Ácidos Orgánicos (Cítrico, Itacónico)
Orgánico (refinado)	Enzimas Perfumes Polímeros (principalmente polisacáridos)
Inorgánicos	Mejora de metales, Bioacumulación, y lixiviación (Cu, U)
Fármacos	Antibióticos Agentes de diagnóstico (Enzimas y anticuerpos)



	<p>Enzimas inhibidoras</p> <p>Esteroides</p> <p>Vacunas</p>
Energía	<p>Etanol (gasohol)</p> <p>Metano (biogás)</p> <p>Biomasa</p>
Alimentos	<p>Productos lácteos, cárnicos y pescado</p> <p>Bebidas (alcohólicas, té y café)</p> <p>Levadura de panadería</p> <p>Aditivos para alimentos (antioxidantes, colorantes, saborizantes, estabilizadores)</p> <p>Nuevos alimentos</p> <p>Producción de hongos</p> <p>Aminoácidos, vitaminas</p> <p>Productos derivados de almidón</p> <p>Jarabes de glucosa y alto contenido de fructosa. Modificaciones funcionales de proteínas, pectinas</p> <p>Eliminación de toxinas</p>
Agricultura	<p>Alimentos para animales (piensos)</p> <p>Vacunas de uso veterinario</p> <p>Procesos de compostaje y ensilado</p> <p>Plaguicidas microbianos</p> <p>Rhizobium y otras bacterias para la fijación de Nitrógeno</p> <p>Inoculantes</p> <p>Inoculantes micorrícicos</p> <p>Célula vegetal y cultivo de tejidos (propagación vegetativa, producción de embriones, mejoras genéticas)</p>
Industria de servicios	<p>Purificación de agua</p> <p>Tratamiento de efluentes</p> <p>Tratamiento de residuos</p> <p>Recuperación de petróleo</p> <p>Herramientas analíticas</p>

<b>B. Con base en Volumen y Valor</b>	
Categoría	Actividades
Gran volumen, bajo costo	Metano, etanol Biomasa Alimentos para animales Purificación de agua, efluentes y tratamiento de residuos
Gran volumen, costo intermedio	Aminoácidos y ácidos orgánicos Productos alimenticios Levadura de panadería Acetona, butanol Polímeros Metales
Poco volumen, gran valor	Antibióticos y otros productos para el cuidado de la salud Enzimas Vitaminas

Fuente: Orsenigo (1989). Fuente original: Bull, Holt and Lilly (1982).

De acuerdo a Orsenigo (1989), una tecnología fundamental que está en la base de la biotecnología contemporánea es la ingeniería de las proteínas; esta disciplina ha tenido el propósito de introducir cambios precisos en la estructura de las proteínas. La ingeniería de las proteínas ha combinado diferentes técnicas y disciplinas específicas, tales como la purificación, síntesis química, cristalografía, e ingeniería genética, pero su desarrollo fue posible gracias a los avances de tres áreas: a) la síntesis química realizada por un gran número de aminoácidos; b) la mutagénesis dirigida, que permitió la introducción de cambios precisos en la estructura de las proteínas, como la sustitución de un aminoácido por otro; y c) las ciencias y tecnologías de cómputo permitieron el modelamiento tridimensional de una proteína.

Así, la biotecnología ha marcado una discontinuación de las trayectorias previas de la investigación científica y tecnológica. La base de conocimiento que subyace a estas innovaciones tecnológicas trajo consigo un espectro amplio de disciplinas y *know-how*, además de la bioquímica, microbiología, fermentación y cultivo de células, posteriormente la biología molecular, genética, inmunología, virología, biología celular y cultivo de tejidos se convirtieron en componentes fundamentales de biotecnología (Orsenigo, 1989).

La ingeniería genética puede ser considerada como una disciplina que ha generado un nuevo paradigma tecnológico, pero su surgimiento fue posible gracias a un proceso relativamente lento y de acumulación de conocimiento científico y tecnológico en diversas

áreas, que convergiendo, han generado nuevas perspectivas y un conjunto nuevo de principios y técnicas (Orsenigo, 1989). Las décadas posteriores a 1990 han continuado con avances significativos, sobre todo en áreas como la genómica y la ingeniería genética.

Figura 18. Principales eventos en la historia de la biotecnología contemporánea (1990-2015).

1993	Francisco J. M. Mojica (Universidad de Alicante, España) publica la identificación de las secuencias repetidas conocidas posteriormente como CRISPR (Clustered Regularly Interspaced Short Palyndromic Repeats).
2005	El grupo de investigación de Francisco Mojica identifica que las secuencias CRISPR y espaciadores asociados podían formar parte de un sistema inmune, propio de los microorganismos procarióticos; sus observaciones indican que el sistema CRISPR/cas puede tener un rol en la inmunidad adaptativa.
2009	Emmanuelle Charpentier descifra, junto con Jennifer Doudna y otros investigadores, los mecanismos moleculares del sistema inmunológico bacteriano CRISPR-Cas9 y su aplicación como herramienta en ingeniería genética. Descubren que la proteína Cas9, que se encuentra en el sistema inmune de la bacteria <i>Streptococcus</i> “CRISPR”, trabaja como unas tijeras atacando al ADN del virus y cortándolo. Ello reduce el tiempo de trabajo necesario para editar ADN genómico.
2012	Se demuestra por primera vez que el CRISPR funciona como una herramienta de ingeniería de genoma en cultivo de células humanas, desde entonces se ha utilizado en muchos organismos, incluyendo aquellos de la levadura del pan, pez cebra, moscas, nematodos, plantas y ratones.
2014	Investigadores del MIT demuestran que el CRISPR puede revertir síntomas de enfermedad en organismos vivos; curan ratones de desórdenes genéticos del hígado.
2015	Investigadores en China anuncian que han usado la herramienta naciente CRISPR-Cas9 para modificar los genomas de embriones humanos.

Fuente:

<https://es.wikipedia.org/wiki/CRISPR> consultado 29 de abril de 2016.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Jennifer\\_Doudna](https://es.wikipedia.org/wiki/Jennifer_Doudna) consultado 29 de abril de 2016.

[https://es.wikipedia.org/wiki/Emmanuelle\\_Charpentier](https://es.wikipedia.org/wiki/Emmanuelle_Charpentier) consultado 29 de abril de 2016.

Nature, Volumen 531 Número 7593 pp139-268.

Nature 532, 432–434 (28 April 2016).

Hoy en día la mayoría de las publicaciones, que divulgan avances en la ciencia y la tecnología, aseguran que los investigadores alrededor del mundo se apresuran para usar CRISPR con el objeto de recomponer células de los genomas humanos, virus, bacterias, animales y plantas. Pero la edición de ADN no es el propósito primordial, el interés principal se centra en entender mejor a los genomas; se están ideando variaciones de las técnicas para manipular la actividad de los genes. Así, en el intento de combatir enfermedades, mejorar la

agricultura e incluso diseñar mascotas, los investigadores están “editando” animales y plantas (desde elefantes hasta peces koi).

Asimismo, los avances en bioinformática están dando pie a que laboratorios en todo el mundo entren al juego de la modificación genética.

Organizaciones como AddGene en Cambridge, Massachusetts, distribuye paquetes con materia prima de ADN, necesario para modificación genética en lugares tan lejanos como Zimbabwe o Croacia. Se trata de una asociación sin fines de lucro, creada para ayudar a los investigadores a compartir sus invenciones sobre ADN, y permite fácil acceso a tecnología de modificación genética. Funciona como el servicio de Amazon.com que distribuye material biológico, cualquier persona puede solicitar una orden por alrededor de 65 dólares. Pero también funciona como un repositorio que permite compartir material biológico de manera muy rápida, bajo un esquema de “ciencia abierta”; de modo que investigadores en todo el mundo pueden dar y recibir retroalimentación en sus investigaciones. El material más solicitado a AddGene es el relacionado con la producción de Cas9, la proteína usada en CRISPR. Desde 2013, los ingredientes para CRISPR se han distribuido más de 60,000 veces. Es a través de mecanismos como éste que CRISPR se ha convertido en la tecnología que, probablemente, se ha propagado más rápido en la historia de la biología<sup>21</sup>.

Por otro lado, investigadores del MIT ya han creado un lenguaje de programación que permite a cualquier persona diseñar en una computadora una célula viviente. Chistopher Voigt, líder del grupo de investigación, en colaboración con investigadores de la Universidad de Boston y el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología, han creado un software llamado *Cello*. Es literalmente un lenguaje de programación para bacterias. El “usuario” puede elegir cuales características y funciones desea insertar en la bacteria *Escherichia coli*. Se compila un texto que después es procesado en secuencias de ADN, listos para ser insertados y funcionar dentro de la célula. Así, un estudiante de bachillerato se podría conectar a su computadora personal y escribir el programa que quiere realizar, *Cello* traducirá automáticamente el texto en secuencia de ADN. Hasta ahora, los investigadores han programado 60 diferentes circuitos, la mayoría proyectados para reaccionar a uno o más estímulos del ambiente, como la concentración de glucosa o de oxígeno, o bien la luz o la temperatura. Las secuencias de ADN se han desarrollado para la bacteria *Escherichia coli*, pero los investigadores ya trabajan para programar otros microorganismos de interés sanitario y económico: *Bacteroides*, *Pseudomonas* y *Saccharomyces*. *Bacteroides* es componente importante de la flora intestinal y

---

<sup>21</sup> Regalado, A., 2016, The Scientific Swap Meet Behind the Gene-Editing Boom, MIT Technology Review, Abril 8, 2016. <https://www.technologyreview.com/s/601156/the-scientific-swap-meet-behind-the-gene-editing-boom/>

ha sido elegido para ayudar a la digestión de la lactosa. *Pseudomonas*, además de ser una de las principales causas de infección en hospitales, está frecuentemente asociado a las raíces de las plantas. El objetivo de Voigt es programarlo para emitir sustancias insecticidas solamente si la planta está infectada. La levadura *Saccharomyces* podría en cambio ser programada para interrumpir la actividad metabólica cuando en los fermentadores se han acumulado muchos subproductos tóxicos. Así, se tiene en prospectiva que el diseño automático favorecerá la inclusión de los circuitos en los procesos biotecnológicos que intervienen en la actividad celular, con resultados que podrían derivar en la cura de tumores mediante bacterias que eliminen únicamente las células neoplásicas<sup>22</sup>.

Al parecer la tendencia general, como en el desarrollo de otras tecnologías de inicios del siglo XXI, es la popularización, masificación o mayor participación de personas sin mucha especialización, en el uso de tecnología de modificación genética. Si para bien o para mal nos encontramos tan sólo al alba de la era de la modificación genética, lo que veremos en el futuro cercano es al hombre re-diseñando, literalmente, su propia forma de vida desde sus células.

## **Status de la innovación en biotecnología**

Mucho hemos hablado del nacimiento de la biotecnología y su desarrollo industrial, pero ¿en qué medida continúa siendo el paradigma que está transformando procesos productivos? La actividad de las patentes, aunque no refleja todas las capacidades de innovación tecnológica de las empresas y los países, ofrece una idea de las tendencias generales. Siguiendo esta idea, actualmente se puede apreciar un muy modesto lugar de la biotecnología en los procesos de innovación a nivel global. Aunque no se puede asegurar que le ha ganado la partida a la tecnología que tiene base en la química tradicional o la petroquímica, ya es difícil separarla de ellas, asimismo se debe considerar integrada a la industria de los alimentos, cosméticos y la propia farmacia.

---

<sup>22</sup> Michielin, D., 2016, Progettare al computer una cellula vivente, *Le Science* (Edizione Italiana di Scientific American), 4 aprile, 2016.

[http://www.lescienze.it/news/2016/04/04/news/programmazione\\_linguaggio\\_dna-3036513/?refresh\\_ce](http://www.lescienze.it/news/2016/04/04/news/programmazione_linguaggio_dna-3036513/?refresh_ce)

Nielsen, A.A., Der, B.S., Shin, J., Vaidyanathan, P., Paralanov, V., Strychalski, E.A., Ross, D., Densmore, D. & Voigt, C.A., 2016, Genetic circuit design automation, *Science*, 352(6281), p. aac7341

Sector	2013 Volumen	% del total
Computación y periféricos	301,043	31%
Telecomunicaciones	125,932	13%
Sector Automotriz	123,009	13%
Semiconductores	97,511	10%
Dispositivos Médicos	75,723	8%
Productos Farmacéuticos	62,766	7%
Electrodomésticos	55,723	6%
Sector Aeroespacial	47,924	5%
Biotecnología	26,110	3%
Petróleo	17,896	2%
Alimentos, Tabaco y fermentación de bebidas	14,752	1%
Cosméticos	7,419	1%

Fuentes: Thomson Reuters Derwent World Patents Index. Thomson Reuters, 2014, State of innovation (report).

De acuerdo con el reporte de la agencia Thomson Reuters, en 2013 existían 26,110 patentes correspondientes a la biotecnología, lo que representa tan sólo el 3% del total. Sin embargo, dentro de este sector, la modificación genética de cultivos es la que se mantiene en crecimiento. Entre los principales subsectores que incluye el reporte de Reuters también destacan el diagnóstico de enfermedades y tratamiento de cáncer.

Subsector	2013 Volumen	2012 Volumen	% Cambio
Biotecnología general	16,671	17,069	-2%
Diagnóstico de enfermedades	4,646	4,902	-5%
Tratamiento de cáncer	3,375	3,450	-2%
Cultivos modificados genéticamente	1,897	1,757	8%
Descubrimiento de fármacos	959	1,287	-25%

Source: Thomson Reuters Derwent World Patents Index

Poco reporta Thomson Reuters sobre a quién pertenecen estas patentes, excepto por las que se refieren al tratamiento de cáncer. Entre las más importantes se encuentran universidades norteamericanas, así como empresas de origen francés y asiáticas. En la figura 21 se muestran los diez primeros lugares en Asia, Europa y Norteamérica.

Figura 21. Las 10 principales compañías en tratamiento de cáncer

Asia-Pacífico		Número de documentos
1	Agency for Science Technology and Research	21
2	Toray Industries	13
3	Samsung Electronics	11
4	Millennium Pharmaceuticals	11
5	University of Yonsei Ind Academic Coop Foundation	11
6	University of Singapore Nat	10
7	University of Peking	10
8	University of Fudan	9
9	University of Zhejiang	9
10	University of Seoul Nat R & DB Foundation	8
10	Chugai Seiyaku	8
10	University of Tokyo	8
Europa		Número de documentos
1	Hoffmann La Roche	56
2	Centre National de la Recherche Scientifique	35
3	Novartis	31
4	Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale	29
5	Sanofi	18
6	Deutsches Krebsforschungszentrum	17
7	Moderna Therapeutics	16
8	UCL Business	16
9	Bayer Intellectual Property	14
10	Yeda Res & Dev	14
Norteamérica		Número de documentos
1	University of California	49
2	Genentech	47
3	Dana Farber Cancer Institute	29
4	US Department of Health & Human Services	28
5	University of Texas System	27
6	University of New York State	23
7	University of Pennsylvania	20
8	Abbott Laboratories	17
9	University of Leland Stanford Junior	17
10	General Hospital	16

Fuentes: Thomson Reuters Derwent World Patents Index. Thomson Reuters, 2014, State of innovation (report).

Aunque los datos se refieren sólo a las invenciones relacionadas con el tratamiento de cáncer, la actividad de patentes deja ver pocos cambios sobre dónde se desarrolla mayormente la innovación en el campo de la biotecnología. El desarrollo continúa concentrándose en los países donde emergió: Estados Unidos, Japón, Francia, Alemania, y el Reino Unido.

Históricamente debemos recordar que la actividad de patentes, durante y después de la década de 1970, muestra el mayor crecimiento en el número de solicitudes de patente en biotecnología, y particularmente en ingeniería genética en Estados Unidos. De acuerdo con los datos de Orsenigo (1989), obtenidos de la OTAF/SPRU en 1985, las actividades de innovación en biotecnología comenzaron a crecer a inicios de la década de 1970, mientras que

aquellas relacionadas con ingeniería genética comenzaron a incrementarse en 1976. Durante el periodo de 1963-8 existían 138.8 patentes en biotecnología. El número se incrementó a 310.6 para el periodo 1975-9, alcanzando las 422.4 para 1980-4. Sin embargo, el crecimiento de las patentes relacionadas con ingeniería genética creció más rápido, pasando de 4.25 en 1971-4 a 11.2 en 1975-9, y posteriormente a 57.8 en el periodo de 1980-4.

Orsenigo (1989), describe que la biotecnología se caracterizó desde sus inicios por su estrecha correspondencia entre ciencia y tecnología; muestra de ello lo confirma con los datos de la publicación de artículos y el registro de patentes en ingeniería genética, que crecieron casi a la par después de 1975. Mientras la publicación de artículos no llegaba a los doscientos en 1976, ya se habían duplicado para 1978 y triplicado para 1980. Hasta 1985, existían más de mil artículos publicados sobre ingeniería genética. Las solicitudes de patente, mientras tanto, no sobrepasaban las 11.2 en 1975, pero alcanzaron a ser casi doscientas para 1983. Estos datos ofrecen la primera indicación sólida del empuje que dio la ciencia a la biotecnología contemporánea; ello a pesar de que las actividades de patentamiento probablemente se vio inhibida por la incertidumbre de la posibilidad de patentar organismos recombinantes.

Además de la actividad de patentes suscitada en Estados Unidos, en Japón se observó la mayor concentración de registro de patentes en biotecnología en el mismo periodo. En los países europeos, aunque con datos significativos, las actividades de innovación en biotecnología le siguieron muy por detrás. De acuerdo a Orsenigo (1989), en el Reino Unido y Francia se observaron “mejores” resultados en lo que respecta a la ingeniería genética que en biotecnología en general. En Italia, por el contrario, se observa mejor actividad en lo que respecta a la biotecnología, que específicamente en ingeniería genética. Sin embargo, el registro de patentes en ambos casos fue muy bajo con respecto a todos los demás países.

Figura 22. Actividad de patentes en biotecnología por país (%)					
	1963-68	1969-74	1975-79	1980-84	Total
EUA	60.1	52.8	53.2	55.4	54.8
Japón	41.6	52.6	44.6	42.3	45.7
Alemania	12.7	10.9	15.7	17.4	14.6
Reino Unido	7.8	8.9	7.7	7.5	8.0
Francia	9.9	7.9	6.5	6.4	7.2
Italia	2.7	3.0	2.8	4.7	3.6

Fuente: Orsenigo (1989) Fuente original: OTAF/SPRU



El liderazgo amplio de Estados Unidos en biotecnología, también fue confirmado por los datos sobre las publicaciones en *journals* de ciencia en ingeniería genética, así como por el número de citas de las publicaciones en disciplinas relevantes para la biotecnología (Orsenigo (1989)).

Figura 23. Producción científica por país: publicaciones científicas en ingeniería genética y biotecnología (%)		
	Ingeniería genética* (1978-86)	Biotecnología** (1982-83)
EUA	49.9	32.2
Japón	7.3	13.9
Alemania	6.9	4.8
Reino Unido	7.7	9.9
Francia	6.0	4.1
Italia	n.d	1.2

\*Artículos de Ingeniería Genética en *abstracts* de Química y Biología.

\*\*Artículos de Biotecnología en *abstracts* de Biotecnología.

Fuente: Orsenigo (1989) Fuente original: Elaborations on Stankiewicz (1986); Federchimica (1986)

Para Orsenigo (1989), las capacidades científicas parecían en esos años más distribuidas entre los países que las propias capacidades tecnológicas, sin embargo la ventaja de los Estados Unidos fue siempre mucho mayor en términos de ciencia. Tales capacidades fueron una precondition de su desempeño tan notable en alta tecnología. La acumulación de conocimiento científico en las universidades, y escuelas de medicina, había proveído las bases para el rápido desarrollo tecnológico en los Estados Unidos.

## La Biotecnología en México

Uno de los estudios más completos sobre el desarrollo de la biotecnología en México es el elaborado por Casas (1993). En él describe las problemáticas y potencialidades, que se podían apreciar a partir de la documentación de las actividades que realizaban en la década de los 80s, una buena parte de centros de investigación dedicados a la biotecnología en el país. En los discursos académicos, políticos y económicos de la época, la biotecnología se veía como la solución a la crisis de los sectores agrícolas y una panacea para los países del tercer mundo. Pero al mismo tiempo y de forma paradójica, se advertía de impactos socioeconómicos negativos de la biotecnología sobre los países en vías de desarrollo. Las empresas

multinacionales, que se puede afirmar han sacado la mejor partida fruto de la biotecnología en el mundo, destacan que su tecnología ayuda y atenderá la crisis agroalimentaria en el mundo. Mientras que la tecnología emanada de las instituciones públicas de investigación no llega al campo o tiene muchas complicaciones para hacerlo, y la agricultura campesina es controlada y dependiente de las acciones de las transnacionales.

Como hemos visto en el apartado anterior, y es confirmado por Casas (1993), el periodo de 1960 a 1990 es muy importante para el desarrollo de la biotecnología, no sólo en los países altamente desarrollados, sino en los países con menor desarrollo como México e Italia. En este periodo surgen varios elementos que impulsan el desarrollo de esta disciplina y siguen diversas vías de institucionalización, así como algunas experiencias de vinculación con el sector productivo.

La característica de la biotecnología es que se trata de una tecnología que nace en las universidades (principalmente de Estados Unidos) y no en las grandes empresas. La emergencia de la biotecnología tuvo repercusiones en las relaciones entre universidad e industria, modificando incluso el patrón de las actividades de los investigadores en las universidades, principalmente de Estados Unidos. El número de investigadores que se convirtieron en empresarios se incrementó, acompañando a la idea de que el dinero y el prestigio se encontraba en la biotecnología y no en las áreas tradicionales de la biología.

De acuerdo con Casas (1993), la biotecnología se institucionaliza en México en centros de investigación públicos y universidades, en la década de los setentas. En los discursos de la época, en los países con menor desarrollo como México y los países de Latinoamérica, se pensaba que el sector agrícola sería el área donde sucederían los cambios más importantes puesto que, con las diversas técnicas con base en la biotecnología, sería posible desarrollar en los centros de investigación:

- Especies resistentes a sequías, plagas y pestes
- Especies capaces de fijar su propio nitrógeno
- Plantas con mayor contenido nutricional
- Nuevos productos agroindustriales

Con perspectivas como éstas, varios organismos internacionales promueven acciones encaminadas a fomentar el desarrollo de la biotecnología en Latinoamérica, aunque no logra definirse una política específica, que apoye programas estructurados para desarrollar la biotecnología en tales países. A pesar de ello, si se establece un marco de colaboración insipiente en investigación biotecnológica.

Figura 24. Principales eventos para el desarrollo de la Biotecnología en México y América Latina

1969	Creación del primer laboratorio dedicado al Cultivo de Tejidos Vegetales, Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo, bajo un acuerdo de colaboración científica con Japón.
1972	La empresa japonesa Matsumoto, dedicada a la producción de plantas de ornato, establece un laboratorio de investigación de cultivo de tejidos vegetales.
1974	Primera reunión latinoamericana en ingeniería bioquímica y biotecnología; llevada a cabo en Guatemala y organizada por el organismo brasileño denominado Centro para la Aplicación de la Ciencia y la Tecnología para el Desarrollo de América Latina.
1975	Inicio de la participación de América Latina en la Red de Centros de Recursos Microbiológicos, promovida por la UNESCO-PNUMA-ICRO-FAO. Hecho que da pie al establecimiento de tres centros en Brasil, Argentina y Guatemala.
1975	Programa Regional de Entrenamiento de Posgrado en Ciencias Biológicas, financiado por la UNESCO y el PNUD. Participan diez países de la región.
1980	Establecimiento de la Asociación Mexicana de Cultivo de Tejidos Vegetales, adscrita a la International Association of Plant Tissue Culture.
1982	Creación de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, A.C.
1983	Reunión sobre “Problemas para el desarrollo de una biotecnología autónoma para América Latina”. Organización Panamericana de la Salud.
1984	Creación de la Red Latinoamericana de Centros de Biotecnología patrocinada por PNUD-ONUDI-UNESCO.
1985	La Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI) emprende acciones para la creación del Centro Internacional de Ingeniería Genética y Biotecnología (ICGEB).
1986	Establecimiento del centro argentino-brasileño de biotecnología. Y acuerdo entre Venezuela y Colombia para la cooperación de laboratorios industriales en biotecnología.
1987	Aprobación de la creación del ICGEB y apertura de la sede en Trieste, Italia. Se establecen como líneas de investigación fundamentales del centro: ADN-r, virología y conversión de biomasa.
1987	Programa Regional de Biotecnología para América Latina y el Caribe. Tiene como propósito estimular la cooperación, no sólo en los aspectos científico-tecnológicos, sino en la creación de empresas latinoamericanas para industrializar procesos biotecnológicos emanados de la región.
1990	Creación de la Federación Latinoamericana de Asociaciones de Empresas en Biotecnología (FELAEB) con la participación de Argentina, Brasil, Costa Rica, Chile, México y Uruguay.
1991	Feria y Congreso Latinoamericano de Biotecnología, organizado por la FELAEB en São Paulo, Brasil. Presentación de nuevos productos, tecnologías, proyectos de investigación por parte de empresas.
1991	México es el primer país de Latinoamérica en modificar la legislación y permitir el otorgamiento de patentes de productos químicos, farmacéuticos, alimentos, bebidas, e invenciones relacionadas con microorganismos y variedades vegetales. Hecho relacionado con la firma del Tratado de Libre Comercio entre México, Estados Unidos y Canadá en 1991. Así como la reforma y aprobación de la Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas en el mismo año, y otras legislaciones en la materia.
1999	Decreto de la formación de la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados; integrada por las Secretarías de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Salud (SS), Educación Pública (SEP), Hacienda y Crédito Público (SHCP) y Economía (SE), y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). La comisión tiene por objeto establecer las políticas referentes a la seguridad de la biotecnología en lo que concierne al uso seguro de organismos genéticamente modificados (OGMs).

Fuente: Elaboración propia a partir de Casas (1993). Sitio web: <http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/cibiogem/acerca-de-la-cibiogem> consultado 17 de junio de 2016.

## Instituciones

En realidad el desarrollo de la biotecnología en México surge como una actividad complementaria que realizan varias unidades de investigación, básicamente especializadas en

microbiología, ingeniería bioquímica, genética, ingeniería química, enzimología. Hacia los años de 1940s y principios de los 1950s estas áreas de investigación tienen un gran auge, principalmente en el Instituto Politécnico Nacional (IPN) y la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). A partir del desarrollo de estas disciplinas se estructuran líneas de investigación en biotecnología. Tiene un papel destacado en tales labores la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN, la cual tiene como antecedente el proyecto de la Escuela de Bacteriología, creado en 1933 por una comisión de profesores de la Escuela Nacional Preparatoria de la UNAM; sin embargo, en 1936 es cuando se constituye como escuela nacional y forma parte de las escuelas que se integran para formar el Instituto Politécnico Nacional en el mismo año, por decreto del Gral. Lázaro Cárdenas del Río<sup>23</sup>. Sin embargo, no es sino hasta 1972 que se establece el Departamento de Biotecnología y bioingeniería (DBB) del CINVESTAV-IPN, con el liderazgo del Dr. Carlos Casas Campillo<sup>24</sup>, que se convierte a la postre en uno de los centros más importantes para el desarrollo de la biotecnología en el país. De acuerdo con Casas (1993), se da una gran movilidad de investigadores de este centro a la UNAM, dado que la creación del centro redefine la orientación del propio CINVESTAV, para que éste se convierta en un centro de investigación aplicada y no con orientación exclusiva de investigación básica. La tradición de la UNAM, y de varios departamentos del IPN, continuaba siendo las labores investigación básica, por lo que los investigadores en tal momento sentían fracturada la libertad de investigación, y la amenaza de que el centro se convirtiera en un ente con labores “pragmáticas”. Al establecimiento del DBB le siguen, a finales de 1970 e inicios de los años 1980s, la creación de los centros de investigación de la UNAM y la UAM (Instituto de Investigaciones Biomédicas-IIB-UNAM en 1977, Centro de Investigaciones sobre la Fijación del Nitrógeno-CEFINI-UNAM en 1980, Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología- CIIGEBI- UNAM en 1982, posteriormente Instituto de Biotecnología-UNAM en 1992, Departamento de Biotecnología-Universidad Autónoma Metropolitana-Ixtapalapa en 1979). Con ello, se institucionaliza la investigación sobre biotecnología en el país. Estas universidades se ubican en la ciudad de México, y son las más importantes del país. Tienen, desde sus orígenes y hasta nuestros días, gran influencia en el desarrollo de la educación superior y la investigación científico-tecnológica en toda la república.

Es importante destacar que la investigación de biotecnología en México surge en instituciones de educación superior, que no están relacionadas directamente con la

---

<sup>23</sup> Presidente de México entre 1934 y 1940.

<sup>24</sup> Profesor distinguido de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN; pionero y principal propulsor de la biotecnología en México.

investigación agrícola en el país. Aunque el desarrollo de tecnología mexicana era un discurso político que adquirió gran fuerza con el gobierno del Gral. Lázaro Cárdenas del Río, la investigación tecnológica aplicada al campo no se desarrolló a pesar de la reforma agraria impulsada por el general. Aún así, se puede decir que la creación del IPN sentó las bases para que se desarrollara la investigación en las décadas posteriores a su gobierno. A pesar de ello, entre 1940 y 1950 se establece el proyecto de investigación financiado por el gobierno federal<sup>25</sup> y la fundación Rockefeller, que deriva en la creación del Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT) en 1966. Entre las principales labores del CIMMYT está el desarrollo de variedades vegetales mejoradas y adaptadas a diversas condiciones climáticas. Norman Borlaug<sup>26</sup>, junto con los primeros investigadores del centro y agricultores mexicanos, comienzan a desarrollar variedades de trigo muy resistentes y altamente productivas que empiezan a exportar de forma inmediata.

La investigación agrícola, ligada a la biotecnología en el país, cobra importancia en la segunda parte del siglo XX. Anterior a ello, en las instituciones encargadas del desarrollo agrícola nacional, no se habían presentado líneas fuertes de investigación y desarrollo. La Escuela Nacional de Agricultura, establecida en 1923, dio origen a la Universidad Autónoma Chapingo hasta 1976. Años antes, en 1959, se establece el Colegio de Posgraduados emanado también de la propia Escuela Nacional de Agricultura. Ambas instituciones actualmente son órganos desconcentrados de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), que a su vez tiene como antecedente la fundación de la Secretaría de Agricultura y Fomento en 1917.

Mención aparte merece la conformación del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)<sup>27</sup>, ya que es una institución que agrupa a diversos centros de investigación y campos experimentales, distribuidos en todo el país. El primer antecedente de la investigación, exclusivamente agrícola, en el país es el de la Estación Experimental Agrícola Central de San Jacinto, D.F., establecida en 1907 como parte de la Escuela Nacional de Agricultura y Medicina Veterinaria<sup>28</sup>, además de seis estaciones distribuidas al interior de la república. Estas estaciones experimentales, creadas a finales del gobierno del Gral. Porfirio Díaz, dejaron de funcionar hacia 1922. Posteriormente, la investigación agrícola en México tiene lugar en la Dirección de Campos Experimentales, dependiente de la Secretaría de Agricultura y Fomento, misma que en 1947 se le denomina

---

<sup>25</sup> Siendo presidente el Gral. Manuel Ávila Camacho, periodo 1940-1946

<sup>26</sup> Borlaug recibe el premio nobel de la Paz en 1970 por sus contribuciones a la revolución verde

<sup>27</sup> Órgano también desconcentrado de la SAGARPA

<sup>28</sup> Antecedente de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia de la UNAM

Instituto de Investigaciones Agrícolas. Por otra parte, en 1943 se establece la Oficina de Estudios Especiales, por parte de la Secretaría de Agricultura y Ganadería, con apoyo de la fundación Rockefeller. En 1961 esta Oficina, junto con el antiguo Instituto de Investigaciones Agrícolas, se fusionan denominándose Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas. En 1962 y 1963 se establecen, en forma independiente, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y el Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias. Es hasta 1985 que todos estos institutos se fusionan para dar lugar al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. En 2001 se le otorga el carácter de organismo público descentralizado, y en 2003 como centro público de investigación desconcentrado de la SAGARPA (García-Gracia, M. A., et al, 2006).

Figura 25. Establecimiento de las principales instituciones en Biología, Agricultura y Biotecnología en México			
Año de creación	Unidad/Departamento	Siglas	Institución
1936	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas	ENCB	IPN
1947	Instituto de Investigaciones Agrícolas	IIA	Secretaría de Agricultura y Fomento
1959	Colegio de Posgraduados	COLPOS	Escuela Nacional de Agricultura/SAGARPA
1961	Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas	INIA	SAGARPA
1962	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales	INIF	SAGARPA
1963	Instituto Nacional de Investigaciones Pecuarias	INIP	SAGARPA
1966	Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y el Trigo	CIMMYT	Organismo de investigación sin fines de lucro
1972	Departamento de Biotecnología y Bioingeniería	DBB	CINVESTAV- IPN
1976	Universidad Autónoma Chapingo	UACH	SAGARPA
1977	Instituto de Investigaciones Biomédicas	IIB	UNAM
1979	Departamento de Biotecnología	DB	Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa
1980	Centro de Investigaciones sobre la Fijación del Nitrógeno	CEFINI	UNAM
1982	Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología (Instituto de Biotecnología 1992)	CIIGEBI	UNAM
1985	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias	INIFAP	SAGARPA

Aunque los antecedentes de la investigación en biotecnología se remontan a los años 40s y 50s, de acuerdo a Casas (1993) la biotecnología en México se institucionaliza en la década de los 70s, cuando se constituyen formalmente los principales centros de investigación de esta disciplina en la Ciudad de México. Posterior a ello, durante la década de 1980 y principios de los 90s se da en el país la descentralización de la educación superior, seguida por una política pública específica. Aunada este fenómeno, del Distrito Federal se da una movilización de profesores-investigadores hacia otros estados de la república, con ellos surgen nuevos departamentos relacionados con la biotecnología en universidades autónomas, institutos tecnológicos y otros centros de investigación descentralizados. Para Casas (1993), se da una dispersión más que una integración de esfuerzos en cuanto a la investigación sobre biotecnología. Casas enfatiza que, hacia la década de los ochenta, los centros de investigación no acostumbraban definir políticas de investigación y mucho menos definir prioridades. Específicamente, en lo que Casas denomina como biotecnología vegetal, existen entonces un gran número de instituciones trabajando con las mismas especies, sin mantener contacto entre sí. En cuanto a la biotecnología agroindustrial, varias de las líneas de investigación son abandonadas debido a las dificultades para encontrar financiamiento; esto también motiva la movilización de los investigadores a buscar un mejor lugar en instituciones del interior del país.

Para su análisis, Casas (1993) clasifica a la biotecnología en dos grandes áreas: biotecnología vegetal y biotecnología agroindustrial. Con ello, identifica instituciones que se especializan en tales áreas y desarrollan trabajos que tenían en perspectiva aplicaciones potenciales en estas áreas de la biotecnología. Casas refiere a la biotecnología vegetal como la investigación dedicada a la generación de semillas mejoradas, material vegetativo, e investigaciones para incrementar la productividad de las plantas. Por otro lado, denomina biotecnología agroindustrial a los estudios dedicados a desarrollar procesos que aprovechen los sustratos derivados de las actividades agroindustriales. Esta última clasificación incluye el uso de subproductos agroindustriales utilizados en la propia agricultura (biofertilizantes o bioinsecticidas), así como para la industria pecuaria (alimento para ganado) y alimentaria (aditivos, aminoácidos y enzimas). De igual forma, Casas incluye en la clasificación de biotecnología agroindustrial a los desarrollos tecnológicos relacionados con técnicas de fermentación, de enzimas, bioingeniería y mejoramiento genético de microorganismos.

Figura 26. Unidades de investigación mexicanas que se ocupaban de biotecnología vegetal entre 1970 y 1990.		
Universidades Autónomas	Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depto. de Bioquímica, Fac. de química. FQ-UNAM</li> <li>• Lab. CTV, Instituto de Biología. IB-UNAM</li> <li>• Dept. de Biología Molecular de Plantas, Centro para la fijación del nitrógeno. CEFINI-UNAM</li> <li>• División de Ciencias Químico Biológicas, ENEP-Zaragoza</li> </ul>
	Universidad Autónoma de Nuevo León (UANL)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. De CTV Fac. de Ciencias Biológicas. FCB-UANL</li> </ul>
	Universidad Autónoma de Baja California (UABC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Esc. de Ciencias Biológicas, Univ. Aut. De Baja California ESCB-UABC</li> </ul>
Universidades Agrícolas Autónomas	Colegio de Posgraduados de Chapingo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. De Biotecnología, Centro de Genética. CG-CPCH</li> <li>• Lab. De Embriogénesis, Centro de Fruticultura. LE-CF-CPCH</li> <li>• Lab. De Micropropagación, Centro de Fruticultura. LM-CF-CPCH</li> <li>• Sección de Bioquímica, Centro de Botánica. CB-CPCH</li> </ul>
	Universidad Autónoma de Chapingo	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. CTV Depto. de Fitotecnia. DF-UACH</li> <li>• Lab. CTV, Proyecto FITO-INIA. F-INIA-UACH</li> </ul>
	Universidad Autónoma Agrícola Antonio Narro	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. CTV, Instituto Mexicano del Maíz. IMM-UAAAN</li> </ul>
Centros y universidades federales y estatales	Universidad de Sonora	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. CTV, Centro de Inv. En Cultivo de Tejidos. CICTUS</li> </ul>
	Instituto Politécnico Nacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. CTV. Depto. de Biofísica, Esc. Nacional de Ciencias Biológicas. DF-ENCB-IPN</li> <li>• Lab. CTV. Depto. de Botánica, Esc. Nacional de Ciencias Biológicas. DB-ENCB-IPN</li> <li>• Centro de Investigaciones Interdisciplinarias para el desarrollo rural integral. CIIDIR-IPN</li> </ul>
	Centro de Investigación y Estudios Avanzados	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Depto. de Biotecnología y bioingeniería-Distrito Federal. CINVESTAV-DF</li> <li>• Centro de Investigación y Estudios Avanzados-Irapuato CINVESTAV-IRA</li> </ul>
	Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas Forestales y Pecuarias (INIFAP)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental- Zacatepec. CAE-Z-INIFAP</li> <li>• Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental-Gral. Terán. CAE-GT-INIFAP</li> <li>• Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental-Pabellón. CAE-P-INIFAP</li> <li>• Lab. CTV, Centro Agrícola Experimental-Laguna. CAE-L-INIFAP</li> <li>• Lab. CTV, Programa Nacional de la Papa. PNP-INIFAP</li> </ul>
	Comisión Nacional de Fruticultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. CTV, Depto. de Fitoproducción. CF-CONAGRUT</li> </ul>
	Instituto para la Educación Tecnológica Agrícola	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. de Micropropagación. ISETA</li> </ul>
	Instituciones descentralizadas	Centro de Investigaciones Biológicas
	Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán	<ul style="list-style-type: none"> <li>• División de Biología de Plantas. CICY</li> </ul>
	Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Jalisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Jalisco. CIATEJ</li> </ul>
Centros	Centro de Investigación y	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lab. de Fertilización Cruzada, Programa del Trigo.</li> </ul>



Internacionales	Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT)	PT-CIMMYT • Lab. de Fertilización Cruzada, Programa del Maíz. PM-CIMMYT
Unidades públicas de producción	Instituto Nacional del Café	• Lab. CTV, Depto. de Genética. INMECAFE
	Comisión Nacional de Fruticultura	• Lab. CTV, Depto. de Floricultura. FLOR-CONAFRUT
	Productora y Manufacturera Forestal Mexicana (PROTINBOS)	• Lab. CTV. PROTINBOS
	Centro de Micropropagación del Estado de Oaxaca	• Centro de Micropropagación del Estado de Oaxaca. CM-OAC
Unidades privadas de producción	Tequila Cuervo	• Cuervo
	Biogenética mexicana	• BIOGEMEX
	Compañía Mexicana de Micropropagación	• MIPROMEX

Fuente: Casas (1993) FUENTE original: CONACYT: Ciencia y Desarrollo, núms. 61, 62, 68, 69, 74 y 75, México, 1985. 1986. 1987; COSNET: Potencial para el desarrollo de la ingeniería genética, SEP, México. 1984, Robert, M. y Loyola. V. M: El cultivo de tejidos vegetales en México, CICY-CONACVT. México, 1985.

Figura 27. Unidades de investigación mexicanas que se ocupaban de biotecnología agroindustrial entre 1970 y 1990.

Universidades autónomas	Facultad de Química, Universidad Nacional Autónoma de México	-Dept. de Alimentos, FQ-UNAM
	Inst. de Investigaciones Biomédicas, UNAM	-Dept. de Biotecnología, IIB-UNAM
	Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología, UNAM	-Dept. de Biotecnología, CIIGEBI-UNAM
	Centro de Instrumentos, UNAM	- Dept. de Diseño, CI-UNAM
	Centro de Fijación del Nitrógeno, UNAM	-Unidad de Biotecnología, CEFINI-UNAM
	Universidad Autónoma Metropolitana- Iztapalapa	-Dept. de Biotecnología, UAM-I
	Universidad Autónoma del Estado de México	-Fac. de Química, FQ-UAEM
	Universidad Autónoma de Nuevo León	-Fac. de Ciencias Biológicas, FCB-UANL
Centros y universidades federales y estatales	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Instituto Politécnico Nacional	-Dept. de Ingeniería Bioquímica, DIB-ENCB-IPN -Dept. de Graduados e Investigación, DGI-ENCB-IPN -Dept. de Microbiología, DM-ENCB-IPN
	Centro de Investigación y Estudios Avanzados	-Dept. de Biotecnología y Bioingeniería, DBB-CINVESTAV
	Instituto de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara	-Dept. de Bioingeniería, IMCP-U.Guad.
	Centro de Investigación y Enseñanza en Agricultura y Alimentación, Universidad de Guanajuato	- Centro de Investigación y Enseñanza en Agricultura y Alimentación, CIEAA-U.Guan.
Institutos y tecnológicos regionales	Instituto Tecnológico de Veracruz	-Centro de Graduados, ITV
	Instituto Tecnológico de Mérida	-Centro de Graduados, ITM
	Instituto Tecnológico de Durango	-Centro de Graduados, ITD
	Instituto Tecnológico de Sonora	-Dirección de Investigación, ITSON
Instituciones descentralizadas	Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial	-Dept. de Biotecnología, LANFI
	Instituto Mexicano del Petróleo	-Dept. de Biotecnología y Bioingeniería, IMP
	Instituto Nacional en Recursos Bióticos	-Laboratorio de Micología, INIREB
Instituciones privadas	Centro de Investigación en Química Aplicada	-Unidad de Microbiología, CIQA
	Centro de Investigación y Asistencia Técnica de Jalisco	-CIATEJ
	Instituto Mexicano de Tecnologías Apropriadas	-IMETA

Fuente: Casas (1993) FUENTE original: CONACYT, Ciencia y Desarrollo, núms. 61, 62, 68, 69, 74 y 75, México, 1985-1987; COSNET (1984): La investigación en biotecnología y bioingeniería: Catálogo 1984, SEP, México.

Además de las unidades de investigación que se muestran en la figuras anteriores, Casas (1993) menciona otras instituciones que habían emprendido investigaciones en la década de 1980, pero que no las incluyó en su estudio. La mayor parte corresponden a universidades autónomas estatales, entre ellas se encontraban las universidades autónomas de Yucatán, Nuevo León, Tamaulipas, Sinaloa, San Luis Potosí, Chihuahua; las universidades estatales de Durango, Guadalajara, Veracruz, Sonora; los institutos tecnológicos de Celaya y Tuxtla Gutiérrez; y el Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (institución descentralizada). Las líneas de investigación de estas unidades tenían que ver con procesos de fermentación, melazas para la producción de biomasa, producción de fertilizantes y bioinsecticidas, entre otros usos de residuos agrícolas.

Del estudio que realiza Casas (1993) sobre el desarrollo de la biotecnología en México, se aprecia que la institución donde tuvo mayor desarrollo esta disciplina es la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional. Se puede decir que es donde se “originó” la biotecnología en el país. Asimismo, en el periodo que abarca el estudio de Casas, el CINVESTAV, centro de investigación que se desprende de la ENCB, es el que contaba con un mayor número de personal académico dedicado a la investigación en biotecnología (52), y el que había logrado conjuntar recursos financieros tanto del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Consejo para el Sistema Nacional de Educación Tecnológica (COSNET), y otras fuentes nacionales y extranjeras. Es el único centro que cubría casi la totalidad de las líneas de investigación en biotecnología agroindustrial, y el segundo en recibir el mayor financiamiento por parte del CONACYT entre 1984 y 1987.

### **Líneas de investigación**

La estructuración de las líneas de investigación en biotecnología responden a los intereses de los propios investigadores, prácticamente con nula interacción con el aparato empresarial y productivo del país. Como tal, el desarrollo de la disciplina corresponde a una suma de proyectos, más que a la definición de una política gubernamental o institucional para apoyar su desarrollo. Tanto a nivel de las instituciones como del propio CONACYT, que adquirió mayor presencia hacia los ochentas a pesar de crearse en 1970, el desarrollo de la biotecnología se da por los esfuerzos individuales de investigadores. Como ya se ha mencionado, el estudio de Casas (1993) da cuenta del desarrollo de la biotecnología en dos de las áreas con mayor trascendencia: lo que denomina biotecnología vegetal y biotecnología

agroindustrial. Aunque estas áreas consideran los desarrollos en las áreas de la salud, energía y medio ambiente, tienen relación en forma secundaria.

## **Biotecnología Vegetal**

Las actividades de investigación en biotecnología vegetal son de las que se esperaba que sus aplicaciones potenciales tuvieran el mayor impacto en el mejoramiento de la producción agrícola del país. Se incluyen diversas técnicas para la generación de semillas mejoradas, material vegetativo y en general la mejora de la productividad de las plantas. En el caso de la biotecnología vegetal, ésta abarca cinco secciones o áreas de aplicación: 1) Micropropagación y preservación del germoplasma; 2) Mejoramiento genético; 3) Cultivo industrial de tejidos vegetales; y 4) Estudios básicos. La figura 28 muestra las unidades de investigación que, durante el periodo estudiado por Casas (1993), se habían especializado en cada una de estas secciones. Adicionalmente, Casas dedica un apartado especial al área de Fijación biológica de nitrógeno y menciona que es un área de investigación con gran tradición en México.

La primer sección, micropropagación y propagación clonal, se refiere a las técnicas dirigidas a eliminar las enfermedades de las plantas, así como conservar e intercambiar el germoplasma. Como tal, con dichas técnicas es posible la producción a gran escala, y en forma rápida, de plantas genéticamente idénticas a partir de tejidos, órganos o células de plantas madre.

En el mejoramiento genético, Casas (1993) identifica muchas más técnicas dirigidas a la producción de las especies más atractivas. Entre ellas incluye cultivo de anteras, variación somaclonal, selección in vitro de plantas atractivas a nivel celular con tolerancia a herbicidas, salinidad, cambios de temperaturas, exceso o falta de agua y enfermedades, el rescate de embriones inmaduros, la fusión de protoplastos y las técnicas de ADN recombinante. Casas señala que las técnicas de mejoramiento genético resultaban particularmente importantes para las especies que se reproducen fácilmente a partir de semillas, como las gramíneas y leguminosas (que a su vez constituyen cultivos de alimentos básicos). Asimismo, señala que la aplicación de tales técnicas se vislumbraba tuvieran aplicación a largo plazo, y que no sustituirían a las técnicas de fitomejoramiento, advirtiendo que su éxito dependería de la relación cercana entre tales técnicas de mejoramiento genético, y los métodos tradicionales de mejoramiento.

En el caso del cultivo industrial de tejidos, o biotecnología industrial de plantas, se refiere al cultivo de células vegetales a gran escala, así como a la producción de compuestos a partir de biomasa vegetal. Casas (1993), enfatizaba que estas técnicas de cultivo in vitro podrían remplazar a las técnicas tradicionales de extracción y síntesis química, para la obtención de sustancias de origen vegetal, y que podrían ser muy importantes para la exportación de productos del tercer mundo hacia los países más desarrollados, ya que las técnicas eran especialmente importantes para las especies que resultan altamente comerciales por su relación con la producción de aromas y fragancias, estimulantes, saborizantes y productos farmacéuticos.

En el área de estudios básicos se incluyen aquellas investigaciones relacionadas con los avances futuros en biotecnología, agrupados en áreas tales como la fisiología, bioquímica, microbiología de suelos, genética, biología molecular e ingeniería genética.

En la figura 28 se muestran las unidades de investigación que durante los ochentas estaban empeñadas en las labores de investigación en biotecnología vegetal en México<sup>29</sup>.

---

<sup>29</sup> El nombre completo de estos centros de investigación se pueden ver en la figura 25.

Figura 28. Campos de investigación en biotecnología vegetal				
Unidades de investigación	Micropropagación y conservación de germoplasma	Mejoramiento genético	Biotecnología industrial de plantas	Estudios Básicos
FQ-UNAM			X	X
IB-UNAM	X			
CEFINI-UNAM				X
ENEP-Z-UNAM	X			
FCB-UANL	X			
ESCB-UABC	X			
CG-CPCH	X			X
LE-CF-CPCH	X	X		
LM-CF-CPCH	X			
CB-CPCH				X
DF-UACH	X			
F-INIA-UACH	X	X		
IMM-UAAAN	X	X		
CICTUS	X			
DF-ENCB-IPN	X			X
DB-ENCB-IPN	X			
CIIDIR-IPN	X			
CINVESTAV-DF			X	
CINVESTAV-Ira	X	X	X	X
CAE-Z-INIFAP	X	X		
CAE-GT-INIFAP	X			
CAE-P-INIFAP	X			
CAE-L-INIFAP	X			
PNP-INIFAP	X			
DF-CONAFRUT	X			
ISETA	X			
CIB	X	X		X
CICY	X	X	X	X
CIATEJ		X		
PT-CIMMYT		X		
PM-CIMMYT		X		
INMECAFE	X			
FLOR-CONAFRUT	X			
PRONTIBOS	X			
CUERVO	X			
BIOGEMEX	X			
HIPROMEX	X			

FUENTE: Casas (1993). Datos elaborados por Casas con base en entrevistas personales y cuestionarios enviados a investigadores en biotecnología. Octubre de 1986 a junio de 1987.

En cuanto a la fijación biológica del nitrógeno, se identificaban las técnicas dirigidas a incrementar los nutrientes específicos para las plantas y su crecimiento. En particular, las investigaciones analizaban plantas que presentan asociaciones simbióticas con microorganismos fijadores de nitrógeno, y tenían como propósito utilizar tales asociaciones para introducir las en otras plantas; principalmente era estudiada la asociación entre las

bacterias *Rhizobium* y las plantas *leguminosae*, dado que estas plantas tienen la capacidad específica para fijar el nitrógeno atmosférico en los nódulos de las raíces. Casas enfatizaba la importancia que tenía este campo de investigación para la agricultura, ya que se vislumbraban aplicaciones importantes para los cereales, se prometía lograr que los granos básicos fueran capaces de fijar su propio nitrógeno, mejorando sus nutrientes y crecimiento. Asimismo, se advertía de técnicas de fijación de nitrógeno no simbiótica a través de transferencia de genes; todo ello encaminado a elevar la producción de las cosechas.

Como se ha dicho, Casas menciona que ésta es un área con gran tradición en México y que da pie a la producción y evaluación de inoculantes en el país. Las investigaciones ponen a prueba el uso de microorganismos de fijación del nitrógeno como *Rhizobium*, *Azospirillum* y algas, seleccionando cepas y inoculando los microorganismos en cultivos agrícolas. La lógica del trabajo era entonces el esquema: aumentar la capacidad de fijación del nitrógeno y reducir el uso de fertilizantes químicos. Asimismo, prevalecen dos enfoques en la investigación de esta área: el estudio del fenómeno natural de fijación de nitrógeno (a través de la simbiosis entre *Rhizobium* y las leguminosas), y la búsqueda de cepas nativas de microorganismos para usarlos como fuente biológica; y por otra parte las investigaciones sobre biología molecular. Se tenía en perspectiva que al largo plazo, a través del entendimiento, manipulación y transferencia de genes fijadores de nitrógeno, sería posible desarrollar cultivos (principalmente cereales) capaces de fijar su propio nitrógeno.

Figura 29. Instituciones dedicadas a investigación de fijación de nitrógeno.
<b>A. Instituciones</b>
Colegio de Posgraduados de Chapingo. CPCH Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados. CINVESTAV-DF Centro de Investigaciones y Estudios Avanzados. CINVESTAV-Irapuato Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. ENCB-IPN Facultad de Química-UNAM Facultad de Biología-UNAM Instituto de Geología-UNAM Centro para la Fijación del Nitrógeno. CEFINI-UNAM Escuela Nacional de Estudios Profesionales. ENEP-UNAM Instituto Tecnológico de Durango Instituto Tecnológico de Veracruz Instituto de Agricultura Tropical Colegio Agropecuario de Guerrero Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas, Forestales y Pecuarias. INIFAP Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares Instituto Tecnológico de Monterrey Instituto Tecnológico Agrícola Pecuario de Morelos Instituto Nacional de Investigaciones en Recursos Bióticos. INIREB Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos Universidad Autónoma de Chapingo Universidad Nacional Autónoma de México. UNAM-Iztapalapa Universidad Autónoma Metropolitana. UAM-Xochimilco Universidad Autónoma de Guerrero Universidad Autónoma Agrícola Antonio Narro. UAAAN Universidad Autónoma de Nuevo León Universidad Autónoma de Puebla Universidad Autónoma de Sinaloa Universidad Autónoma de Tamaulipas
<b>B. Principales líneas de investigación</b>
Estudios de plásmidos Producción de inoculantes Evaluación de inoculantes Ecología de leguminosas Ecología de Rhizobium Ecología y genética de Azospirillum Aspectos ecológicos y aplicativos de Azospirillum Ingeniería genética y biología molecular de Rhizobium Control genético de fijación biológica de nitrógeno Identificación de microorganismos anaerobios fijadores de nitrógeno Interacción Rhizobium-micorrizas Cianobacterias capaces de fijar nitrógeno
Fuente: Casas (1993). Datos elaborados por Casas a partir de: Ferrara-Cerrato, R. (1985), Estado actual de la investigación sobre fijación biológica de nitrógeno. II Reunión Latinoamericana sobre Rhizobium, Campinas, Brasil.

Como se puede ver en la figura 28, las áreas de micropropagación y preservación del germoplasma, junto con el estudio sobre la fijación del nitrógeno, son de las que se ocupaban la mayor parte de centros de investigación dedicados a la biología vegetal. En el estudio de mejoramiento genético, Casas refiere que sólo era investigado en el CINVESTAV-Irapuato, el CAE-Z-INIFAP, el CIMMYT y la UAAAN; sin embargo no en todas estas instituciones se seguían los mismos enfoques. El único centro en el que se estudiaba el mejoramiento



genético, ligado íntimamente con la biología molecular, era en el CINVESTAV-Irapuato. Igualmente, menciona que hasta 1987 este centro y el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología de Cuba, eran las únicas instituciones donde se investigaba sobre ingeniería genética en América Latina. Mientras que en las instituciones restantes se trabajaba con técnicas tradicionales de mejoramiento.

## **Biotecnología Agroindustrial**

Como se ha mencionado, para Casas (1993) la biotecnología agroindustrial se refiere a aquellas investigaciones que tienen como propósito aprovechar los subproductos agroindustriales, utilizando técnicas biotecnológicas y generando productos que tengan usos en los sectores de la agricultura, la ganadería y la alimentación. Se incluyen entonces la producción de alimento para ganado, biofertilizantes, bioinsecticidas, aditivos, aminoácidos, enzimas, entre otros; a través de las técnicas de fermentación de enzimas, la bioingeniería y el mejoramiento genético de microorganismos.

Casas enfatizaba la importancia de las técnicas de ADN recombinante para el desarrollo de la “nueva” biotecnología. Sin duda, como hemos visto en el apartado anterior, los descubrimientos relacionados con tales técnicas dieron cabida al desarrollo de la ingeniería genética. Se trata del área que más identifica la opinión pública cuando se habla de biotecnología. Sin duda, es el área de la biotecnología de la que más se discute en las revistas dedicadas a la divulgación científica amplia. En la información que hemos presentado proveniente de Reuters, una de las áreas de la biotecnología con el mayor número de patentes continúa siendo la de cultivos modificados genéticamente. Sin embargo, Casas también nos recordaba que la evolución de las técnicas de fermentación y aquellas relacionadas con el tratamiento de las enzimas, han dado lugar al desarrollo de “nuevas biotecnologías”. Como veremos, las técnicas de fermentación eran de gran interés para la mayor parte de los centros de investigación en biotecnología del país, y sobre la que reportaban avances muy significativos pues se referían como la base para el tratamiento de materiales de desecho. Mientras que el caso de las enzimas la preocupación de las investigaciones se centraban en el aislamiento, inmovilización y estabilización de las mismas.

Como todos sabemos, las técnicas de fermentación se han creado a partir del estudio del crecimiento y reproducción de microorganismos en condiciones predeterminadas. Así, primeramente se crearon técnicas que manipulan tales condiciones como la ausencia de oxígeno, que a su vez son la base de los procesos de fermentación anaeróbica. Posteriormente,

tuvieron cabida las técnicas aeróbicas, basadas en el desarrollo de microorganismos en sustratos de biomasa, las cuales utilizan procesos de oxidación controlada para que tales microorganismos obtengan energía. De igual forma, los perfeccionamientos en las técnicas de fermentaciones, sobre todo con el uso de birreactores, posibilitaron la sustitución de procesos químicos por procesos microbiológicos; por ejemplo, en la producción de proteínas. Casas (1993) reconoce que ello fue posible gracias a los avances que tuvo la fermentación continua; en la cual se procura el crecimiento estable del microorganismo manteniendo el estado dinámico de la fermentación.

Por otra parte, los investigadores hacen una diferencia entre fermentación sumergida cuando el sustrato que es utilizado tiene un alto porcentaje de humedad, y fermentación sólida cuando se elimina el agua del sustrato, y la fermentación sucede con un porcentaje de humedad entre 50% y 60%. En la producción de forrajes la fermentación en estado sólido es la más común. Mientras que la fermentación sumergida en lo general es utilizada para procesos a gran escala (Casas, 1993).

En el campo de las enzimas, Casas (1993) señala el aumento que había sucedido durante los 70s y 80s en el número de enzimas producidas a través de técnicas microbianas, utilizadas en la industrias farmacéutica y de alimentos. Entre ellas, las proteasas, glucamilasas, alfa amilasas, isomerasas glucosadas producidas a gran escala. Asimismo, comenzaba a ser utilizada la enzima B-galactosidasa (lactasa), para producir leche libre de lactosa. Las enzimas resultaron productos con gran interés comercial, y las investigaciones siempre han estado dirigidas a lograr su estabilidad e inmovilización. Así, las técnicas desarrolladas en la época pretendían inmovilizar las enzimas instalando rectores y fijándola en soportes. Se sugería que las aplicaciones potenciales de las enzimas inmovilizadas serían aún más atractivas en el campo de la medicina, pues se exploraba su uso en diagnósticos, detección de tóxicos y otras sustancias presentes en el agua y los alimentos.

Casas (1993) utiliza el término bioingeniería para identificar aquellas investigaciones dirigidas a elaborar equipos utilizados en procesos biotecnológicos. Aquí no se trata del uso del término ampliamente conocido, que se refiere a la edición, modificación o mejoramiento genético; se trata del diseño o adaptación de equipo para llevar a cabo técnicas de biotecnología particularmente para uso industrial y optimizar procesos que han tenido origen en el laboratorio. Así, se incluyen equipos para la fermentación, separación y aislamiento de productos, secado, así como la recuperación y purificación de materiales. Es un área muy relevante si se tiene en consideración, por ejemplo, la separación de proteínas en grandes volúmenes. En general, es un área dedicada a procurar la economía y eficiencia en el manejo

de grandes volúmenes de material para su aprovechamiento, concentración y recuperación continua.

En relación al mejoramiento genético, Casas (1993) menciona como principales técnicas utilizadas en la época: mutagénesis, fusión de protoplastos y ADN recombinante. La primera se dirigía principalmente al manejo de las problemáticas de las mutaciones espontáneas de cepas. La segunda a la combinación de membranas de células vegetales, aprovechando las posibilidades de recombinación natural. Mientras que la tercera estaba dirigida a garantizar la transmisión de genes naturales, o bien la creación de nuevos. En el campo industrial se pretendía, a través de las técnicas de mejoramiento genético, la eficiencia en procesos como la producción de antibióticos y aminoácidos; así como de bacterias, levaduras y hongos.

En la figura 30 se muestran las unidades de investigación que durante los ochentas estaban empeñadas en las labores de investigación en biotecnología agroindustrial en México<sup>30</sup>.

---

<sup>30</sup> El nombre completo de estos centros de investigación se pueden ver en la figura 26.

Figura 30. Campos de investigación en biotecnología agroindustrial								
Unidades de Investigación	Fermentaciones			Tecnología enzimática		Bioingeniería	Mejoramiento genético	
	Sumergida	Sólida	Anaerobia	Producción y separación	Inmovilización		Mutagénesis	ADN-r
FQ-UNAM	X	X	X				X	
IIB-UNAM	X			X			X	
CIIGEBI-UNAM	X			X		X		X
CI-UNAM	X			X		X		
CEFINI-UNAM		X	X					X
UAM-Iz	X	X		X		X		
FQ-UAEM								
FCB-UANL								
DIB-ENCB-IPN	X							
DGI-ENCB-IPN	X			X				
DM-ENCB-IPN	X	X	X	X	X	X	X	X
DBB-CINVESTAV		X				X		
IMCP-U.Guad.								
CIEAA-U.Guan.								
ITM	X	X		X		X		
ITV	X			X		X		
ITD	X					X		
ITS	X	X				X		
LANFI	X					X		
IMP	X					X		
INIREB	X					X	X	
CIQA	X							
CIATEJ	X			X				
IMETA		X				X		

FUENTE: Casas (1993). Datos elaborados por Casas con base en entrevistas personales y cuestionarios enviados a biotecnólogos. Octubre de 1986 a junio de 1987.

La figura 30 muestra que la mayor parte de las unidades de investigación se ocupaban de investigaciones relacionadas con la fermentación sumergida, la producción y separación de enzimas, así como al diseño y la adaptación de equipos para uso biotecnológico (bioingeniería). Como se ha visto también en el caso de la biotecnología vegetal, el área de modificación y mejoramiento genético era estudiada por muy pocos centros de investigación biotecnológica en el país. También debe destacarse que la mayor parte de los centros de investigación dedicadas a estas actividades son entidades públicas, se encuentran en la ciudad de México y pertenecen a la UNAM y el IPN; lo cual es reflejo de la centralización que aún prevalece en el país.

## Recursos Humanos

La descripción de Casas (1993), sobre la dinámica de la investigación en biotecnología en México durante los ochentas, indica que se llevaba a cabo en pequeños grupos, generalmente con un profesor líder (no en todos los casos con estudios de doctorado), investigadores asociados, auxiliares, técnicos y estudiantes que realizaban generalmente los estudios experimentales. Sólo en casos excepcionales se trataba de grupos con varios investigadores con nivel de doctorado y colaboradores. En la mayor parte de estos grupos de investigación existía el problema de que el grupo de apoyo no contaba con contrato con la universidad, o centro de investigación en cuestión, lo que limitaba el desarrollo de su trabajo, ya que debían combinar su labor de investigación al mismo tiempo que seguían estudios de posgrado. Además de que, en general, todos los miembros del grupo tenían una fuerte carga de trabajo en la docencia. La forma en la que un miembro del equipo lograba mejores condiciones laborales, y avanzar en la carrera de la investigación, era estudiando su posgrado en el extranjero. Así, Casas (1993) señala que en los casos del CINVESTAV, de la UNAM y la UAM, varios profesores que trabajaban en biotecnología estudiaron doctorado y postdoctorado en el extranjero, para después reincorporarse a sus centros de investigación.

Por otro lado, debe señalarse que la comunidad científica de México se ha estructurado con la base de la Universidad Nacional Autónoma de México y el Instituto Politécnico Nacional. Con la creación del CONACYT en 1970, se intensifica la formación de recursos humanos en ciencia y tecnología en el país, pues su prioridad es justo este rubro. De igual forma lo es el fortalecimiento de la infraestructura para la investigación científica en el país, y el apoyo a la investigación básica (CONACYT, 2012). Es posible que, posterior a los ochentas, la tendencia que se siguió a nivel nacional es la que se vio en universidades estatales como la BUAP, donde los profesores estudiaron en las instituciones de la Ciudad de México y posteriormente en el extranjero.<sup>31</sup>

Casas ofrece información sobre los grupos de investigación en biotecnología, diferenciando entre aquellos dedicados a la biotecnología vegetal y biotecnología agroindustrial. En el caso de la primera área identifica a 163 investigadores, entre titulares, ayudantes y técnicos, distribuidos en 38 unidades de investigación en el país. Como se mencionaba, algunos de estos centros de investigación contaban sólo con un investigador,

---

<sup>31</sup> Si se observan los grupos de investigación por áreas del conocimiento no se cumple la regla general observada a nivel nacional. Es decir, el universo de profesores que hemos seleccionado para hacer el presente estudio, la mayor parte estudiaron licenciatura en la propia BUAP, y después posgrados en la UNAM, IPN y COLPOS, sólo algunos estudiaron posgrado en el extranjero.

mientras que muy pocos agrupaban a varios investigadores. Los centros que contaban con los grupos más grandes de investigadores eran el CINVESTAV-Irapuato, la Facultad de Química de la UNAM, el Centro de Genética del Colegio de Posgraduados de Chapingo, y el Centro de Investigaciones Científicas de Yucatán. Estos cuatro centros agrupaban a más del 50% del total de investigadores dedicados a la biotecnología vegetal. Los centros no siempre contaban con personal capacitado con estudios de doctorado que dirigiera las investigaciones, el porcentaje de doctores era del 31 por ciento.

Es importante recordar que el doctorado en México se ha estructurado y sigue dinámicas diferentes a las de países con mayor desarrollo, aunque las estadísticas puedan estar cambiando. En la época de los ochentas prevalecía la tendencia general de estudiar el doctorado a edades avanzadas, después de haber realizado actividades de docencia e investigación, aunque fueran breves; a diferencia de países con mayor desarrollo, donde se suele estudiar el doctorado a edades tempranas y sin experiencia de investigación previa, más allá de los estudios de licenciatura o maestría.

De esta forma, los grupos de investigación se conformaban en una buena parte de técnicos de investigación (52 de los 163 investigadores), mientras el resto del grupo contaba con estudios de licenciatura (35) y maestría (25); además de quienes contaban con doctorado (51). Ya se mencionaba que gran parte de estos investigadores no estaban dedicados exclusivamente a la investigación en biotecnología, en general debían combinar tal actividad con una carga fuerte de docencia. Además de ello, es importante recalcar que la mayor parte de los técnicos no contaba con una contratación satisfactoria con las universidades, por lo que los proyectos de investigación se apoyaban fuertemente en el trabajo experimental de quienes realizaban tesis de licenciatura y posgrado como parte del propio proyecto.

Casas destaca que en el CINVESTAV-Irapuato se concentraba la mayor parte de investigadores de esta área en el país, y el número más alto de doctores. Menciona que, tan sólo en lo que se refiere a ingeniería genética, trabajaban 11 investigadores. La concentración no era casual, el CINVESTAV había seguido una política deliberada para formar a profesores durante los ochentas. De manera que se otorgaron por parte del CONSET diez becas para estudios de doctorado, a través de las que los beneficiarios estudiaron doctorado en Max Planck Institute en Cambridge, Estados Unidos. La intención de la política del CIVNESTAV era contar con 25 investigadores dedicados a ingeniería genética a inicios de los noventas.

En el caso de la biotecnología agroindustrial, Casas (1993) identifica a 172 investigadores distribuidos en 24 centros de investigación. Como en el caso de la biotecnología vegetal, se trata de pequeños grupos con investigador principal y auxiliares.

Aquí la distribución de los grados académicos es la siguiente: 21 investigadores con grado de doctor, 57 con maestría, 47 con licenciatura, 39 ayudantes, y 8 técnicos. El porcentaje de doctores en esta área resultaba menor, tan sólo el 12 por ciento. Mientras que los auxiliares y estudiantes de licenciatura representaba el número más amplio (55 por ciento). Al igual que en el caso de la biotecnología vegetal, los proyectos se apoyaban fuertemente en los estudiantes que realizaban tesis de licenciatura y maestría, pero no contaban con contrato por parte de la universidad. También es necesario recordar que Casas señala que, en la mitad de los centros de investigación, no se contaba con un investigador con grado de doctor para dirigir las investigaciones. Asimismo, se hacía referencia que los grupos de investigación eran bastante jóvenes en la época, sobretodo en los equipos de investigación que constan de un solo investigador; éste permitía que el trabajo experimental fuera realizado por un auxiliar que realizaba su tesis de licenciatura. Esto resultaba más por necesidad que por gusto, pues la disponibilidad de fondos para contratación de personal y equipamiento eran mucho menores que en las épocas posteriores.

El personal al que nos referimos no se dedicaba exclusivamente a estudiar biotecnología agroindustrial, sino que en general se tenía un departamento dedicado a biotecnología como parte de los programas de química, microbiología, ciencias biológicas y ciencias alimentarias.

## **Financiamiento**

Casas también ofrece información sobre el financiamiento para las actividades de investigación de estos grupos, aunque advierte la dificultad para documentarla. Por una parte, la disponibilidad de los centros para proporcionar tal información no era la mejor, y por otra era complicado separar el financiamiento, exclusivamente para biotecnología, del total designado a actividades de investigación por parte de las entidades gubernamentales. Así, las fuentes internas de los centros estaban dirigidas principalmente a cubrir el salario de los investigadores contratados; mientras que las fuentes externas eran las que posibilitaban reunir recursos para desarrollar las investigaciones, principalmente con la compra de equipos y materiales. Sólo en pocos casos, los centros de investigación dependientes de la UNAM y el IPN, habían realizado contratos con empresas para desarrollar investigación. Tales empresas, como ahora, estaban interesadas en resultados concretos a corto plazo, sin embargo, los entrevistados por Casas referían que este financiamiento les había permitido adquirir equipo y material, apoyando investigación básica posteriormente.

Las dos dependencias gubernamentales que mayormente aportaban financiamiento a los centros eran el CONACYT y el COSNET. El primero es el órgano desconcentrado del gobierno mexicano, encargado de dirigir la política de ciencia y tecnología en el país. Mientras que la segunda es la dependencia gubernamental, dependiente de la Secretaría de Educación, que financiaba exclusivamente al Sistema Nacional de Educación Tecnológica (Institutos Tecnológicos) y al Politécnico Nacional. También se menciona la existencia de algunos programas especiales y fuentes completarias, como la Dirección de Graduados e Investigación que aportaba financiamiento adicional al IPN; el Programa México, creado por la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI); fundaciones como el Fondo Ricardo J. Zevada; así como fuentes internacionales, como el Ministerio de Investigación y Tecnología de la República Federal Alemana; la Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI); la Oficina de Investigación Científica y Tecnológica de Ultramar (ORSTOM<sup>32</sup>); la Organización de Estados Americanos (OEA); la Organización Mundial de la Salud (OMS); y la *National Science Foundation* (NSF) de Estados Unidos. La mayor parte de estas organizaciones internacionales dirigían recursos financieros especialmente para la UNAM y la UAM-I, para investigaciones que corresponden a la biotecnología agroindustrial en la clasificación de Casas (1993); mientras en el caso de la biotecnología vegetal, Casas menciona también recursos provenientes de la Academia Nacional de Ciencias de Estados Unidos y la Comunidad Económica Europea. En tal caso, Casas señala al CINVESTAV-Irapuato como el centro que logró atraer la mayor parte de financiamiento de fuentes diversas: fondos de la fundación Ricardo Zevada, COSNET, programa México, Academia Nacional de Ciencias, OEA, UNESCO y la Fundación Rockefeller. De igual forma en el caso de la biotecnología agroindustrial, los centros que habían logrado combinar el mayor número de fuentes de financiamiento eran: Departamento de Alimentos (Facultad de Química-UNAM); Departamento de Biotecnología (Centro de Investigaciones en Ingeniería Genética y Biotecnología-UNAM); Departamento de Biotecnología (UAM-Iztapalapa); Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (CINVESTAV-DF); Facultad de Ciencias Biológicas (Universidad Autónoma de Nuevo León); Instituto Tecnológico de Durango y el Instituto Nacional en Recursos Bióticos.

En general, los centros de investigación no contaban con presupuestos detallados para analizar la distribución de los fondos por proyectos de investigación, y aplicación de los recursos. Sin embargo, con la información documentada por Casas (1993) es posible resumir

---

<sup>32</sup> Organización francesa dedicada a promover investigación en el exterior.



los montos destinados por el CONACYT a todos los centros de investigación. Lo destinado por el CONACYT, al final, es la fuente más importante de financiamiento a la investigación científica en el país. Sin embargo, se debe recordar que los ochentas fue una época de gran depresión económica en México, que llevó a una crisis profunda hacia 1986. Con ello, lo destinado a investigación científico-tecnológica tuvo más disminución que incremento.

Figura 31. Financiamiento proveniente de CONACYT en el periodo 1984-1987 miles de pesos (1982=100)

	1984	1985	1986	1987
38 Unidades de investigación en biotecnología vegetal	27,815	81,091	29,932	12,256
24 Unidades de investigación en biotecnología agroindustrial	43,261	52,261	17,058	7,000
Total	71,076	133,352	46,990	19,256

Fuente: Datos elaborados por Casas (1993). Datos clasificados con base a entrevistas personales, estadísticas del CONACYT de apoyo a la ciencia y la tecnología, *Ciencia y Desarrollo*, núms. 61, 62, 68, 69, 74, 75, 79 y 81, CONACYT, México.

Esto no quiere decir que el CONACYT haya aportado financiamiento a todas las unidades de investigación estudiadas por Casas (1993). En la información de Casas, 24 de las 38 unidades de investigación dedicadas a biotecnología vegetal, no recibieron recursos en este periodo; mientras que 9 de las 24 dedicadas a biotecnología agroindustrial tampoco recibieron recursos.

Esto refleja la gran concentración de recursos humanos y financieros que se dio en las instituciones de la ciudad de México. Hasta finales de los ochentas, que corresponde al estudio de Casas, el panorama general de la investigación en biotecnología se llevaba a cabo como había iniciado; las protagonistas principales eran las universidades en las que se habían establecido los centros de investigación durante los setentas. La expansión y crecimiento de la investigación en biotecnología hacia los demás estados de la república sucedió durante los noventas, de igual forma que la expansión de la educación superior en país.

## Políticas

Como tal, durante los ochentas no existía una política nacional específica para el desarrollo de la biotecnología, aunque Casas (1993) menciona que durante el sexenio presidencial de 1982-1988, se habían realizado varios esfuerzos por elaborar un programa dirigido a ello. Sin embargo, varios organismos gubernamentales habían apoyado esta disciplina a través de programas de financiamiento a la ciencia y la tecnología, en las que se

incluía de forma secundaria a la biotecnología. Se trata, según Casas, de una política desintegrada y poco efectiva para apoyar el desarrollo de tal disciplina. A continuación se muestran los principales programas, dependencias y propósitos de política que se vislumbraban durante los ochentas. Como se podrá corroborar, son elementos que se encaminaban hacia una política biotecnológica.

Figura 32. Principales programas, dependencias y propósitos de política relacionados con biotecnología durante los ochentas.				
Año	Organismo promotor	Programa	Propósito de política relacionados con la biotecnología	Monto aportado a biotecnología
1988	Secretaría de Programación y Presupuesto (SPP), Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)	Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y Científico (PRONDETYC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Líneas de investigación prioritarias: aprovechamiento de esquilmos agrícolas y residuos forestales para alimentación animal; realización de estudios para la biodegradación de residuos lignocelulósicos; desarrollo de biotecnologías tales como ingeniería genética, cultivo de tejidos e ingeniería enzimática; apoyo a la bioingeniería; producción de proteína de origen unicelular y aprovechamiento de caña de azúcar y subproductos.</li> </ul>	91 millones de pesos (1985). Se otorgaron a través del Programa Indicativo de Desarrollo Tecnológico de la Agroindustria (PIDTA) del CONACYT, para el desarrollo de 16 proyectos en las áreas: aprovechamiento de esquilmos agrícolas, aprovechamiento integral de la yuca y proteína unicelular para consumo humano.
1982	Consejo para el Sistema Nacional de Educación Tecnológica (COSNET)- Secretaría de Educación Pública	Programa de apoyo a la investigación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Áreas prioritarias: alimentos, ingeniería genética de plantas y fermentaciones.</li> </ul>	778 millones de pesos para proyectos y formación de recursos humanos (otorgados en 1982-1986, lo que significó el 23% del presupuesto para investigación del COSNET). El apoyo para biotecnología se concentró en el CINVESTAV-DF y CINVESTAV-Irapuato.
1984	Secretaría de Comercio y Fomento Industrial (SECOFI)	Programa México (fondo para apoyo a la investigación en el país operado por la Dirección General de Transferencia de Tecnología de la Secretaría)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A través del Programa México la SECOFI solicitaba a empresas transnacionales la canalización de apoyos económicos, para el desarrollo y formación de recursos tecnológicos en el país; y actuaba como intermediario entre empresas y centros de investigación.</li> <li>• La SECOFI tuvo gran participación en las modificaciones legislativas sobre el patentamiento de materiales biotecnológicos. Ésta coordinó la discusión sobre la nueva ley de invenciones y marcas aprobada en 1987, y reformada nuevamente en junio de 1991. Las empresas transnacionales ejercían gran presión, pues ponían como condición para invertir en el país contar con un cuerpo jurídico, que les permitiera patentar cualquier proceso tecnológico. Las modificaciones de 1991 se realizaron repentinamente y determinaron la posibilidad de patentar todo proceso biotecnológico, incluidas las variedades vegetales, exceptuándose exclusivamente las especies animales.</li> </ul>	Hasta 1987 los apoyos se habían concentrado en el CIIGEBI-UNAM y el CINVESTAV.

1985	Secretaría de Energía, Minas e Industria Paraestatal (SEMIP)	Programa de Reconversión de la Industria Azucarera	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se planteó un cambio estructural de la industria azucarera a través de técnicas mejoradas de cultivo y uso de variedades con diversas características agroindustriales y fitosanitarias, utilización de productos de la industria azucarera para el desarrollo de nuevos productos: alimento para ganado, abonos orgánicos, ácido oxálico, azúcar líquida, proteína unicelular aglomerados y celulosa. Se planteaba que para la generación de estos productos, era necesaria la introducción de la biotecnología.</li> <li>• A pesar de los planteamientos el documento carecía de estrategias, y mantuvo gran ambigüedad respecto a procesos y productos biotecnológicos prioritarios para la reconversión de la industria azucarera.</li> </ul>	ND
1980s	Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos (SARH)	Sin programa explícito de apoyo a la biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El INIA se había establecido hacia los sesentas como parte de esta secretaría, transformándose durante los ochentas en el INIFAP. Aunque ésta es la entidad gubernamental responsable de las actividades relacionadas con la biotecnología agrícola y agroindustrial en el país, Casas menciona que hasta finales de los ochentas, en el INIFAP no se desarrollaba investigación en este campo.</li> <li>• A pesar de que de que funcionarios de la Secretaría mostraron interés por la biotecnología a finales de los ochentas, y que un grupo de tal dependencia había realizado un estudio sobre el estado del arte de la biotecnología en el país, hasta finales de los mismos ochentas no se contaba con ningún planteamiento de política en este rubro; además de que la investigación llevada a cabo en materia agrícola, se enfocaba a las técnicas tradicionales de fitomejoramiento.</li> </ul>	ND
1986		Programa Estatal de Desarrollo Industrial del Estado de Jalisco	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se incorpora porque contenía un subprograma estatal para la biotecnología. Se señala el propósito de avanzar hacia una “biosociedad”, entendiéndola como las formas de organización social que utilizaran la amplia gama de posibilidades que ofrecía la biotecnología.</li> <li>• Contenía aspectos prospectivos, no sólo sobre la investigación sino a mercados potenciales, financiamientos requeridos, así como las características que debían tener las empresas biotecnológicas.</li> </ul>	ND

1980s	Organizaciones Internacionales	Programa Regional de Biotecnología para América Latina y el Caribe (ONUDI-PNUD-UNESCO)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tenía como objetivo lograr un impacto socioeconómico relevante con el desarrollo de la biotecnología, para generar productos, procesos y servicios en forma conjunta entre los países de la región.</li> <li>• Se establecieron diversos centros de investigación microbiológica, financiando las siguientes áreas: micropropagación e ingeniería genética de plantas, enzimas y sistemas de diagnóstico.</li> </ul>	5 millones de dólares (1987) para un periodo de cinco años.
		Programa de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED-D)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proyecto de colaboración entre países iberoamericanos, con fondos iniciales provenientes de España.</li> <li>• Se plantea la cooperación para la investigaciones orientadas a la producción de enzimas, iniciadores de fermentación láctica, formación de un banco de germoplasma, ingeniería genética de virus vegetales, cultivo de células, protoplastos, meristemas, tejidos, fijación biológica del nitrógeno, biomasa acuática, biotecnología aplicada al mejoramiento de especies vegetales.</li> </ul>	ND
		Comunidad Económica Europea	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa de cooperación biotecnológica con América Latina, propiciado por la preocupación relativa al atraso de los países de la CEE en el campo biotecnológico y por la lucha internacional de los mercados.</li> <li>• Hacia 1988, países de la CEE terminaban la puesta en marcha del Segundo Plan de Biotecnología, e iniciaban gestiones para echar a andar un tercer plan para América Latina.</li> <li>• Con respecto a México, en 1987 se definió un convenio en el que participaría el CONACYT y la Secretaría de Relaciones Exteriores.</li> </ul>	ND
		Programa Regional de Biotecnología de la OEA	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hacia 1988 el programa tenía como objetivos: la formación de cuadros interdisciplinarios para hacer realidad los programas nacionales de biotecnología de la región; establecimiento de redes de comunicación, que permitan el contacto fluido y frecuente a nivel regional e internacional, y fabricación de insumos y de instrumentos básicos para la investigación biotecnológica.</li> <li>• Se proponía un conjunto de proyectos con la participación de México en el área de utilización de residuos lignocelulósicos; área en las que existían capacidades importantes de investigación en el país.</li> </ul>	ND

Fuente: Casas (1993).

Lo que se ha presentado hasta el momento corresponde al periodo de los ochentas. Sin embargo, el inicio de los noventas es importante en el país porque es cuando sucede la firma del Tratado de Libre Comercio entre México, Estados Unidos y Canadá, que tuvo repercusiones importantes para gran parte de las políticas económicas nacionales. Lo que Casas dice es que, en el Plan Nacional de Desarrollo de ese gobierno, no estaba incluida la biotecnología; se toma en cuenta la importancia de la ciencia y la tecnología en general, pues se crea el Programa de Ciencia y Modernización Tecnológica, aunque ahí no se incluye de manera explícita a la biotecnología, ni tampoco existen propuestas específicas de política respecto de las áreas, o problemas socioeconómicos, que debe encarar el desarrollo científico-tecnológico. Para Casas, esto significa un cambio radical en las políticas que se habían seguido en cuanto a ciencia y tecnología en el país hasta entonces. No solo se omite a la biotecnología en los planteamientos políticos, sino que surge otro fenómeno importante en cuanto al origen del financiamiento para la ciencia y la tecnología en el país. Mediante créditos al CONACYT, el Banco Mundial otorga el financiamiento con el que se estructura el Programa de Apoyo a la Ciencia y la Tecnología (PACIME), la creación del Centro Nacional de Metrología, y el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial. El Banco Mundial otorgó créditos por 300 millones de dólares por un lapso de tres años; tanto así que 1992 fue considerado el “año de la modernización tecnológica”.

De acuerdo con Casas, uno de los programas que logró mayor consolidación, emanado de la modernización tecnológica, fue la creación de incubadoras de empresas con base tecnológica, instaladas en Ensenada y Querétaro; asimismo el CONACYT anunciaba la creación de seis más. Es el primer antecedente de la creación de incubadoras de este tipo en el país.

Con la información recabada por Casas, se podía determinar que el primer objetivo de política de la época era la formación de recursos humanos, no sólo en biotecnología sino en todas las áreas científico-tecnológicas. Aunque no se contaba con información de dónde se estaban formando. El financiamiento dirigido a este renglón se distinguía claramente superior. Además de que los funcionarios del CONACYT declaraban públicamente que, dado lo pequeño de la comunidad científica nacional, era imprescindible formar recursos humanos en todas las áreas.

Así, la modernización tecnológica se presenta como un cambio importante en las políticas sobre ciencia y tecnología. El financiamiento para el desarrollo de la ciencia en México aumenta de manera considerable entre 1991 y 1992, teniendo como prioridad el

otorgamiento de becas de posgrados en todas las áreas de la ciencia<sup>33</sup>. Sin embargo, prevalecen indefiniciones importantes sobre los campos y sectores de competencia en el país. De acuerdo a Casas, no se conoce el grado de competitividad de empresas, ni tampoco los objetivos económicos que se obtendrían de la modernización tecnológica.

Específicamente en materia de biotecnología, el financiamiento otorgado por el PACIME para proyectos de investigación representó el 17.2% en 1991, y el 12.2% en 1992 del total otorgado por el programa; mientras que para fortalecimiento de la infraestructura se otorgó el 17 y 6 por ciento en cada año, destacando que 23 proyectos beneficiaron al CINVESTAV (DF e Irapuato), 22 a la UNAM, y los demás se habían distribuido en 24 instituciones, incluyendo a 19 del interior del país. Con los datos recabados por Casas (1993), también era posible deducir que en la práctica sí existía una política que estaba dando prioridad al desarrollo de proyectos de investigación, relacionados con ingeniería genética y biología molecular, los cuales en gran medida se trataban de investigaciones del tipo de ciencia básica. Aunque es difícil considerarla como política, ya que los datos no permiten ver continuidad durante el financiamiento otorgado durante toda la década de los noventa, lo cierto es que sí existían “prácticas de política”, que daban preferencia a ciertas instituciones y áreas, así como al financiamiento de proyectos de investigación de calidad y no aquellos que requerían financiamiento para justamente elevarla.

Finalmente, Casas (1993) menciona que no se contaba con información suficiente sobre las características de las transferencias tecnológicas a las empresas y sus resultados; en tal sentido, era complicado determinar las repercusiones de la política de desarrollo tecnológico sobre la biotecnología. A pesar de ello, reconocía una tendencia creciente del establecimiento de vínculos entre centros e institutos de investigación con empresas, siguiendo diversos propósitos: desde el apoyo para la formación de recursos humanos, estancias en la industria, financiamiento a investigaciones y demandas específicas para la solución de problemas tecnológicos.

Ya podía destacarse que los centros con mayor nivel científico-tecnológico eran los que establecían los convenios que representaban ingresos importantes, para complementar el financiamiento a sus investigaciones. Para Casas, la apertura comercial que experimentó México en tal época, también trajo repercusiones para que centros e institutos de investigación establecieran colaboración con empresas extranjeras y transnacionales. No

---

<sup>33</sup> Es muy probable que este suceso haya contribuido de forma determinante a desencadenar el crecimiento de la comunidad científica en el país; y sea el primer antecedente de la expansión del posgrado nacional en años posteriores. Al mismo tiempo, es un antecedente interesante a la firma del tratado de libre comercio entre México, Estados Unidos y Canadá.

resultó poca cosa, pues también existió la apertura de laboratorios extranjeros dentro de centros e institutos. Aunque fueran experiencias incipientes en México, de alguna forma se popularizó la idea entre los biotecnólogos de que un centro de investigación realmente de excelencia era aquél que tenía colaboraciones con empresas transnacionales.

De esta forma Casas (1993), describe un panorama de política que se caracteriza por su amplia heterogeneidad para apoyar la biotecnología. La experiencia durante los ochentas y principios de los noventas no era positiva, a pesar de que se había fortalecido la formación de recursos humanos y algunos grupos de investigación, pero la coordinación de programas sólidos, para canalizar procesos ya desarrollados a aplicaciones industriales, era el mayor reto de la política de ciencia y tecnología en el país.

La descripción de Casas también hace énfasis en la lucha por el control, y la monopolización de apoyos y financiamientos para la biotecnología; un terreno de luchas políticas entre grupos científicos y funcionarios, para definir las áreas que debían ser promovidas y las instituciones beneficiadas. En sí, para Casas se trata de mecanismos de política dispersos en varias entidades gubernamentales y con diversas formas de aplicación. Las gestiones para los apoyos a la investigación resultaban poco conocidas para quienes no pertenecieran al pequeño grupo de instituciones y personas, que monopolizaba el financiamiento. El acceso a la información se daba por un canal muy cerrado de contactos personales, limitando la participación de las instituciones en todo el país.

De igual forma, Casas (1993) recalca la importancia de la formulación de una política biotecnológica, que considerara los mecanismos de vinculación entre los centros de investigación y el sector productivo, ya que debían aprovecharse los apoyos provenientes de diferentes organizaciones internacionales para el establecimiento de empresas biotecnológicas.

Casas (1993) advertía que si México pretendía avanzar en la biotecnología, visto que se consideraba un área de investigación de punta, era indispensable emplear los espacios y mecanismos de política que ya existían. Pero era necesario diseñar las estrategias de vinculación con los países de la región latinoamericana, así como una estrategia preventiva ante los desarrollos tecnológicos internacionales, que ya tenían efecto en la agricultura y el medio ambiente.



## Consideraciones finales sobre el estudio de Casas

Existen varias consideraciones que pueden realizarse a partir del estudio de Casas sobre el surgimiento de la biotecnología en México, sin embargo para efectos de nuestro estudio es relevante destacar las problemáticas que menciona sobre la dinámica que habían seguido los equipos de investigación, así como los aspectos relacionados de la vinculación de éstos con la industria.

Casas dedica gran parte de su discusión al individualismo que encuentra en los grupos de investigación dedicados a la biotecnología hacia los años 80s. Lo que describe Casas son pequeños grupos de investigación conformados por un investigador líder (con grado de maestro o doctor), y algunos estudiantes que apoyan el desarrollo de los proyectos, pero que interactúan muy poco entre sí ya que trabajan en proyectos de investigación independientes. Tal división se da literalmente, ya que los laboratorios se ubican físicamente bien divididos y en algunos casos llevan el nombre del investigador líder. Existe una fuerte competencia entre investigadores, más que actitudes de intercambio y colaboración. Tal individualismo no es exclusivo de los investigadores en biotecnología, sino de todo el aparato científico-tecnológico del país; incluso Casas (1993) reconoce que es uno de los mayores obstáculos para el desarrollo científico de la nación desde aquel entonces. Tal individualismo limita que se integren equipos sólidos de investigación, dado que investigadores con la misma categoría prefieren luchar por abrir dos departamentos débiles en una misma institución que uno solo fuerte, ni uno ni otro acepta el liderazgo de uno solo, a favor de la conformación de equipos de investigación sólidos. La movilidad de los investigadores hacia otras instituciones, e incluso hacia el extranjero, se da por estos motivos.

En los discursos de la época, estaba en boga la defensa por la “libertad académica o libertad de cátedra”, que se entendía como la libertad para adoptar la forma de trabajo que más fuera conveniente para el investigador, y cualquier insinuación a modificar tal postura se entendía como una violación a los reglamentos internos de los centros de investigación. Según Casas (1993), el modelo instalado en el CINVESTAV-Irapuato rompe un poco con el patrón de individualismo que se vive a nivel nacional en aquella época. El departamento crece con la incorporación, hacia 1987, de investigadores que mostrasen capacidad para trabajar en equipo. La intención del CINVESTAV era adoptar el modelo estadounidense de conformar *start-ups* para comercializar aplicaciones de biotecnología, en especial de ingeniería genética. Así, se integran investigadores jóvenes después haber realizado estudios de doctorado y

postdoctorado. De alguna forma tal situación permitía “moldear” su forma de actuar dentro de la institución.

Un aspecto adicional, que resulta relevante, es que las líneas de investigación en biotecnología se generaron por los intereses particulares de los investigadores, sin que existieran elementos de políticas institucionales para la biotecnología, y sin que existiera, como se ha dicho, interacción ni comunicación entre los investigadores mismos. Es cierto que se menciona la conformación de la Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería que aún celebra congresos anualmente, pero en general no existían elementos de colaboración entre los biotecnólogos en el país. Para Casas (1993), esto produjo una tendencia a duplicar esfuerzos entre las instituciones, sin que existieran acuerdos sobre los principales productos que debían obtenerse a partir de la biotecnología. Mas aún, de acuerdo con Casas, los científicos mexicanos no tomaban en consideración los planteamientos de política que ya existían sobre ciencia y tecnología.

Por otra parte, era posible identificar pocos elementos relacionados con la vinculación de los centros de investigación con el aparato productivo. Casas (1993), afirma que a mediados de los ochentas comenzaron a crearse empresas biotecnológicas, a través de contratos y convenios que implicaban riesgo compartido entre universidades, centros de investigación y organizaciones privadas, pero no ofrece información sobre cuántas fueron creadas, ni mayor detalle sobre su funcionamiento. Esto se da, de acuerdo con Casas, no sólo en México sino en toda Latinoamérica, y asegura que la biotecnología llegó a romper el patrón de vinculación escaso entre universidades e industria, que había prevalecido en América Latina hasta entonces. En especial, Casas refiere que se crearon empresas brasileñas y mexicanas que destacaban en la producción de antibióticos, enzimas, aminoácidos, ácidos orgánicos, plantas micro-propagadas, reactivos biológicos y medios de cultivo.

Asimismo, Casas (1993) refiere dos casos de transferencia de tecnología a empresas formadas por los propios investigadores. A través de estímulos fiscales y riesgos compartidos, estos investigadores habían logrado desarrollar, a nivel industrial, trabajos que habían iniciado en los laboratorios de sus centros de investigación. Se trataba de la producción de hongos a partir de bagazo de caña y aserrín, así como la producción continua de yogurt. Siendo así, se trata también de las primeras start-up emanadas de la biotecnología en México.

Por otra parte, con la información que ofrece Casas (1993) también es posible ver que la mayor parte de los centros de investigación, que trabajaban en biotecnología, se habían especializado en técnicas de fermentación. Sin embargo, tales capacidades al parecer no habían sido suficientes para vincularse con las grandes empresas, que ya trabajaban con

tecnología compatible en el país. Se hace mención en relación a que si existían formas de colaboración entre los centros de investigación y las empresas que utilizaban técnicas de fermentación; pero Fermentaciones Mexicanas (FERMEX), era la única que no se había interesado en el uso de la tecnología mexicana y trabajaba con tecnología japonesa para producir aminoácidos, usados a su vez para producir alimentos para cerdos y pollos. La situación es importante, porque se trataba de una empresa que producía lisina al más bajo costo en el mundo y era altamente competitiva a nivel internacional.

Cabe mencionar que varios elementos que hacían referencia a la vinculación entre universidad e industria se contemplaban en los planteamientos de política, aunque en la práctica eran pocos los casos que se podían identificar. En la figura siguiente se encuentran resumidos.

Figura 33. Eventos y propósitos de política sobre la vinculación universidad-industria en México

1930s	Se plantea explícitamente la vinculación entre ciencia, tecnología e industria en el discurso político del desarrollo nacional. El propósito principal del General Lázaro Cárdenas del Río, era que el desarrollo industrial debía apoyarse de una base tecnológica propia; refiriéndose tanto a la industria petrolera como a la agricultura. Bajo este propósito en 1936 se crea el IPN integrando a varias escuelas nacionales.
1940s	Se crean los Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial (LANFI), con la intención de canalizar transferencias tecnológicas a las empresas y recabar demandas tecnológicas a los centros de investigación, pero sus funciones siempre fueron limitadas por el poco apoyo gubernamental y poca credibilidad de los centros de investigación.
1970	Se retoma el discurso de la vinculación universidad-industria con la creación del CONACYT. Se institucionaliza la política de ciencia y tecnología en el país. Se establecen mecanismos para estimular la vinculación universidad-empresa, pero la prioridad del CONACYT es la formación de recursos humanos, el fortalecimiento de la infraestructura para la investigación científica y el apoyo a proyectos de investigación básica.
1979	Se crea el Centro de Innovación Tecnológica (CIT) de la UNAM, que tiene como objeto proporcionar servicios a la comunidad universitaria para lograr la transferencia de tecnología al sector productivo. Entre otras funciones comienza a realizar: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Investigaciones sobre proceso de innovación tecnológica.</li> <li>• Formación de recursos humanos en los aspectos de innovación tecnológica.</li> <li>• Vinculación de las capacidades tecnológicas de la UNAM con el sector productivo.</li> <li>• Identificación de proyectos tecnológicos multidisciplinarios de interés prioritario para el país.</li> </ul> Posteriormente se descentraliza y se crea una Red de Núcleos de Innovación Tecnológica, instalados en distintas unidades de investigación de la UNAM a las que el CIT da asesoría. Hasta 1987, el CIT había logrado concretar 80 contratos de desarrollo y transferencia tecnológica; entre los que destacan 8 contratos de transferencia de tecnología en al área biotecnológica. Así, por ejemplo, dos empresas con licencia de la UNAM llevaron a cabo la producción y comercialización de un alimento proteico para animales, a partir de desechos agrícolas llamado BIOFERMEL.
1980s	Las principales entidades gubernamentales que aportaban financiamiento a la investigación científica y tecnológica, adoptaron como criterio dar prioridad a los proyectos que planteaban la existencia de un usuario formal o potencial. En particular el CONACYT contemplaba el financiamiento a proyectos presentados mediante un programa de riesgo compartido, ante el sentimiento de fracaso que se percibía por parte de sus funcionarios, por la falta de avances sustanciales en el desarrollo tecnológico nacional. Se planteaba entonces que el centro de investigación contara con un convenio con una empresa que estuviera dispuesta a invertir capital de riesgo [Sería el antecedente del FINNOVA].
1982-1988	En el PRONDETYC se expresan mecanismos de política para fortalecer la vinculación: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Programa de enlace investigación-producción, dirigido a fomentar la planta productiva particularmente de la pequeña y mediana industria.</li> <li>• Inversiones en empresas basadas en tecnología de origen nacional, fomento de la innovación y aplicación de nuevas tecnologías.</li> <li>• Adaptación de nuevas tecnologías.</li> <li>• Programa de riesgo compartido mediante convenios bilaterales entre empresas, organismos públicos y centros de investigación.</li> </ul>
1990-1994	La vinculación universidad-industria adquiere mayor relevancia en la administración gubernamental hacia inicios de los noventas. El Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica contempla los siguientes objetivos al respecto: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Participación complementaria de productores y gobierno en el desarrollo tecnológico del país. Que el sector productivo moderno financie sus necesidades tecnológicas directas. Se planteaba que los proyectos de investigación tecnológica debían ser cofinanciados por el sector público y privado, y que los empresarios debieran participar en los órganos de gobierno de los centros de investigación dedicados a generar tecnología.</li> <li>• Mecanismos de financiamiento para la vinculación: fondos aparejados, programas de crédito, captación de recursos mediante mercado de capitales, promoción de fondos o fundaciones privadas, tratamiento fiscal especial a los gastos tecnológicos de las empresas.</li> </ul>

Fuente: Elaborado a partir de Casas (1993).

Es importante mencionar que de acuerdo con información del CONACYT, entre 1982 y 1987, se establecieron 108 proyectos de investigación con riesgo compartido, es decir, financiados con fondos público y privados, siete de los cuales correspondían a biotecnología. Mientras que por parte del COSNET, hacia 1987 había sido posible solamente establecer un proyecto de este tipo en el área biotecnológica, relacionado con la producción de un insecticida (Casas, 1993).

Por otra parte, también vale la pena destacar los casos que Casas (1993) refiere y que están relacionados con empresas paraestatales. Aunque menciona que, en la opinión de los biotecnólogos que entrevistó, se percibía cierta preferencia a vincularse con empresas privadas que con paraestatales, pues éstas en general desatendían los compromisos para cumplir con la vinculación y contaban con pocos recursos financieros para desarrollarla. Sin embargo, Casas refiere casos positivos de convenios con el Sindicato de Azucareros de la empresa estatal Azúcar S.A. y la empresa lechera gubernamental LICONSA; tales proyectos estaban relacionados con la producción de proteínas de origen unicelular, a partir de melazas y producción de enzima B-Galactosidasa, para sustituir importaciones. Asimismo, se destaca que tecnologías emanadas del Instituto Mexicano del Petróleo, aunque no en el área de biotecnología, habían sido compradas por empresas extranjeras, siendo desaprovechadas por empresas nacionales.

De esta forma, Casas (1993) describe que hacia los ochentas había un panorama de desarrollo tecnológico incipiente en México, con algunos casos de gran impacto industrial de tecnologías nacionales; aunque prevalece el hecho de que la tecnología empleada en gran parte es importada. El sector productivo plantea una demanda muy escasa de desarrollo tecnológico, y ésta es la gran limitante del desarrollo tecnológico nacional. Las empresas prefieren comprar tecnología (externa), y no consideran entre sus funciones la generación de la misma.

Por otra parte, una de las problemáticas que se presentan desde la creación del CIT es que su personal carece de conocimientos específicos, de carácter científico y técnico, para poder evaluar los desarrollos tecnológicos; éste ha sido el problema generalizado de todos los organismos y agencias que se crearon para facilitar la vinculación entre universidad e industria. Aquí también se puede mencionar a los LANFI, creados en los 40s, y los Centros de Investigación y Asistencia Tecnológica de los Estados (CIATEs), creados en los setentas y ochentas por el CONACYT. La carencia de personal capacitado en el proceso de desarrollo tecnológico, los problemas inherentes a los sectores económicos, la determinación de la viabilidad financiera del desarrollo de una tecnología, así como la dinámica de los mercados

nacionales e internacionales, son conocimientos que desde entonces han sido difíciles de encontrar en las propias agencias dirigidas a facilitar la transferencia de tecnología. Aún así, Casas (1993) refiere que existieron investigadores mexicanos los cuales lograron, en los ochentas, desarrollar experiencia estableciendo empresas del tipo *spin-off* a partir de sus investigaciones en biotecnología; aunque no ofrece el número.

Si bien Casas advierte que su intención no es presentar un análisis sobre las empresas biotecnológicas, también informa que en el país existían hacia los ochentas 400 empresas biotecnológicas, algunas dedicadas a la elaboración de productos tradicionales como bebidas alcohólicas y lácteos. Las cuales trabajaban con procesos tradicionales de fermentación y sin laboratorios de investigación para la mejora de sus tecnologías. Mientras que las productoras de enzimas y antibióticos estaban en manos de transnacionales, y habían surgido algunas de origen nacional como Enzymologa, Bioenzimas y Enzygen, así como Biogenética Industrial y Mexicana de Micropropagación que trabajaban con las técnicas más novedosas.

De igual forma, Casas (1993) advierte que la generación de *spin-offs* de biotecnología por parte de investigadores mexicanos, no debe ser vista como la industrialización de esta disciplina en México, sino como una oportunidad para los investigadores de hacer negocios a partir de sus desarrollos tecnológicos. Es decir, aunque con diferentes grados de aplicación, la industrialización de la biotecnología nace a partir de las investigaciones que se dan en los países que hemos mencionado en el apartado anterior, principalmente Estados Unidos y Japón, y las empresas transnacionales hacen uso de tales desarrollos tecnológicos. Lo que sucede con este tipo de *spin-offs*, surgidos de la iniciativa de investigadores, contribuye a resolver su propia situación económica con productos rentables. Con ello queda claro que el alcance de la tecnología que se producía tenía un impacto limitado que no llegaba a las principales empresas.

En el rubro de la vinculación entre investigación e industria en el área biotecnológica, Casas (1993) enfatizaba que la falta de definición de una política sobre la biotecnología también limitaba la aplicación de mecanismos de vinculación, con lo que se beneficiaría los intereses del capital privado, nacional o extranjero, pero que no repercutirían en el logro de objetivos de desarrollo con alcance nacional.

Aunque se de un salto importante desde los ochentas, es imprescindible mencionar aquí la creación de oficinas de transferencia de tecnología en el país. En 2010 la Secretaría de Economía y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología crearon el Fondo Sectorial de Innovación (FINNOVA), que ha financiado en diversas modalidades proyectos de innovación tecnológica en el país. En sus primeras convocatorias el FINNOVA favoreció la creación de

Oficinas de Transferencia de Tecnología (OTTs), reconociendo la importancia de crear agencias para promover, acelerar y generar mecanismos de colaboración entre universidades y empresas. Hasta 2015, a través del FINNOVA se habían certificado 117 OTTs en todo el país, involucrando a 200 personas en su personal aproximadamente. Existen OTTs creadas por empresas privadas, universidades públicas y privadas, centros de investigación-CONACYT y centro de investigación privados. Sin embargo, su funcionamiento inicial tiene aún varias carencias.

En evaluaciones recientes realizadas por agencias de consultoría, la Secretaría de Economía y el propio CONACYT, se destaca que la problemática principal está relacionada con el hecho de que el personal que integra tales oficinas carece de conocimientos y experiencia para la transferencia tecnológica; un asunto que resulta muy lógico debido a que, como hemos visto, la vinculación entre universidad y empresa en todo el país tradicionalmente ha seguido un patrón escaso; solamente existen casos aislados. En particular, la modalidad de licenciamiento de desarrollos tecnológicos, la propia gestión de la propiedad intelectual y la creación de empresas de base tecnológica, aunque han estado presentes en el discurso político, son formas de vinculación que no han surgido en México con la magnitud que se esperaba.

De igual modo, existen otro tipo de problemáticas derivadas de esta falta de profesionalización, tanto de directores como del personal que conforma a las OTTs en México. Es sabido en el medio que la gran mayoría de ellas son sólo captadoras de fondos; es decir, no crean realmente vínculos, no cuentan con tecnologías patentadas, no crean acuerdos comerciales, ni empresas *spin-offs*. Dedicar sus recursos financieros y humanos exclusivamente a presentar proyectos para las convocatorias del FINNOVA, y la búsqueda de otros subsidios públicos; así como la creación de contactos personales. Los propios directores han manifestado en diversos foros que las oficinas requieren de más apoyos para desarrollar sus capacidades, más allá de los recursos financieros pues éstos no resuelven todas las problemáticas de las OTTs. Han hecho llamados para recibir mayor asesoría y acompañamiento en el desarrollo de la transferencia de tecnología. Otras problemáticas que enfrentan las OTTs mexicanas se muestran en la figura siguiente.

Figura 34. Principales problemáticas que enfrentan las OTTs mexicanas

- El conjunto de OTTs es heterogéneo. Mientras dos o tres cuentan con más de 30 patentes, aproximadamente cuarenta y siete no han solicitado la patente de ninguna tecnología. En tamaño, cuatro OTTs se integran por más de treinta empleados, mientras que veintinueve sólo se integran por una o dos personas.
- Las empresas beneficiadas por FINNOVA no utilizan el canal de la OTTs para contratar investigadores (se estima que un 30% de empresas se encuentra en tal caso).
- En general, la cultura institucional de colaboración con el sector privado es escasa.
- Carencia de incubadoras y aceleradoras de negocios.
- Es necesario superar todas las limitaciones legales al interior de las IES/CPI para la transferencia de tecnología, como la adquisición de acciones en empresas por parte del personal académico y administrativo.
- Existen pocas opciones de capacitación para las OTTs. Las opciones más reconocidas por quienes integran a las propias oficinas son: IC Institute de la Universidad de Texas y la Universidad Autónoma del Estado de Morelos.

Fuente: Elaboración propia a partir de evaluaciones realizadas en 2016 por agencias de consultoría, la Secretaría de Economía y el propio CONACYT.

Con todo el recorrido que hemos hecho hasta aquí, en relación al análisis realizado por Casas, y los últimos planteamientos de política y mecanismos introducidos por el CONACYT y las Secretarías de Estado, se puede concluir dos cosas: en primer lugar, los mecanismos para promover la vinculación de los centros de investigación y la industria no han evolucionado drásticamente en la últimas décadas. Es cierto que hay una mayor cantidad de programas que apoyan el desarrollo de la investigación tecnológica ligada a su aplicación industrial, y un punto relevante es que se involucraron las secretarías de Estado; esto ha permitido que se realicen planteamientos sobre las problemáticas prioritarias que cada una debe atender en el plano nacional. Sin embargo, existe ahora una gran cantidad de programas de financiamiento para proyectos de investigación y desarrollo, aunque en términos generales el financiamiento a ciencia y tecnología no se ha incrementado de manera sustancial en términos del PIB. Coloquialmente se puede afirmar que se ha hecho de todo menos incrementar el financiamiento en términos reales a la investigación y el desarrollo. Esta es la percepción generalizada sobre la ciencia y tecnología mexicana, y ante la falta de estudios sobre la vinculación de ésta con la aplicación industrial, es difícil determinar si se han desarrollado de manera relevante formas de vinculación en todas las áreas.

En segundo lugar, los mecanismos para fomentar la vinculación y la transferencia de conocimiento han dejado como último punto de apoyo y prioridad la generación de recursos humanos para la transferencia tecnológica. El FINNOVA plantea ahora como un elemento



prioritario el otorgamiento de becas para capacitar tanto al personal como a los directores de las oficinas de transferencia tecnológica. Tanto así que ha hecho invitaciones formales a universidades como la BUAP, para crear programas de posgrado orientados a satisfacer tales propósitos. Actualmente, la OTT de la BUAP ya trabaja en un proyecto de especialidad en colaboración con ISIS-Innovation, la empresa de transferencia tecnológica de la universidad de Oxford. Pero lo que llama la atención es que, a pesar de que surgieron durante los setentas y ochentas diversos mecanismos de política para incrementar la vinculación entre los centros de investigación y la industria, la formación de recursos humanos para fomentarla de manera sistemática y con conocimientos especializados esté teniendo prioridad sólo hasta estas fechas.

### **Variedades vegetales en México**

La revisión que realiza Casas (1993), sobre el desarrollo de la investigación en biotecnología en el país, abarca lo sucedido en México hasta finales de la década de 1980. En ella se resalta el papel de las instituciones de educación superior en el desarrollo de esta disciplina, y las posibilidades que debía tener para atender a las problemáticas sociales de México, en relación a la autosuficiencia en la alimentación y la mejora de la agricultura nacional. Aunque se resalta también que se ha tratado de pequeños grupos de investigación que trabajaban de modo individual, y estableciendo líneas de investigación con base en intereses propios. A pesar de ello, lo sucedido a inicios de 1990 en relación a la producción, certificación y comercialización de semillas, es uno de los aspectos que más contrastan con las perspectivas de las potencialidades de la investigación biotecnológica ligada a la agricultura en el país en los años anteriores. Al parecer, todo el conocimiento acumulado hasta entonces en las instituciones de educación superior y centros públicos de investigación, continua sin tener puntos de encuentro con la aplicación real en el campo mexicano.

Figura 35. Legislación y eventos importantes en el desarrollo de variedades vegetales

1947	Decreto federal por el que se crea la Comisión Nacional del Maíz.
1961	Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas LPCCS (sustituida por la ley del mismo nombre en 1991 y abrogada totalmente en 2007).
1961	Con la incorporación de la LPCCS la Comisión Nacional del Maíz se transforma en la Productora Nacional de Semillas.
1961	Con la aprobación de la LPCCS se crea el Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS).
1963	Se siembra por vez primera variedades de trigo desarrolladas por Norman Borlaug.
1991	Firma del Tratado de Libre Comercio (TLC) entre México, Estados Unidos y Canadá.
1991	Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas LPCCS.
1992	Se privatiza FERTIMEX.
1994	Entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio (TLC) entre México, Estados Unidos y Canadá.
1996	Ley Federal de Variedades Vegetales.
1998	Reglamento de la Ley Federal de Variedades Vegetales.
2005	Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados.
2007	Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas LPCCS.
2008	Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados.

De acuerdo con Aboites-Manrique y Martínez-Gómez (2005), la Ley sobre Producción, Certificación y Comercio de Semillas (LPCCS) emitida por primera vez en 1961, careció de la reglamentación necesaria para regular y fomentar la certificación y comercio de semillas en el país. Además obstaculizó la ratificación de México ante la Unión Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales (UPOV), cuya incorporación se llevó a cabo en 1978. La reincorporación de México en la UPOV se dio hasta 1997.

Uno de los aspectos más importantes que se modificaron, a partir de la entrada en vigor de la Ley sobre producción, certificación y comercio de semillas de 1991, fue la desaparición de la empresa paraestatal Productora Nacional de Semillas (PRONASE), que a su vez tenía como antecesor a la Comisión Nacional del Maíz. En 2001 la PRONASE cesó sus operaciones, y en 2007 culminó su extinción. Asimismo, lo que permite la LPCCS reestructurada y puesta en marcha en 1991 es una participación abierta, sin restricciones, de las empresas privadas en la investigación agrícola, la producción y comercialización de semillas. Se trata de una reforma muy importante porque cambia el rumbo de la política gubernamental sobre la producción y comercialización de semillas. De ser un sector con la participación exclusiva del Estado Mexicano, el cambio sigue la política del mercado abierto (neoliberal) para que sean las empresas quienes tengan el protagonismo, infiriendo que el

mercado habrá de autorregularse. Pero como era previsto, la producción de semillas se concentra en las empresas multinacionales, y la oposición sobre la comercialización de la semilla más importante para México, el maíz, desata una lucha que prevalece hasta nuestros días.

Durante los ochentas, cuando sucede una gran presión política y económica ejercida por las compañías transnacionales farmacéuticas y agrícolas, principalmente de origen estadounidense, varios especialistas sugerían que no era conveniente para América Latina aceptar la estrategia de las patentes en general para la biotecnología, ya que el adoptar tal medida favorecería solamente a las empresas transnacionales ocupadas en desarrollar investigación biotecnológica, para lo cual emplearían los recursos naturales y personal calificado de la región. A pesar de ello México fue, en 1991, el primer país de Latinoamérica en modificar la legislación respecto de las invenciones emanadas por la biotecnología, y sigue siendo el único en Latinoamérica que ha hecho modificaciones sustanciales en la ley para tales fines hasta el momento.

Sin embargo, la investigación agrícola sí sucede por parte del Estado Mexicano, a través de la Secretaría de Agricultura y Fomento (posteriormente SAGARPA). En 1947 se crea el Instituto de Investigaciones Agrícolas, que posteriormente se transformaría en el INIFAP, en 1985. Con la ley de LPCCS de 1961 se crea la PRONASE, y entonces existe “legalmente” exclusividad del Estado Mexicano para la investigación, producción y comercialización de semillas. En el INIFAP se realiza la investigación, y a través de la PRONASE se comercializa. De 1961 a 1991 la comercialización de semillas sigue tal esquema, y posteriormente se abre el mercado. Son varios los señalamientos que hacen referencia a que la LPCCS de 1991 cambia también la idea de fomentar la agricultura por parte del Estado, ya que prácticamente establece lineamientos para regular un negocio más.

Otro dato importante es la privatización de FERTIMEX en 1992; es una de las paraestatales que se transforma en empresa privada y queda dividida en trece unidades productoras. La mayor parte de las críticas hacen énfasis en que con ello se incrementó la importación de fertilizantes, ya que las empresas que adquirieron las partes de FERTIMEX no tuvieron la capacidad para atender a la demanda del campo mexicano, por lo que al final la tendencia fue la importación.

En realidad, lo que ha sucedido con la producción y comercialización de semillas es un ejemplo de las reformas surgidas en 1991, que tenían como apuesta el libre mercado, siendo presidente de México Carlos Salinas de Gortari. Son varias las legislaciones que fueron reformadas en el marco del Tratado de Libre Comercio entre México, Estados Unidos

y Canadá. Ello dejó la puerta abierta para que las empresas transnacionales comercializaran sus productos ampliamente. Pero se preveía que la poca producción de tecnología de las empresas de origen mexicano perderían la batalla, y los mercados se concentrarían en las pocas empresas transnacionales. Algo muy sabido. La cuestión es que la inversión en ciencia y tecnología, por parte del Estado Mexicano durante los años de 1990, no se incrementó y sigue sin incrementarse significativamente. La aparición de los fondos que comenzaron a financiar directamente la innovación tecnológica comenzó hasta los primeros años de la década de los 2000, y su diversificación comenzó a ser importante sólo hasta después de tal década. Para cuando el “sistema de ciencia y tecnología mexicano”, el CONACYT, las empresas mexicanas, las universidades y los centros de investigación están comenzado a darse cuenta de la importancia de la innovación tecnológica, cada nueva innovación que emana de tales instituciones representa darse contra la pared, porque ya han perdido la batalla contra el control de las grandes empresas que han invertido en investigación y desarrollo tecnológico desde antes de la década de los noventa, y se han apoderado de los mercados desde entonces.

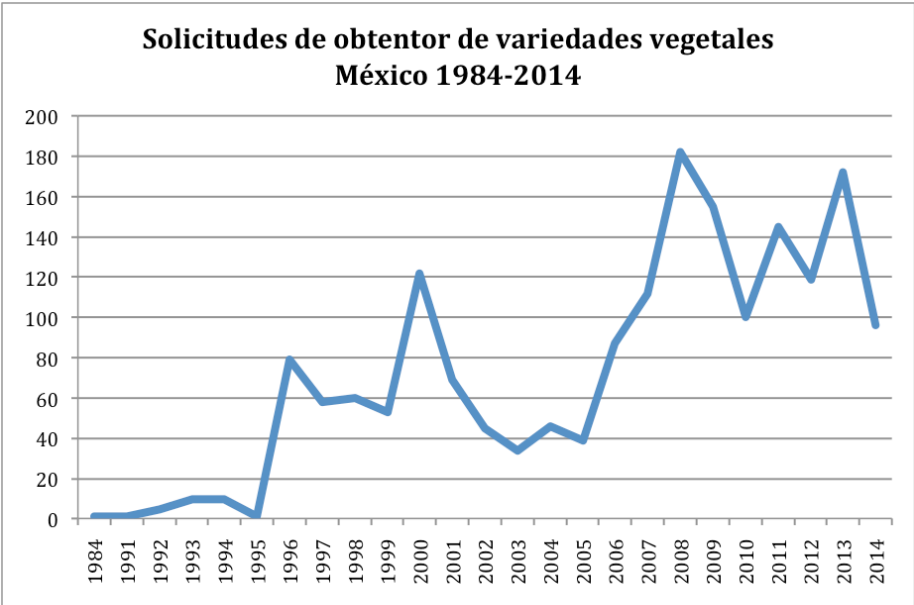
Las reformas de 1991 da lugar a una mayor presencia del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas (SNICS). El SNICS comienza a registrar y otorgar títulos de obtentor de semillas mejoradas de centros de investigación públicos y privados, empresas, instituciones de educación superior y fitomejoradores independientes. Se establece en México el sistema similar al otorgamiento de patentes para nuevas variedades vegetales. Aunque el SNICS se crea en 1961, el registro de variedades nuevas comienza en realidad hasta la década de 1980. La primera solicitud que reporta el SNICS es de 1984, pero el crecimiento significativo de solicitudes se da en 1996 (figura 36). Una razón importante de tal incremento es que la introducción de la LPCCS de 1991, abrió las puertas a la participación de empresas privadas en la comercialización de semillas, pero tal participación se vio reflejada en el incremento de solicitudes después de la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio entre México, Estados Unidos y Canadá en 1994.

En el primer incremento de solicitudes de variedades vegetales nuevas, sucedido a partir de 1996, es también importante la aprobación de la ley de variedades vegetales en el mismo año y la reincorporación de México a la UPOV en 1997. Antes de ello, la legislación que prevalecía era la de la LPCCS de 1961, que se ha dicho carecía de la reglamentación necesaria para fomentar la certificación y comercialización de semillas, e incluso obstaculizó la reincorporación de México a la UPOV iniciada en 1978.

El segundo incremento de solicitudes de variedades vegetales a partir del 2006, concuerda con la expedición de nuevas leyes en la materia: la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados, aprobada en 2005, y la Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas en 2007, por la cual se abroga la de 1991.

La figura 36 muestra el primer incremento en el número de solicitudes de variedades vegetales en 1996 y el segundo diez años después; posterior al año 2007 el número de solicitudes han sido más de cien anualmente. Hasta junio de 2014 se habían realizado al SNCS 1803 solicitudes de obtentor de variedad vegetal; sin embargo, los investigadores que solicitan tales títulos, y se infiere comercializan semillas mejoradas, son las empresas transnacionales. Las instituciones de investigación pública que iniciaron en la investigación de este tipo no figuran entre los principales desarrolladores de especies mejoradas, con excepción del INIFAP. Aún con ello, la comercialización de semillas mejoradas todavía se mueve en terrenos turbios, dado que la percepción pública continúa siendo de rechazo en ciertos sectores sociales.

Figura 36. Solicitudes de obtentor de variedades vegetales



Fuente: Elaboración propia con base en información solicitada a través del sistema INFOMEX, Junio 2014. La información del año 2014 corresponde a las solicitudes ingresadas hasta junio del mismo año.

Doscientos cuarenta y dos son las organizaciones que han solicitado al menos un título de obtentor de variedad vegetal. En su mayoría son empresas, centros de investigación públicos y privados, universidades, y fitomejoradores independientes. Sin embargo, es claro

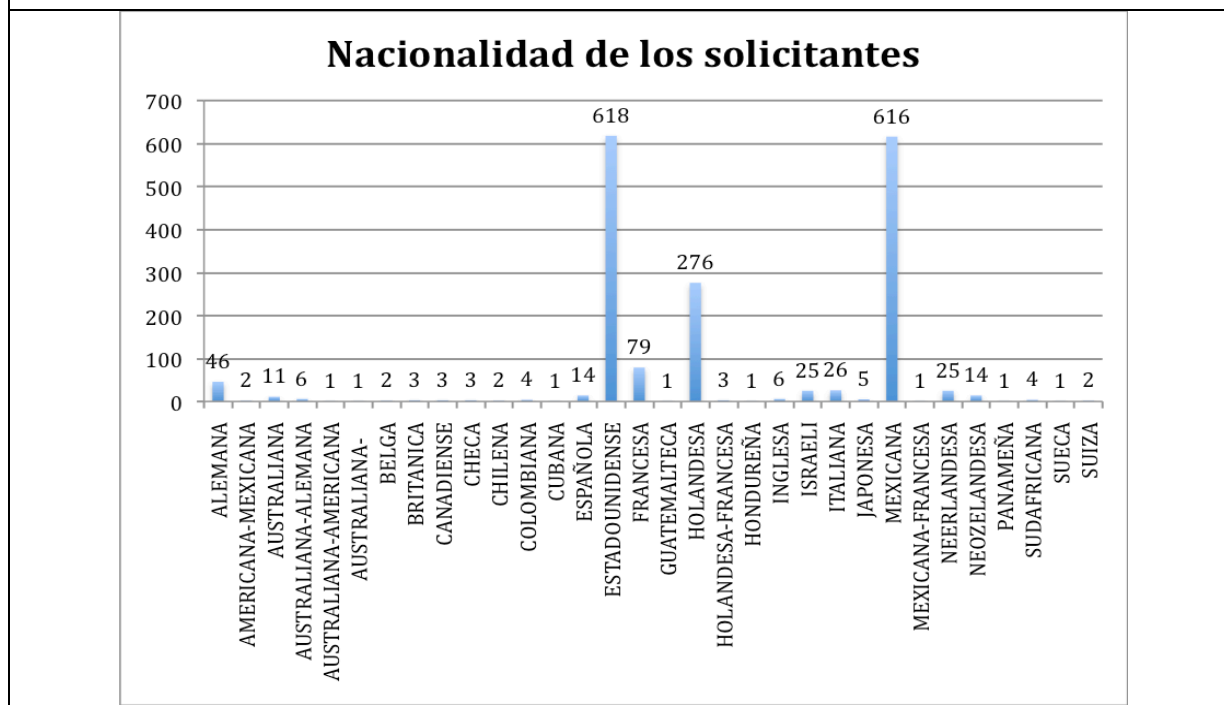
que quienes desarrollan en mayor medida especies mejoradas y solicitan la mayor cantidad de títulos son el INIFAP, y las tres multinacionales: Pioneer Hi-Bred International, Inc., Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A de C.V., y Driscoll Strawberry Associates, Inc. Tan sólo entre estas cuatro organizaciones se concentra el 35 por ciento de las solicitudes ingresadas al SNICS, en el periodo de 1984-2014. Cabe resaltar el papel del INIFAP, ya que es donde se desarrolla la mayor cantidad de semillas mejoradas. Se trata de un panorama muy diferente al que hemos descrito sobre la situación y los resultados de la investigación agrícola, durante toda la historia en México. Situación que prevalecía con pocas iniciativas de desarrollo hasta inicios de los años 80s, y ha sido documentado por Casas (1993). Es de llamar la atención que el Centro de Investigación y Mejoramiento del Maíz y el Trigo (CIMMYT), creado en 1966 y que ha recibido inversiones por más de 25 millones de dólares recientemente, por parte de Bill Gates y el magnate mexicano Carlos Slim, no figure entre las instituciones que registran especies mejoradas. Por otro lado, es sabido que las empresas de origen norteamericano tienen gran presencia en México, pero llama la atención que, aunque en menor número, figuren en segundo lugar aquéllas de origen holandés. La figura 37 muestra a las cincuenta empresas e instituciones que tienen el mayor número de solicitudes de obtentor de variedades vegetales. Cabe señalar que de las doscientas cuarenta y dos organizaciones que han ingresado solicitudes en el periodo de 1984 a 2014, la mayor parte de ellas (58%) han hecho solo una o dos.

Figura 37. 50 empresas e instituciones con el mayor número de solicitudes de obtentor de variedad vegetal		
Organización	Nacionalidad	Número de solicitudes
INIFAP	Mexicana	276
Pioneer Hi-Bred International, Inc.	Estadounidense	130
Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A de C.V.	Mexicana	130
Driscoll Strawberry Associates, Inc.	Estadounidense	107
Seminis Vegetable Seeds, Inc	Mexicana	50
Seminis Vegetable Seeds, Inc.	Estadounidense	47
Nunhems B. V.	Holandesa	44
Rosen Tantau, Mathias Tantau Nachfolger	Alemana	38
Universidad Autónoma Chapingo	Mexicana	38
Florist de Kwakel, B. V.	Holandesa	34
Meilland International S. A.	Francesa	32
Dow Agrosiences de Mexico, S. A. de C.V.	Estadounidense	31
Meilland Star Rose, S.A.	Francesa	31
Jackson & Perkins Wholesale, Inc.	Estadounidense	30
Piet Schreurs Holding B.V.	Holandesa	24
Delta and Pine Land Company	Estadounidense	22
The Regents of The University of California	Estadounidense	22
Van Zanten Plants B.V.	Holandesa	20
Sun World International, Llc	Estadounidense	19
Florida Foundation Seed Producers, Inc.	Estadounidense	17
Novasem Innovaciones, S. A. de C. V.	Mexicana	17
Lux Riviera, S. R. L.	Italiana	16
De Ruiters Nieuwe Rozen B.V.	Holandesa	15
Anthura, B. V.	Holandesa	14
Monsanto Technology Llc	Estadounidense	14
Anthura B. V.	Holandesa	13
Hilverda Kooij, B. V.	Neerlandesa	13
Hzpc Holland B.V.	Holandesa	13
Rijn Plant, B.V.	Holandesa	12
Berry Genetics, Inc.	Estadounidense	11
Deliflor Royalties, B. V.	Neerlandesa	11
Centro de Investigación Científica de Yucatán, A. C.	Mexicana	10
Colegio de Postgraduados	Mexicana	10
Agrícola Nuevo Sendero, S. P. R. de R. L.	Mexicana	9
Rijk Zwaan Zaahteelt en Zaadhandel, B. V.	Holandesa	9
Sabritas, S.A. de C.V.	Mexicana	9
V.O.F. Olij Rozen	Holandesa	9
Fundación Sánchez Colin Cictamex, S.C.	Mexicana	8
Plant Sciences Inc. y Berry R&D, Inc.	Estadounidense	8
D & PI Technology Holding Company, LLC.	Estadounidense	7
De Ruiters Intellectual Property, B. V.	Holandesa	7
Dekker Breeding B. V.	Holandesa	7
Fides B.V.	Holandesa	7
Sheehan Genetics Llc.	Estadounidense	7
B.V. de Zpc	Holandesa	6
Cotton Seed International Proprietary Limited (ACN065 327 915) y Bayer Cropscience AG	Australiana-alemana	6
Danziger "Dan" Flower Farm	Israelí	6
Especialistas en Papayas, S. A. de C. V.	Mexicana	6

Facultad de Agronomía, UANL	Mexicana	6
Lux Riviera Srl	Italiana	6

Fuente: Elaboración propia con base en información solicitada a través del sistema INFOMEX Junio 2014.

Figura 38. Nacionalidad de solicitantes de título de obtentor de variedades vegetales. México 1984-2014.

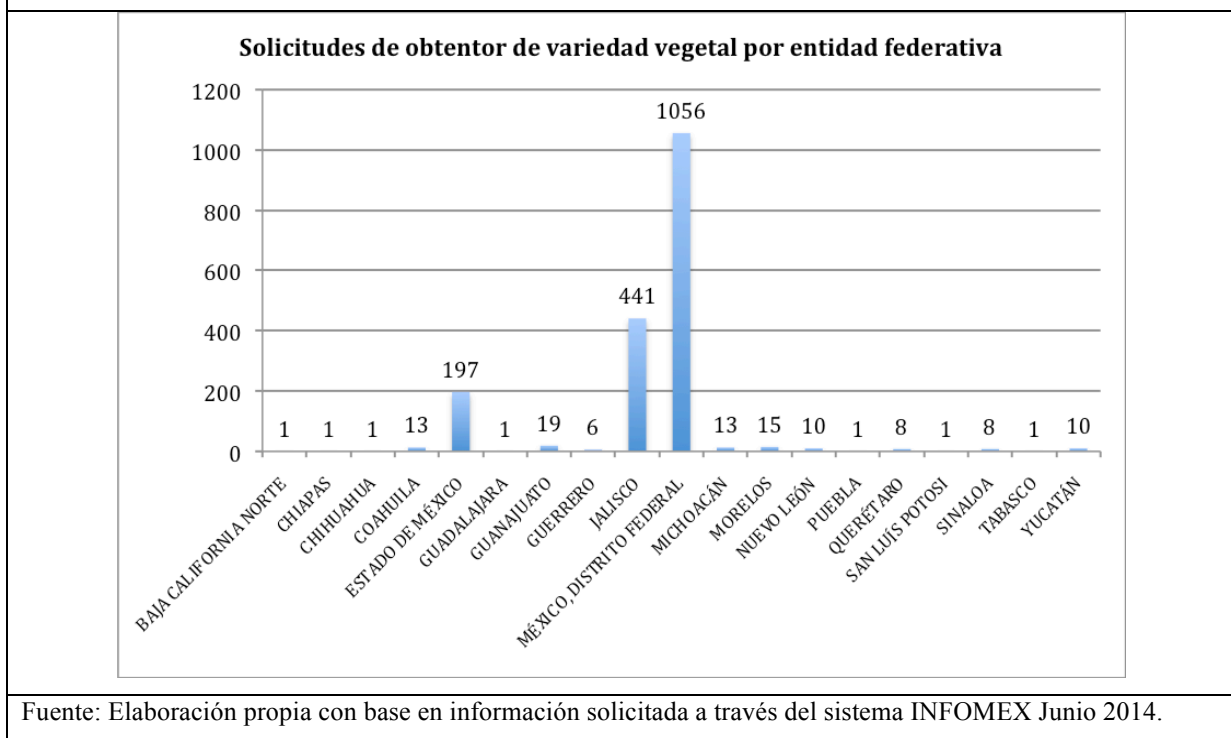


Fuente: Elaboración propia con base en información solicitada a través del sistema INFOMEX Junio 2014.

Si se analiza la entidad federativa de donde provienen las solicitudes, se puede ver una gran concentración en el centro del país: el distrito federal y el estado de México. Ello debe considerar la gran cantidad de solicitudes ingresadas por el INIFAP, y que la mayor parte de las empresas tienen su sede en la misma ciudad de México. En el caso de Jalisco se concentran las sedes de las empresas: Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A de C.V., Pioneer Hi-Bred International, Inc., Seminis Vegetable Seeds, Inc., Dow Agrosiences de Mexico, S. A. de C.V., Monsanto Technology Llc, y Novasem Innovaciones, S. A. de C. V.



Figura 39. Variedades vegetales por entidad federativa. México 1984-2014



Fuente: Elaboración propia con base en información solicitada a través del sistema INFOMEX Junio 2014.

Las especies que más interés comercial tienen, y por tanto se han ingresado con mayor frecuencia son las del tipo agrícola, principalmente el maíz; paradójicamente es sobre el que se tiene mayor controversia para legalizar su comercialización, siendo las empresas transnacionales las que más han presionado para ello, ya que son las mismas que han ingresado la mayor cantidad de solicitudes. Asimismo el INIFAP, que poco se ve en comparación con las empresas en el debate público, sobre la comercialización de maíz transgénico, es la institución pública que más solicitudes ha ingresado con relación al maíz: Pioneer Hi-Bred International, Inc. (108), Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A de C.V. (100), INIFAP (97), Dow Agrosciences de México, S. A. De C.V. (31), Novasem Innovaciones, S. A. de C. V. (17). La lucha por la rosa también es bastante relevante, en ella se incluyen empresas de todo tipo, entre las que han ingresado más solicitudes se encuentran: Jackson & Perkins Wholesale (30), Inc., Lux Riviera, S. R. L. (22), Meilland International S. A. (32), y Rosen Tantau, Mathias Tantau Nachfolger (38). Mientras que en el caso de la fresa destaca el número de solicitudes hechas por Driscoll Strawberry Associates, Inc. (68).

maíz	376	calabaza	8	nochebuena	3	cinco llagas	1
rosa	237	cártamo	7	pericón	3	ciruelo (árbol)	1
fresa	120	garbanzo	7	tomate de cáscara	3	cocotero	1
sorgo	70	mango	7	trigo duro	3	coronilla	1
arándano	46	soya	7	anisillo	2	delfinio (ornato)	1
gerbera	46	chile pimiento	6	arándano americano	2	echeveria	1
trigo	46	guayaba	6	brachiaria (híb. interesp.)	2	frijol ejotero	1
chile	45	orquídea	6	café	2	gladiola	1
papa	44	zacate paspalum	6	calabacita	2	guar	1
Vid	40	canola	5	cebollín	2	helecho de potrero	1
frijol	39	chile manzano	5	cerezo (portainjerto)	2	jatropha	1
algodón (t)	36	limón mexicano	5	chile guajillo	2	maíz cacahuacintle	1
crisantemo	31	limonium	5	ciruelo	2	naranja dulce	1
frambuesa	31	tagetes	5	granada	2	nogal	1
anturio	30	verdolaga	5	hongo	2	nogal pecanero	1
algodón	29	zanahoria	5	jitomate (portainjerto)	2	pasto banderita	1
jitomate	25	alfalfa	4	olivo	2	pasto bermuda	1
melón	24	avena	4	pasto buffel	2	pasto búfalo	1
alstroemeria	23	bugambilia	4	piña	2	pasto garrapata	1
sandía	22	cebada	4	solidago	2	pasto kentucky	1
lechuga	21	cempoalxóchitl	4	alga verde	1	pasto llorón	1
zazamora	21	chayote	4	andropogon	1	pasto navajita	1
aguacate	17	gipsófila	4	azucena	1	pera	1
arroz	17	gypsophila	4	azucena híbrida	1	plátano	1
clavel	17	higuerilla	4	cacao	1	portainjerto de tomate	1
manzano	17	jamaica	4	cala (alcatraz)	1	sonajilla	1
frambueso	14	kiwi	4	caña	1	tabaco	1
cebolla	11	nopal	4	caoba	1	tabaco (t)	1
chile habanero	11	ajo	3	cedro rojo	1	tabaquillo	1
brachiaria	9	alcachofa	3	cempasúchil	1	tlemol	1
brócoli	9	amaranto	3	cerezo	1	triticale	1
durazno	9	dalia	3	chabacano	1	zacate buffel	1
papaya	9	mandarina	3	chía	1	zoysia	1
pepino	9	nectarina	3	chirimoya	1		

Fuente: Elaboración propia con base en información solicitada a través del sistema INFOMEX Junio 2014.

Figura 41. Variedades vegetales por tipo de Cultivo. México 1984-2014.

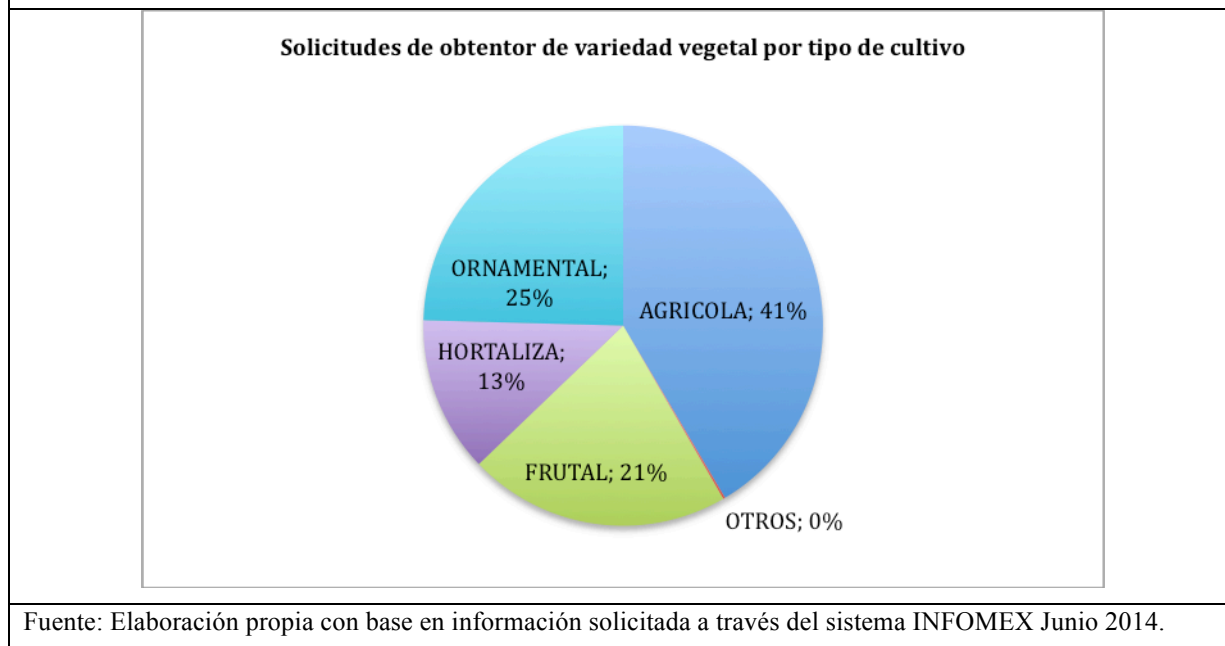


Figura 42. Tipos de cultivo con solicitud de obtentor de variedad vegetal (1984-2014)				
Agrícola	Frutal	Hortaliza	Ornamental	Otros
alfalfa	aguacate	ajo	alstroemeria	alga verde
algodón	arándano	alcachofa	anisillo	Hongo
amaranto	arándano americano	brócoli	anturio	
andropogon	cacao	calabacita	azucena	
arroz	café	calabaza	azucena híbrida	
avena	cerezo	cebolla	bugambilia	
brachiaria	chabacano	cebollín	cala (alcatraz)	
caña	chirimoya	chayote	caoba	
canola	ciruelo	chile	cedro rojo	
cártamo	cocotero	chile guajillo	cempasúchil	
cebada	durazno	chile habanero	cempoalxóchitl	
chía	frambuesa	chile manzano	cinco llagas	
chile manzano	frambueso	chile pimiento	clavel	
frijol	fresa	jitomate	coronilla	
frijol ejotero	granada	lechuga	crisantemo	
garbanzo	guayaba	melón	dalia	
guar	kiwi	pepino	delfinio (ornato)	
higuerilla	limón mexicano	tomate	echeveria	
jamaica	mandarina	sandía	gerbera	
jatropha	mango	tomate de cáscara	gipsófila	
maíz	manzano	verdolaga	gladiola	
maíz cacahuacintle	naranja dulce	zanahoria	gypsophila	
papa	nectarina		helecho de potrero	
pasto banderita	nogal		limonium	
pasto bermuda	nogal pecanero		nochebuena	
pasto búfalo	nopal		orquídea	
pasto buffel	olivo		pericón	
pasto garrapata	papaya		rosa	
pasto kentucky	pera		solidago	
pasto llorón	piña		sonajilla	
pasto navajita	plátano		tabaquillo	
sorgo	vid		tagetes	
soya	zarzamora		tlemol	
tabaco				
trigo				
trigo duro				
triticale				
zacate buffel				
zacate paspalum				
zoysia				

Fuente: Elaboración propia con base en información solicitada a través del sistema INFOMEX Junio 2014.

## **Situación actual de la biotecnología en México**

De este modo, nos encontramos ante un panorama incierto para la biotecnología en México. Por una parte, la biotecnología que ha sido más importante en el país ha sido aquella aplicada a la agricultura; sin embargo, el mayor impacto que se esperaba de esta disciplina sobre el mejoramiento del campo mexicano sucede en forma parcial, siendo los protagonistas principales de la innovación las empresas transnacionales.

La característica principal de la situación que vive la biotecnología agrícola en México, es el debate y conflicto sobre la comercialización de productos transgénicos. Por un lado, las empresas transnacionales luchan por una apertura mayor a la comercialización del maíz transgénico, que es la especie sobre la que existe mayor interés. Por otro lado, activistas integrados por investigadores y campesinos, realizan campañas de difusión en forma de resistencia.

De acuerdo con los informes que emite el Departamento de Agricultura de Estados Unidos, existe una percepción negativa ante la biotecnología agrícola en México, así como temores por los impactos ambientales de los cultivos derivados de la biotecnología; esto sucede a pesar de que en el país existe una base de conocimiento científico-tecnológico sobre la materia, y avances importantes para alcanzar la agricultura sustentable, que incluye el desarrollo de variedades de cultivos resistentes a diversas condiciones, y con beneficios en la reducción del uso de fertilizantes y herbicidas (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015).

En los informes del USDA se destaca la producción de algodón como caso de éxito de la biotecnología en México. Se hace referencia a las estimaciones de la Confederación de Asociaciones Algodoneras de la República Mexicana, A.C. sobre la disminución, en más de un 50 por ciento, del uso de plaguicidas a partir del uso de semillas genéticamente modificadas (GM), mientras que ha existido un incremento drástico en los rendimientos desde principios de la década de 2010. De igual modo, se hace mención del programa binacional para la erradicación del gusano rosa y gorgojo de algodón, que incluye el uso de semillas GM. Se calcula que en 2015 el uso de semillas genéticamente modificadas llegó a cubrir el 95 del área cultivada para algodón en México, y que de acuerdo al Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Alimentaria (SENASICA), el 85 por ciento de la producción de algodón en el país está libre de gusano rosa, mientras que el 70 por ciento está libre de gorgojo (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015).

Tal éxito comercial en la producción de algodón se esperaba, por las entidades estadounidenses y empresas transnacionales, para la comercialización del maíz transgénico; al

menos dentro de las áreas determinadas como centros de origen. En 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Federación, el acuerdo por el que se determinan los centros de origen y centros de diversidad genética del maíz en México<sup>34</sup>. Este acuerdo es parte de los instrumentos legales requeridos por la ley de bioseguridad mexicana, e incluye un mapa delineado de siete estados al noreste del país donde se prohíbe el cultivo de maíz transgénico. Aunque México es considerado el centro de origen del maíz en el mundo, ya que para el propio USDA la percepción del maíz alcanza un status de ente sagrado, sólo siete estados son considerados centros de origen y requieren protección del maíz transgénico, pero el gobierno mexicano no ha aprobado su comercialización en los estados no protegidos. El último contratiempo se dio en 2013, cuando un juez federal suspendió el cultivo de todo el maíz transgénico en México, mediante una orden judicial provisional contra todas las plantaciones de este tipo en el país; en consecuencia, se encuentran bloqueadas todas las aplicaciones experimentales, pruebas piloto y liberaciones comerciales para el maíz transgénico. Después de dos años no existe ninguna fecha prevista para su resolución (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015).

La segundo cultivo transgénico que ha alcanzado su comercialización en México es la soya. El primer permiso para la liberación comercial de este cultivo se otorgó en 2012, alcanzando su plantación en 253,500 hectáreas. Sin embargo, también ha encontrado otro tipo de complicaciones. Durante el mismo año, los productores mexicanos de miel solicitaron una orden judicial contra la aprobación de la soya transgénica con fines comerciales; en consecuencia, el otorgamiento de permisos para la liberación comercial de la soya transgénica, y las pruebas piloto, fueron bloqueadas de 2013 a 2015. Esta acción legal tiene como precedente la resolución del Tribunal de Justicia Europeo, sobre que la miel que contenga cantidades rastreables de polen de cultivos transgénicos para consumo humano, deben ser etiquetados si el porcentaje sobre pasa el 0.9 por ciento. A partir de esta reglamentación, y el hecho de que la soya transgénica pueda ser cultivada comercialmente en México, todos los envíos de miel provenientes de México deben someterse a pruebas de laboratorio para identificar y determinar el tipo de presencia de la modificación genética (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015).

En temas de importación y exportación es de resaltar que la demanda interna de maíz no llega a cubrirse con la producción local, por lo que prácticamente el país depende de las importaciones del mismo. La situación se torna irónica porque por una parte existen políticas

---

<sup>34</sup> [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5276453&fecha=02/11/2012&print=true](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5276453&fecha=02/11/2012&print=true)

muy restrictivas para la plantación de maíz transgénico en México, pero por otra las importaciones de maíz amarillo y blanco proviene de países que producen mayormente cultivos transgénicos como Estados Unidos, Argentina y Sudáfrica (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015).

Por otra parte, aunque la producción de algodón es importante sólo cubre el 50 por ciento de la demanda interna, de manera que la totalidad de las importaciones de algodón que se realizan en México provienen de Estados Unidos. De igual forma, la demanda local de soya y canola no llega a cubrirse con la producción local, por lo que casi la totalidad de soya transgénica es importada también de los Estados Unidos, mientras que la canola proviene de Canadá (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015). La figura 43 muestra el total de importaciones de cultivos con material genéticamente modificado.

Figura 43. México, Total de importaciones de cultivos con material genéticamente modificado.

	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
Maíz	10,881	7,700	7,800	11,200
Algodón	992	1,100	1,036	1,100
Soya	3,606	3,300	3,450	3,740
Canola	1,520	1,450	1,480	1,490
1000 T				

Fuente: Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015.

Combinando la información de importaciones y exportaciones, se considera que México se ha convertido en el segundo socio comercial en agricultura para Estados Unidos, seguido por Canadá. En 2012, el 13.4 por ciento de las exportaciones de Estados Unidos fueron dirigidas a México, mientras el 15.9 por ciento de importaciones norteamericanas también provinieron de territorio mexicano. Aunque en términos generales, en el sector agroalimentario Estados Unidos es el socio comercial más importante para México, ya que en este país se compra el 75 por ciento de todas las exportaciones mexicanas y se abastece del 73 por ciento de producto importado.

Mientras en los hechos sólo el algodón y la soya transgénicos han alcanzado el status de comercialización en México, el marco regulatorio sobre la biotecnología aplicada al campo se ha vuelto compleja, burocrática y restrictiva. Actualmente la política pública, correspondiente a las actividades de la biotecnología en México, es coordinada por la Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados (CIBIOGEM), creada en 1999. Esta comisión no tiene funciones ejecutivas, pero constituye la

coordinación de la política federal relacionada con la producción, exportación, movimiento, propagación, liberación, consumo, y uso conveniente de los Organismos Genéticamente Modificados, sus productos y derivados. Está integrada por el CONACYT, y los representantes de las Secretarías de Estado siguientes: Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA), Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Salud (SS), Educación Pública (SEP), Hacienda y Crédito Público (SHCP) y Economía (SE). La presidencia de la secretaría se intercambia en periodo de dos años por los titulares de la SAGARPA, la SEMARNAT y la Secretaría de Salud, siendo vicepresidente permanente el titular del CONACYT. Actualmente el titular de la SAGARPA se encuentra ocupando el cargo de presidente en su primer año; las funciones que realiza cada secretaría están determinadas en la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (OGM).

La SAGARPA tiene la responsabilidad de evaluar los riesgos potenciales derivados las actividades desarrolladas con OGM, basándose en el análisis de caso, así como los solicitudes y resultados presentados por cada parte interesada. La evaluación incluye los riesgos relacionados con la salud de los animales, plantas y recursos acuáticos, así como para el ambiente y la diversidad biológica. Sus responsabilidades incluyen las decisiones sobre las actividades de ingeniería genética que son permitidas, el otorgamiento de permisos, y la recepción de notificaciones de tales actividades; todo ello en los casos relacionados con los cultivos, la ganadería y la acuicultura. Asimismo, provee parámetros y guías para la experimentación de OGM relacionada con ensayos experimentales de campo, liberación de programas piloto, liberaciones comerciales, estudios de mercado, e importaciones de OGM.

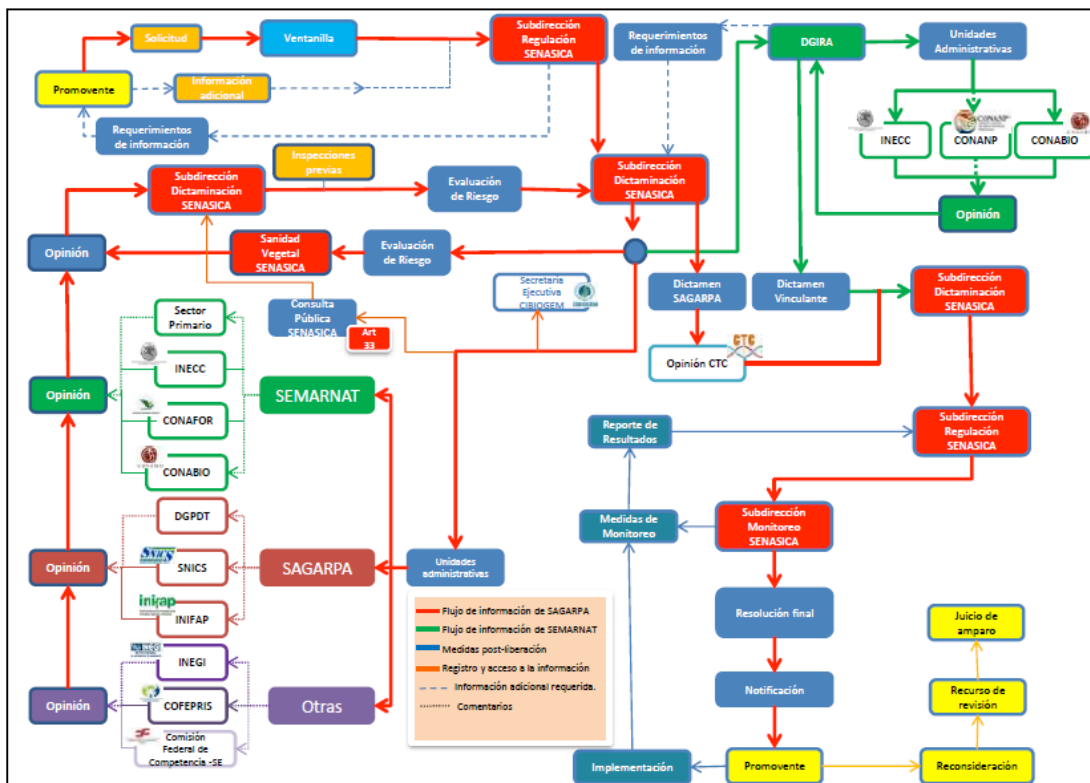
Mientras tanto, la SEMARNAT tiene funciones similares para la protección de todos los demás organismos fuera de la competencia de la SAGARPA, es decir, la vida silvestre y la biodiversidad. Es responsable de evaluar, caso por caso, los riesgos potenciales que puedan resultar de las actividades de los OGM hacia el ambiente y la diversidad biológica. Es importante señalar que es la SAGARPA quien aprueba la liberación al ambiente de cultivos de OGM, así como aquellos correspondientes a la ganadería y acuicultura; sin embargo, la SEMARNAT emite un dictamen previo a la SAGARPA para ello.

La Secretaría de Salud tiene como responsabilidad garantizar la seguridad de los alimentos destinados al consumo humano como medicamentos, derivados de la agricultura biotecnológica. La secretaría también evalúa los casos correspondientes a los riesgos potenciales de los OGM autorizados bajo la ley de bioseguridad.



En la práctica los procedimientos para la liberación de permisos es bastante compleja; cada autorización sigue un calendario diferente dependiendo de su tipo, sea permiso para consumo o liberación al ambiente. La figura 44 muestra el esquema general de los procedimientos para el otorgamiento de permisos, aunque no muestra cada parte de tales procedimientos.

Figura 44. Procedimiento para la resolución de permisos



Fuente: Wolf y Otero (2013, 2015). Refieren como fuente original el sitio web del CIOBIOGEM: <http://www.CONACYT.gob.mx/cibiogem/OGMs/Documents/proceso-permisos/proceso-resolucion-permisos.pdf> Sin embargo, en el sitio web no aparece más este esquema (junio 2016)

Por otro lado, el Registro Nacional de Bioseguridad de OGM contiene el listado de todas las solicitudes de autorización, las resoluciones de las autoridades competentes (aparecen las de la SAGARPA y Secretaría de Salud), así como avisos de utilización

confinada<sup>35</sup>. El sitio web de la CIBIOGEM presenta también la información relativa a la evaluación de 146 casos y su respectiva autorización<sup>36</sup> en el periodo de 1995 a 2015 (tabla X).

Figura 45. Evaluaciones de inocuidad y autorización de consumo en México		
Cultivo		Eventos autorizados
Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	4
Canola	<i>Brassica napus</i>	9
Algodón	<i>Gossypium hirsutum</i>	33
Maíz	<i>Zea mays</i>	70
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	3
Arroz	<i>Oryza sativa</i>	1
Soya	<i>Glycine max</i>	22
Betabel	<i>Beta vulgaris</i>	1
Tomate	<i>Lycopersicon esculentum</i>	3
		146
Fuente: Sitio web: <a href="http://www.CONACYT.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/registro/lista-evaluacion-inocuidad.pdf">http://www.CONACYT.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/registro/lista-evaluacion-inocuidad.pdf</a> consultado el 20 de junio de 2016		

En materia de pruebas experimentales de cultivos GM en campo, la participación de instituciones públicas y privadas creció desde las primeras pruebas en 1988, hasta la publicación de la ley de bioseguridad en 2005. Después de la aprobación de la ley sólo las instituciones privadas tuvieron la capacidad para cumplir con todos los requerimientos. En los años recientes únicamente el CIMMYT y el CINVESTAV han sido las instituciones, sin fines de lucro, que han aplicado pruebas experimentales.

Las pruebas experimentales de los dos cultivos GM que han alcanzado la comercialización (el algodón Bt y la soya RR), se llevaron a cabo en 1995. Con el desarrollo de las nuevas regulaciones, los permisos para su comercialización se otorgaron en 2010 y 2012 respectivamente, es decir, casi 15 años después en el caso del algodón y 17 años en el caso de la soya. La figura 46 muestra un resumen de los cultivos permitidos para su liberación al ambiente en diferentes fases.

<sup>35</sup> Sitio web de la CIBIOGEM: <http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/sistema-nacional-de-informacion/registro-nacional-bioseguridad-ogms> consultado el 20 de junio de 2016.

<sup>36</sup> Sitio web: [http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema\\_nacional/registro/lista-evaluacion-inocuidad.pdf](http://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/sistema_nacional/registro/lista-evaluacion-inocuidad.pdf) consultado el 20 de junio de 2016.

Figura 46. Status de las resoluciones de permisos para la liberación al ambiente de OGM de 2010 a 2014.

		Experimental	Piloto	Comercial	Total de permisos
2010	Algodón	13	19	1	33
	Maíz	67	1 (8 NA)	0	68
	Soya	0	3	0	3
	Trigo	6	0	0	6
2011	Algodón	20	9	4	33
	Maíz	55 (4 NA)	6 (11 NA)	0	61
	Soya	1 (1 NA)	5	0	6
	Trigo	15	0	0	15
2012	Algodón	15	6	3 (3 NA)	24
	Maíz	14 (12 RA)	19 (8 RA, 3NA)	(6 RA)	33
	Soya	0	0	2	2
	Trigo	14	0	0	14
2013	Algodón	9 (8 NA)	8 (2 NA)	1	18
	Maíz	(25 RA)	(23 RA)	(13 RA)	0
	Soya	2 (1 NA)	0	0	2
2014	Algodón	11	13 (2 NA)	(4 NA)	24
	Maíz	(3 NA)	(1 NA)	0	0
	Soya	1	0	0	1
	Frijol ordinario	1	0	0	1
	Trigo	5	0	0	5
	Limón	3	0	0	3

NA = Non-approved. RA = Risk Assessment Process

Fuente: Wolf y Otero (2015). Fuente original: Sistema Nacional de Información para la bioseguridad y la biotecnología, CIBIOGEM.

Finalmente, Wolf y Otero (2013, 2015) mencionan que los siguientes factores políticos pueden estar influenciando las decisiones regulatorias en materia de biotecnología vegetal en México:

- 1) El maíz es el asunto más sensible en México; el país es el centro de origen del maíz en el mundo. Los opositores a la ingeniería genética argumentan que el flujo del maíz transgénico puede causar un daño irreversible a las variedades locales, mientras los partidarios de la biotecnología argumentan que durante la domesticación del maíz, a lo largo de la evolución hasta nuestros tiempos, han existido flujos continuos de genes entre las diferentes variedades locales e incluso

entre los híbridos, sin que exista evidencia científica de que el flujo de genes derivados de la modificación genética pueda resultar nocivo.

- 2) La ley de bioseguridad mexicana establece que los centros de origen del maíz nativo, y otras especies nativas, están fuera del alcance de las plantaciones transgénicas. Sin embargo las preocupaciones públicas están teniendo un peso importante, considerando que México es el centro de origen de varios cultivos, de manera que las normas regulatorias están impidiendo que el maíz transgénico salga de los confines del laboratorio, y estableciendo las áreas determinadas por el gobierno como centros de origen. El “principio de precaución” favorecido en la Unión Europea parece estar siendo invocado en México, lo que ha retrasado más el uso de maíz transgénico en el campo.
- 3) El cambio de administración federal llevado a cabo en 2012, también ha resultado en retrasos para la liberación de permisos, debido en parte por la curva de aprendizaje de las nuevas autoridades. Adicionalmente, el cultivo de maíz y soya transgénicos ha sido bloqueado por órdenes judiciales, sin que existan fechas específicas para su resolución. De igual manera, el debate sobre el maíz transgénico aparece en los medios mexicanos casi cada semana, generalmente con tintes emocionales.

Wolf y Otero (2013, 2015) aseguran que los consumidores mexicanos, productos, importadores, y distribuidores no están involucrados en el debate de la biotecnología. En general, el consumidor mexicano está preocupado por el precio y la calidad de sus alimentos no por su composición genética; sin embargo, en ciertos sectores sociales generalmente se hace la distinción entre el maíz convencional y el transgénico, dado que existe la preocupación por la integridad de las especies de maíz nativo. Para los mexicanos el maíz es un símbolo de su herencia cultural, así que Wolf y Otero (2013, 2015), consideran que la aceptación de la biotecnología también puede vincularse a la percepción de la protección de sus plantas nativas. Mientras tanto, el debate se ha ampliado por organizaciones no gubernamentales opositoras a la adopción de esta tecnología.

## Acciones de opositores y defensores de la biotecnología en México

Los defensores de la biotecnología han formado AgroBio, una organización privada que representa a las empresas multinacionales más activas en el desarrollo de productos biotecnológicos en México. La organización tiene como principal objetivo el promover el uso positivo de la biotecnología, así como compartir y divulgar conocimiento científico dirigido a los responsables de política pública, abogados y el público en general. El sitio web de AgroBio (<http://www.agrobiomexico.org.mx>) contiene información con base científica acerca de los OGM. De igual forma este organismo es bastante activo en la organización de seminarios sobre biotecnología y bioseguridad, llevados a cabo con algunos miembros de la academia, así como en otros espacios de divulgación aunque con bajo perfil. Cada año organiza el otorgamiento de premios AGROBIO, tales premios se conceden para la investigación en biotecnología, conservación y el periodismo en plantas GM y asuntos de seguridad alimentaria (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015).

Del lado opositor, Wolf y Otero (2013, 2015) no mantienen una posición imparcial en cuanto al debate. La organización Greenpeace, una de las principales organizaciones no gubernamentales que encabeza la oposición a la introducción comercial del maíz transgénico, no es mencionada en su informe. Tampoco se señala por su nombre a cada una de las organizaciones no gubernamentales, integradas por investigadores de universidades públicas y organizaciones campesinas, como la Red en Defensa del Maíz y el Colectivo Civil del Maíz (o Colectividad en defensa del Maíz), que fue la organización que promovió la resolución judicial contra los permisos para sembrar maíz transgénico en el país, en 2013<sup>37</sup>. Dichas organizaciones también realizan acciones de divulgación científico-tecnológica, pero combinan tal información con mensajes ciertamente emocionales.

En 2014, el grupo mexicano de rock “botellita de jerez” incluso colaboró con Greenpeace, creando una canción llamada “sin maíz no hay país”<sup>38</sup>. En el video musical de la canción se muestran diversas escenas de las manifestaciones públicas en torno a la comercialización del maíz transgénico. Aunque parezca un asunto trivial, no está por demás señalar que este tipo de mensajes tiene mucho más penetración y convencimiento en el seno

---

<sup>37</sup> Sitios web de organizaciones no gubernamentales opositores al maíz transgénico:

Demanda colectiva del maíz: <http://demandacolectivamaiz.mx/wp/> Consultado el 20 de junio de 2016

Red en defensa del maíz: <http://redendefensadelmaiz.net/#&panel1-2> Consultado el 20 de junio de 2016

Fundación semillas de vida, A.C.: <http://www.semillasdevida.org.mx/index.php> Consultado el 20 de junio de 2016

Noticia sobre la medida precautoria: <http://www.jornada.unam.mx/2013/11/08/opinion/020a1pol> Consultado el 20 de junio de 2016

<sup>38</sup> Fuente: <https://youtu.be/5MEsNriEOlo> visitado 20 de junio de 2016.

de la opinión pública (los consumidores), que la información científico-tecnológica divulgada en seminarios o los propios sitios web de opositores y defensores.

Pero más allá de los mensajes emocionales, el argumento principal de los opositores se basa en la estimación de que en México se tienen 59 razas y más de 1000 variedades de maíz nativo, que tal biodiversidad está en peligro y se le provocará un daño irreversible al liberarse el cultivo comercial del maíz transgénico. Además de que la “soberanía alimentaria” se vería comprometida, pues se tendría una dependencia muy fuerte de los productores con las empresas transnacionales que patentan OGM.

Ahora bien, la mayor parte de la información presentada por estas organizaciones se torna política y presenta pocos argumentos científico-tecnológicos. El sitio que incluye más información de este tipo es el de la Unión de Científicos Comprometidos por la Sociedad (<http://www.uccs.mx>). Es el sitio además se recopilan firmas de respaldo a la campaña “no al maíz transgénico en México”, la cual de acuerdo con la organización ya ha sido firmada por cerca de 90,000 personas.

Mientras el debate y el conflicto continúa, es necesario enfatizar que la batalla que estas organizaciones opositoras piensan estar luchando en realidad ya ha sido perdida de varias formas. En primer lugar, las empresas transnacionales son las que han promovido las modificaciones a la ley en la materia desde los años noventas, con lo cual se abrió un paso importante para el desarrollo de variedades vegetales en el país. Al mismo tiempo, las instituciones públicas de México no han tenido la capacidad para desarrollar la biotecnología en la misma magnitud, ni hacer divulgación científica de ésta; es por ello que el juego de las semillas mejoradas ha tenido y sigue teniendo un solo ganador. Pese a que se tengan bloqueados los cultivos transgénicos en el país, los mexicanos debemos pensar que en realidad las tortillas con la que comeremos hoy en día tal vez provengan de maíz transgénico, pues las importaciones de éste, ya se ha dicho, provienen esencialmente de países donde se cultivan principalmente transgénicos.

Fuera del debate, también es necesario resaltar que son necesarios más estudios sobre los argumentos a favor y en contra de los cultivos transgénicos, pero que provengan de personas y organizaciones imparciales, que analicen la naturaleza de las argumentaciones. Pues en el debate actual, los intereses económico-políticos dejan mucho espacio para la especulación sobre la autenticidad de los datos y pruebas que presentan ambas partes.

## La Biotecnología en Italia

A diferencia del caso mexicano, en el caso italiano existen pocas referencias bibliográficas que describan la evolución de la biotecnología como disciplina científico-tecnológica, al interior de las universidades y centros de investigación. La información existente en la literatura se refiere principalmente a la biotecnología ya presente en la industria, y no dentro de la academia.

A pesar de ello, se puede asegurar que en el desarrollo de la biotecnología en Italia existen tres periodos importantes: el periodo de Domenico Marotta y el Instituto Superior de Sanidad (ISS), la emergencia de la política pública que considera el desarrollo de la biotecnología en Italia, y la expansión de la industria biotecnológica representada por *start-ups*.

A continuación se muestran algunos de los principales eventos que determinaron el desarrollo de la biotecnología en Italia.

Figura 47. Principales eventos para el desarrollo de la Biotecnología en Italia

1945	Por sus investigaciones sobre la penicilina, Ernst Boris Chain recibe el Premio Nobel en Medicina o Fisiología junto con Howard W. Florey y Alexander Fleming.
1947	Daniel Bovet comienza a laborar en el Instituto Superior de Sanidad, Roma.
1951	Establecimiento del Centro Internacional de Química Microbiológica en el Instituto Superior de Sanidad, Roma.
1957	Daniel Bovet recibe el Premio Nobel de Fisiología o Medicina.
1961	Publicación del primer número de " <i>Scientific Reports of the Istituto Superiore di Sanità</i> ".
1982	Reorientación de la política pública hacia la ciencia y la tecnología. En este año se aprueba la Ley 46 con el propósito de reorganizar e incrementar el gasto público en investigación aplicada.
1984	Publicación de FAST Report por parte de Federchimica en 1984 y publicación de Federchimica Report en 1986.
1985	Establecimiento del Comité Nacional para la Biotecnología en el Ministerio de Investigación Científica.
1986	Rita Levi-Montalcini recibe el Premio Nobel de Fisiología o Medicina. Colaboradora del Instituto Superior de Sanidad, Roma.
1986	Creación de Assobiotec al interior de Federchimica. Asociación para el desarrollo de la biotecnología en el país <sup>39</sup> .
1986	Aprobación del Plan Nacional para la Biotecnología. Primer lineamiento de política pública para el desarrollo de la disciplina.
1987	Puesta en marcha del "Proyecto finalizado - CNR" para la biotecnología. Dirigido a financiar investigación básica y colaboración industria-universidad.
1987	Creación del Centro Internacional para la Ingeniería Genética y la Biotecnología (ICGEB), promovido por la UNIDO. Se establecen como principales líneas de investigación: ADN-r, virología y conversión de biomasa.
ND	Creación de la División de Biotecnologías y Agroindustria por la Agencia Nacional de Energías Alternas (ENEA) con el propósito de promover la transferencia de tecnología hacia el campo.
1993	Fundación del Parque Científico San Raffaele. Promovido por el carismático y muy controversial sacerdote y emprendedor Don Luigi Verzè; quien también fuera director del Hospital San Raffaele de Milán.
2000-2016	Expansión de las empresas biotecnológicas en el país. De acuerdo a Assobiotec, se pasa de menos de 200 establecimientos en el año 2000 a 500 en 2016.

<sup>39</sup> <http://assobiotec.federchimica.it/home>

## **Domenico Marotta y el *Istituto Superiore di Sanità* (1930s-1960s)**

El primer periodo se refiere a la labor que realiza Domenico Marotta, quien da un impulso muy importante a la investigación clínica multidisciplinaria en el Instituto Superior de Sanidad (ISS), en Roma. Marotta, director del Instituto de 1935 a 1961, promueve proyectos de investigación colaborativa e incorpora a Daniel Bovet a trabajar en el Instituto, quien a su vez ganaría el Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1947. Esta acción da paso al establecimiento del Centro Internacional de Química Microbiológica, y al desarrollo de investigaciones que se divulgan por primera vez en 1961, en el Journal “*Scientific Reports of the Istituto Superiore di Sanità*”. En este periodo existe una gran contribución a la biología molecular, base de la investigación biomédica (Pocchiari, 1990).

Domenico Marotta fue originario de Palermo, donde desde joven se involucró en actividades activistas. Estudió química y farmacia en la universidad de Palermo hacia 1909, y en 1911 comienza a trabajar en el Instituto Químico de la universidad, en Roma. Fue profesor en el Instituto Técnico Leonardo da Vinci de Roma, la Universidad de Roma, y fundador junto con otros químicos de la Asociación Italiana de Química general y aplicada en 1919. En 1924, Marotta forma parte de la reunión en la Academia Nacional de Bachilleratos para la constitución del Consejo Nacional de Investigación (CNR); posteriormente, en 1929 el presidente del CNR designa a Marotta como representante del Laboratorio Químico de la Sanidad, del comité nacional químico (órgano técnico del ministerio interno). Marotta toma el cargo de la dirección del Instituto Superior de Sanidad (fundado con el nombre de Instituto de Sanidad Pública) en 1935, un año después de que el instituto se había trasladado a una nueva sede. El mismo Marotta había participado en el proyecto de la nueva sede, que a su vez recibió fondos por un millón de dólares de la Fundación Rockefeller de Nueva York. Para entonces, el Instituto ya contaba con una serie amplia de laboratorios y personal dedicado a varias áreas: microbiología y bacteriología, química aplicada e higiene, sanidad pública y control de la salubridad de sustancias alimentarias, física (plantas de radiografía, uso terapéutico de las sustancias radioactivas), y estudios sobre la malaria; así como otros laboratorios de biología e ingeniería sanitaria, biblioteca, y museo biomédico y sanitario. Es director del instituto hasta su jubilación. Entre las diversas actividades descritas sobre el impulso a la investigación multidisciplinaria, también destaca el hecho de que después del descubrimiento de los antibióticos propone al presidente del consejo, A. De Gasperi, ampliar las labores del ISS con la creación de una nueva estructura para la producción de penicilina,



lo cual cambia el curso de la industria farmacéutica en Italia, con el comienzo de la producción de antibióticos por fermentación. Ello aseguraba que el intento de E.B. Chain por impedir que el fármaco, desarrollado por él mismo en conjunto con A. Fleming y H.W. Florey, fuera puesto en vínculos de licencia bajo una patente; Italia era uno de esos países donde era posible. En 1948 el personal del Instituto alcanza las 114 personas formadas en licenciatura en áreas científicas, se constituye el laboratorio de química terapéutica y la dirección se le otorga a D. Bovet, farmacólogo en ese entonces del Instituto Pasteur de París, se crea entonces el Centro Internacional de Química Microbiológica, donde pueden operar como encargados los especialistas del sector involucrados en los nuevos descubrimientos, haciendo posible la construcción de las instalaciones y la gestión del personal de la fábrica, que inicia la producción en 1952<sup>40</sup>.

Por otra parte, Daniel Bovet fue originario de una familia sueca de elevado perfil socio-cultural, emparentada a su vez con un círculo importante de familias protestantes franco-suecas, en las cuales también nace Jacques Monod (Premio Nobel de Fisiología o Medicina en 1965, colega de Bovet en el Instituto Pasteur de París y director del instituto hasta su muerte en 1976). De alguna forma, Bovet desarrolla vocación por el estudio del sistema nervioso y del comportamiento a partir de los antecedentes familiares; su padre fue un psicopedagogo que había establecido un centro de investigación en psicología infantil. Bovet estudia ciencias biológicas en la universidad de Ginebra en 1927 y consigue el doctorado en ciencias naturales en 1929, año en el que también se incorpora al Instituto Pasteur de París, trabajando como asistente y después como jefe de laboratorio. En los primeros años de 1930 colabora con Filomena Nitti (esposa), Federico Nitti, y Jacques Tréfouël en la estabilización del principio activo del primer antibacterio eficaz – la sulfamidocrisoidina (Prontosil rojo). En los mismo años desarrolla un importante trabajo de innovación en diversos campos de la química, en particular con los primeros remedios sintéticos, los primeros antihistamínicos y varios medicamentos del sistema nervioso vegetativo. Tal actividad de investigación de Bovet disminuye con la ocupación alemana durante la segunda guerra mundial (1940-44). Al final de la guerra, éste acuerda con su esposa trasladarse a Italia para contribuir a la recuperación de las actividades de la investigación biomédica, y es entonces cuando acepta la invitación del director del ISS, Domenico Marotta, de manera que en 1948 se funda el nuevo laboratorio de química terapéutica bajo la dirección de Bovet, quien previamente adquiere la ciudadanía italiana. Respecto al proyecto original, la coexistencia de equipos de investigación con

---

<sup>40</sup> Fuente: [http://www.treccani.it/enciclopedia/domenico-marotta\\_%28Dizionario-Biografico%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/domenico-marotta_%28Dizionario-Biografico%29/) consultada el 8 de agosto de 2016.

creciente integración y diversificación guiados por Bovet y Chain, así como la complementariedad de los objetivos de investigación y desarrollo, proyectaron en el ISS el primer plano sobre la escena científica biomédica internacional. Ello da lugar a un incesante peregrinar de investigadores visitantes, a menudo de fuertes delegaciones de diversos países se ocupan del estudio de las innovaciones desarrolladas al interno del ISS<sup>41</sup>.

De acuerdo con Pocchiari (1990), la fundación del Centro Internacional de Química Microbiológica por Domenico Marotta, marca el inicio de la biotecnología en Italia. El desarrollo del ISS y del propio Centro sucede dentro de una estructura multidisciplinar que establece Marotta. Posteriormente, se le otorga la dirección del Centro a Ernst Boris Chain, quien fuera ganador del Premio Nobel en 1945, junto con Howard W. Florey y Alexander Fleming, por sus investigaciones sobre la penicilina (el antibiótico que da pie a la quimioterapia antiinfecciosa moderna). Sobre todo en este periodo el Centro se convierte en un punto de encuentro para la colaboración entre químicos, bioquímicos, médicos, genetistas, micólogos, microbiólogos, físicos e ingenieros, provenientes de otras instituciones italianas pero también de instituciones extranjeras, realizando estancias de adiestramiento y colaboración.

Pocchiari (1990), cuestiona si en la Italia de los ochentas no hubiera sido más útil la concentración de recursos en la creación de un centro de excelencia científica, dedicado a la biotecnología (como el Centro Internacional en cuestión), en lugar de dispersar los recursos en los diversos asuntos que abordan los proyectos financiados alrededor del país. En efecto, como veremos más adelante, posterior al periodo de auge que se vivió en el ISS, en los ochentas se otorgan los primeros financiamientos a proyectos de investigación en biotecnología alrededor de Italia.

Es importante destacar que en la escasa literatura sobre el desarrollo de la biotecnología en Italia, se señala que el poco desarrollo de la biología molecular en el país no ha permitido que esta disciplina se extienda a la industria; este señalamiento se encuentra especialmente en los textos de Orsenigo (2001). Sin embargo, es de destacarse el periodo de Marotta en el Instituto Superior de Sanidad, pues se asegura que este periodo fue la base de la expansión de la industria de antibióticos en Italia. Pocchiari (1990) lo describía de la siguiente manera “La creazione di un centro di eccellenza scientifica ebbe nell’Italia di ieri come risultato lo sviluppo dell’industria degli antibiotici in Italia”.

---

<sup>41</sup> Fuente: [http://www.treccani.it/enciclopedia/daniel-bovet\\_%28Dizionario-Biografico%29/](http://www.treccani.it/enciclopedia/daniel-bovet_%28Dizionario-Biografico%29/) consultada el 8 de agosto de 2016.

## **La emergencia de la política pública para la biotecnología (1980s-1990s)**

El segundo periodo importante para el desarrollo de la biotecnología en Italia, que aparece más frecuentemente en la literatura sobre el tema (Orsenigo, 1989, 2001), se refiere a los años ochentas donde se establecen los primeros lineamientos de política pública para el desarrollo de esta disciplina en el país, así como un gran impulso de Federchimica a la investigación en la materia.

De acuerdo con Orsenigo (1989), antes de 1986 no existió ningún elemento de política pública enfocado en el desarrollo de la biotecnología. El primer pronunciamiento al respecto sucede con la conformación del Comité Nacional para la Biotecnología (1985), y el Plan Nacional para la Biotecnología (1986), con lo cual se tenía programado destinar L400 millones de liras italianas a la investigación aplicada en la industria, enfatizando la necesidad de crear vínculos más estrechos entre la industria y la universidad. A pesar de ello, el financiamiento otorgado mediante el programa fue de L200 millones; casi la mitad de ellos fueron destinados (de acuerdo con los procedimientos de la Ley 46) a proyectos de investigación biomédica, mientras la otra mitad se distribuyó entre proyectos de procesos bioquímicos, energía y aplicaciones ambientales, así como proyectos relacionados con la agricultura. En 1987 se lanza el “Proyecto finalizado - CNR” para la biotecnología, con lo que se destinan L87 millones de liras principalmente al financiamiento de la investigación biomédica, durante un periodo de cinco años. Aunque se menciona que en estos pronunciamientos de política no se habían definido áreas prioritarias de desarrollo dentro de la biotecnología, el financiamiento otorgado mediante ambos programas (Plan Nacional y Proyecto Finalizado CNR) se dirigió prioritariamente a la investigación de aplicaciones en biomedicina, y en segundo plano a la agricultura y la alimentación. Ello, adicional a que ya existía una tradición importante de investigación en el campo biomédico desde el periodo de auge del ISS, puede explicar en parte que en nuestros días se nota un mayor desarrollo de la biotecnología aplicada a la medicina en el país, a diferencia de aquella dirigida a la agricultura, la energía y el medio ambiente.

Estos lineamientos de política tienen como antecedente la aprobación de la Ley 46 en 1982, con la cual se pretendía reorientar el gasto público hacia la investigación científica, dando mayor prioridad a la investigación aplicada. Asimismo, el otro antecedente importante es la publicación de dos reportes por parte de Federchimica: el primero en 1984 y el segundo en 1986. De acuerdo con Orsenigo (1989), con tales reportes Federchimica, industria muy importante en el sector químico italiano, comenzó a realizar acciones de presión al gobierno

demandando mayor intervención en el desarrollo de la biotecnología. Para Orsenigo, Federchimica es quizá la institución que más influencia tuvo para el desarrollo de la biotecnología italiana. De igual forma, Orsenigo menciona que los debates internacionales sobre la legislación de patentes que se llevaban a cabo en tal época, así como las directrices que se vislumbraban en torno a la investigación sobre el ADN, provocaron que las agencias de gobierno italiano se dieran cuenta de que el país se estaba rezagando en cuanto al apoyo de la biotecnología.

Los reportes incluían información de las actividades llevadas a cabo en la universidad y la industria, hasta ese momento en torno a la biotecnología, así como las experiencias llevadas a cabo en otros países. Asimismo, hacían énfasis en la necesidad de apoyar la investigación básica, y la creación de vínculos universidad-empresa, así como en la falta de financiamiento para proyectos de innovación. Sin embargo, no realizaban una propuesta de política concreta para la biotecnología. Aún así, mencionaban la necesidad de establecer una política gubernamental, inspirándose en cierta medida en la experiencia británica (Orsenigo, 1989). Es importante mencionar que los informes de Federchimica describen un panorama de la investigación científica en Italia poco alentador. En ellos se asegura que, a pesar de la tradición que se tiene en el país en investigación de la biología, las capacidades generales de Italia eran bastante bajas en comparación con otros países (particularmente en ingeniería genética); el “sistema” se encontraba bastante fragmentado en pequeños grupos de investigadores localizados en diversas universidades e instituciones (aspecto muy similar al caso mexicano en el mismo periodo). Otra similitud con el caso mexicano es que el sistema de investigación italiano había tenido una tendencia marcada hacia la investigación básica, y una débil tradición de vincularse con la industria (Orsenigo también menciona estos aspectos como característica de los sistemas de investigación en Francia e Inglaterra).

Es importante recordar que, en general, el desarrollo de la biotecnología en Italia sucedió justo después de que ésta se desarrollara en los cinco países estudiados por Orsenigo (1989): Estados Unidos primordialmente, Japón que se equiparó rápidamente con Estados Unidos, y el conjunto de países europeos compuesto por el Reino Unido, Alemania y Francia. De acuerdo con Orsenigo, la existencia de la biotecnología en Italia ni siquiera se había percibido por aparato gubernamental antes de la mitad de los ochentas. También el desempeño de la industria italiana, en términos generales, estaba muy por detrás de los países antes mencionados e incluso de otros más, mencionados por Orsenigo (2001): Suiza, Suecia y Dinamarca. A continuación se muestra la tabla de Orsenigo sobre las principales

organizaciones italianas, involucradas en actividades de innovación en biotecnología en el periodo de 1978 a 1996.

Figura 48. Principales organizaciones innovadoras de la biotecnología en Italia

Institución	Numero de patentes (OEP) <sup>a</sup>	Porcentaje total de patentes italianas <sup>b</sup>
1978-1990		
Eniricerche	12	25.0%
Sclavo	7	14.6%
Farmitalia Carlo Erba	6	12.5%
1990-1996		
Eniricerche	16	14.7%
Biocine	10	9.2%
Pharmacia & AMP Upjohn	9	8.3%
Consiglio Nazionale delle Ricerche	9	8.3%

<sup>a</sup>Solicitudes de patente en la Oficina Europea de Patentes

<sup>b</sup>Elaboración de Orsenigo de la base de datos OEP-CESPRI (Center on the Processes of Innovation and Internationalization, Bocconi University, Milan, Italy)

Fuente: Orsenigo (2001)

Orsenigo (1989), enfatiza que el gobierno italiano de los ochentas careció de la experiencia necesaria, así como de una estructura administrativa, para implementar y guiar una política coherente para la innovación tecnológica en general. Resalta que el apoyo gubernamental a la innovación había sido tradicionalmente débil en Italia, tanto en el gasto total como en los instrumentos de política utilizados hasta entonces. Por tanto, la ley 46, así como la conformación del Comité Nacional para la Biotecnología, y los financiamientos exclusivamente dedicados a ésta, representan una mejora significativa en el nivel y la eficiencia de los apoyos a la innovación industrial durante los ochentas.

A pesar de los cambios en los planteamientos de política de 1986, Orsenigo (1989) menciona que durante los ochentas la mayor debilidad de la política italiana hacia la innovación, había sido la falta de una estructura capaz de evaluar y monitorear los desarrollos tecnológicos, así como las actividades de investigación básica y aplicada. Así, para Orsenigo, la intervención del gobierno había sido débil, irregular y tardía. En comparación con otros países, el financiamiento otorgado por el gobierno había resultado muy bajo, y estaba dirigido en su mayoría a las universidades (cerca de dos tercios del total), a través del Consejo Nacional de Investigación (CNR). Pero más aún, además del financiamiento ya mencionado

anteriormente, una estimación que aporta Orsenigo (2001) se refiere al total de gasto público destinado a actividades de investigación básica y aplicada, así como a la colaboración universidad-industria; en la estimación tal gasto alcanzó entre L1,000 y 1,200 millones de liras italianas en el periodo de 1987 a 1996, otorgadas a través de diversas entidades públicas como el CNR, el Ministerio de Educación, Universidad e Investigación (MIUR), el Ministerio de Agricultura, etc. Pero el análisis de los planes nacionales sobre biotecnología, promovidos por el MIUR, permitían observar que durante el periodo de 1989 a 1997 en el financiamiento sólo había participado un número pequeño de universidades, y un número muy reducido de compañías (con resultados limitados pues sólo una patente se había extendido fuera de Italia). Al final, el financiamiento a la biotecnología se había dispersado en diversos proyectos generales sin ninguna prioridad definida. Con la reorganización que sucede al establecerse el Comité Nacional para la Biotecnología, conformado por científicos e industriales del ramo en aquella época, así como su propuesta de Plan Nacional de Biotecnología en 1986, se identifica como prioridad el financiamiento de la biotecnología aplicada a la salud (que está más cerca de la comercialización), y posteriormente a la biotecnología aplicada a la agricultura y el sector agroalimentario en general.

Para Orsenigo (1989), evaluar la política gubernamental hacia la biotecnología durante los mismos años ochentas, resultaba evidentemente prematuro. Sin embargo, hacía mención de carencias importantes que ya era posible identificar: a) impulso a la creación de nuevas empresas; b) la definición de lineamientos para la investigación; c) la adaptación de la legislación sobre patentes. Estos aspectos, según Orsenigo, eran las principales causas del retraso de Italia en cuanto al desarrollo del mercado para la biotecnología. En comparación con los demás países donde el mercado ya se había sofisticado, en Italia no habían surgido empresas de alta tecnología, ni se había atraído capital de riesgo.

Por otra parte, existen dos iniciativas más durante los ochentas que resultan importantes para el desarrollo de la biotecnología en Italia. Primero, la participación gubernamental para la fundación del Centro Internacional para la Ingeniería Genética y la Biotecnología (ICGEB) en 1987. La creación de este centro había sido promovido por la UNIDO<sup>42</sup>, con el propósito de crear centros de investigación que a su vez provocaran impacto socioeconómico relevante, con el desarrollo de la biotecnología para los países de Latinoamérica y otros países subdesarrollados (Casas, 1993; Orsenigo, 1989).

---

<sup>42</sup> ONUDI en español.

Por otro lado, dentro de la Agencia Nacional de Energía Alternas (ENEA) se crea en el mismo periodo la División de Biotecnologías y Agroindustria, con el propósito de promover la transferencia de tecnología hacia el campo. La ENEA y Federchimica se convierten desde esos años hasta la actualidad en dos de los principales organismos (uno público y otro privado), que mayormente promueven la biotecnología en Italia. En 1986, al interior de Federchimica se crea Assobiotec, asociación empresarial para el desarrollo de la biotecnología en el país. Esta organización actualmente tiene más de 140 asociados, entre compañías y parques tecnológicos dedicados a la investigación, el desarrollo, la manufactura y comercialización de aplicaciones biotecnológicas (ASSOBIOTEC, Bonaccorso, 2015).

Además de la presencia de Federchimica, existen dos grupos que tienen gran interés en la química y que desarrollaron en la misma época grandes capacidades en biotecnología: ENI (Ente Nazionale Idrocarburi) y Montedison. El ENI desarrolla investigación en biotecnología dentro de los laboratorios del grupo Eniricerche. Además adquiere Sclavo, una compañía mediana localizada en Siena, la cual se consideraba entre los líderes mundiales en la producción de vacunas. Mientras del lado de Montedison se desarrollaba investigación en los laboratorios Farmitalia-Carlo Erba, el Istituto di Ricerche Donegani, además de expandir tales actividades con la adquisición de la compañía española Antibióticos, y de la colaboración con universidades locales, laboratorios americanos y otras compañías especializadas en biotecnología (Orsenigo, 2001). De igual forma, estaban presentes algunas compañías farmacéuticas como Lepetit (que posteriormente fue adquirida por Dow Chemicals). Desde los primeros años de la década de 1970, en la empresa ENI se habían desarrollado técnicas avanzadas para la producción de proteína unicelular; dos grandes plantas se habían construido con ese propósito. Sin embargo, ante la falta de autorización gubernamental el producto no llegó a su comercialización (Orsenigo, 1989).

A pesar de ello, la industria italiana de la época logró desarrollar relativamente altas competencias en la producción de enzimas, fermentación y técnicas de purificación. Asimismo, algunas compañías farmacéuticas también adquirieron capacidades importantes para la inmovilización de enzimas. Pero otras áreas estuvieron ausentes, tales como la fusión celular, el cultivo de células, así como las aplicaciones hacia la agricultura (Orsenigo, 1989).

La incorporación de la industria en el área de la biotecnología fue lenta, y no ocurrieron actividades significativas de innovación relacionadas con esta disciplina antes de 1982. Además de ENI y Montedison, sólo algunas empresas farmacéuticas medianas mostraron interés en la biotecnología, mientras que las empresas susceptibles a ser impactadas

por la biotecnología, con excepción de la industria química, se caracterizaban por su estructura de mercado fragmentada y mostrando bajo compromiso con la innovación tecnológica, en comparación con sus más grandes competidores (éste sería el panorama de la industria mexicana que prevalece en nuestra época). Muestra de esta ausencia de actividades de innovación en biotecnología, es el bajo número de registros de patente que se alcanzó durante el periodo de 1978 hasta 1996, que fue tan solo de 163 solicitudes de patente ante la Oficina de Patentes Europeas (Orsenigo, 2001).

Las capacidades tecnológicas eran particularmente bajas en área de la alimentación y la agricultura. Finalmente, la industria química hasta los ochentas había sido debilitada significativamente por la recesión económica, y sufrió reestructuraciones profundas a inicios de la misma década. Sin embargo, continuó muy ligada a los productos químicos a granel y menos diversificada que los competidores europeos y americanos. El panorama a inicios de los noventas fue aún más devastador, las iniciativas de la industria química y farmacéutica ligadas a proyectos de investigación y desarrollo en biotecnología se disminuyeron drásticamente, debido a la crisis profunda que enfrentaban. Parte de la crisis obligó a que Montedison-Farmitalia Carlo Erba fuera adquirido por Pharmacia, y Sclavo (posteriormente denominado Biocine) fuera adquirido por Chiron. Sin embargo, los proyectos de investigación y desarrollo sufrieron reestructuraciones y muchos fueron discontinuados, además de que algunos se comenzaron a desarrollar en las sedes de las empresas nuevas para compensar la disminución del financiamiento local. De este modo, durante los noventas el 70% de los productos farmacéuticos en el mercado italiano eran desarrollados por empresas de capital extranjero y las grandes transnacionales.

## **La biotecnología en Lombardía**

En informes posteriores, Orsenigo (2001) da cuenta del desarrollo en biotecnología que emerge en la región de la Lombardía, aunque en realidad tal evolución coincide en su mayor parte con la historia de la biotecnología en Italia en su conjunto. Por principio de cuentas se debe señalar que en especial Milán (capital de la Lombardía), ha sido tradicionalmente un polo de concentración socioeconómico, transcendental para Italia en toda su historia, y que en materia de innovación tecnológica la concentración de las actividades se da en pocas regiones, como la Lombardía, la Toscana y Lacio. Durante el periodo de 1979 a 1996 las solicitudes de patente ante la Oficina Europea de Patentes (OEP), provenientes de la Lombardía representaban cerca de la mitad del total italiano (43.9%). Mientras que en conjunto, cerca del



80 por ciento de las solicitudes italianas provenían de las tres regiones antes mencionadas. Aunque no es explicado por Orsenigo, se puede deducir la razón de esta distribución de patentes. La figura 48 muestra a las organizaciones que habían registrado la mayor solicitud de patentes de la época, así se puede ver que Eniricerche y Farmitalia Carlo Erba (Farmacia) tenían su sede en Milán, Sclavo (Biocine) tenía su sede en Siena dentro de la Toscana, mientras que en Lacio se establecieron varias sedes de empresas multinacionales y se conformaron varios laboratorios de investigación en Pomezia (en las cercanías de Roma).

En el caso de la Lombardía, Orsenigo (2001) considera que parte de la aglomeración de las actividades de innovación se explica porque Milán había tenido una fuerte concentración de laboratorios de investigación, tanto académica como industrial, y había sido por mucho el mayor centro financiero de Italia; además de que tradicionalmente ha sido uno de los centros más importantes en investigación académica sobre la medicina y la biología, por consiguiente, la mayor parte de la industria química y farmacéutica se localizó tradicionalmente en la Lombardía. Visto desde cualquier parámetro (gasto en investigación y desarrollo, patentes, número de investigadores, etc.) en esta región se mostraba fuerte especialización en química y farmacéutica.

A inicios de los noventa, el 49% de las empresas italianas activas en biotecnología se habían establecido en la Lombardía; en consecuencia, ahí se concentraba el 36.3% de los investigadores que trabajaban en la industria, y el 42.6% de los laboratorios de investigación del país. El 29% de los fondos públicos distribuidos a través del CNR (proyectos finalizados), fueron atraídos en la Lombardía, y cerca del 60% de las colaboraciones entre firmas nacionales, extranjeras y con universidades, habían involucrado a compañías y universidades localizadas en la región (Orsenigo, 2001).

Ante este panorama, durante los noventa se llevaron a cabo iniciativas importantes, como la creación de parques científicos que se proponían congrega investigación académica e industrial, promoviendo investigación colaborativa y sirviendo como incubadoras de *spin-offs* académicas. La primera iniciativa resultó poco satisfactoria, se trata de llamado “Biopolo” establecido a finales de los ochenta. El proyecto involucraba a un consorcio de empresas farmacéuticas y académicos de facultades de biología, química y ciencias agrícolas de la Universidad Estatal de Milán, así como a las autoridades locales; el área en la que tenían mayor interés era la biotecnología, aplicada a la agroalimentación y el medio ambiente. El proyecto caminó a paso muy lento, debido al escándalo que había sucedido en la industria

farmacéutica<sup>43</sup>, la intromisión de la política, y la política dentro de la academia. Las actividades más significativas que se llevaron a cabo fueron esencialmente de capacitación y docencia; sin embargo, con la creación de la Segunda Universidad Estatal de Milán en 1998, el Biopolo comenzó a operar de forma más sistemática, además de que se creó la Facultad de Biotecnología. Fue entonces cuando el Biopolo comenzó a ser un lugar de encuentro para la investigación (Orsenigo, 2001).

La segunda iniciativa se refiere al establecimiento del parque científico, promovido por el carismático y muy controversial sacerdote y emprendedor Don Luigi Verzè, quien también fuera director del Hospital San Raffaele de Milán. El hospital San Rafael había sido concebido poniendo gran prioridad a la investigación científica, particularmente en biotecnología y biología molecular, de manera que rápidamente se convirtió en un centro líder en el área de biomedicina en Italia; su reputación, estándares y relaciones internacionales eran de las más altas y consolidadas en el país. De forma que el Parque Científico San Raffaele había sido establecido inicialmente sin financiamiento público. Su expansión alcanzó hacia finales de los noventa 63 unidades de investigación, incluyendo laboratorios del CNR, el politécnico de Milán, así como la Universidad “Vita e Salute”. Del lado de la industria, tenían participación un número importante de compañías farmacéuticas internacionales y un par de *start-ups*. Asimismo, el parque científico hospeda también laboratorios financiados por iniciativas como el Teletón y otras fundaciones privadas.

Por otra parte, Lombardía comenzaba a ser un centro importante de empresas *spin-offs* en biotecnología, pero es importante recalcar que Orsenigo (2001) refiere que las *spin-offs* creadas no provenían de las universidades, sino que se trataba de *spin-offs* industriales; es decir, provenientes de reestructuraciones de las grandes compañías farmacéuticas. En tales casos se encontraban empresas como Lepetit (líder en antibióticos), Newron (investigación sobre el sistema nervioso central), y Novuspharma (oncología).

### **Razones por las que la biotecnología se desarrolló de modo tardío en Italia, en comparación con los países líderes**

Orsenigo (2001) consideraba que, hacia finales de los noventa, Italia ya se había rezagado en comparación con los países donde se había desarrollado la biotecnología, especialmente frente a Estados Unidos. Aunque argumenta algunas razones por las cuáles fue posible la expansión

---

<sup>43</sup> Orsenigo (2001) refiere que, a inicios de los noventa, se suscitó una serie de escándalos relacionados con un sistema de sobornos en el proceso para determinar los precios de los medicamentos; acontecimiento que debilitó aún más la industria farmacéutica de la época.

de la biotecnología en tal país, y no en los países europeos. Entre los principales factores que influyeron Orsenigo identifica los siguientes:

1. Una base científica, tecnológica e industrial fuerte (y dinámica).
2. Mecanismos que favorecieron la comunicación y transferencia de conocimiento, entre la academia y la industria.
3. Un clima financiero favorable.
4. Un sistema fuerte de protección de la propiedad intelectual.
5. Un clima regulatorio que no restringió la experimentación genética.

#### 1. Base científica

Orsenigo (2001), asegura que los factores anteriormente mencionados no estuvieron presentes en los países europeos; aunque en cierta medida lo estuvieron en el Reino Unido, en general, para el resto de los países dichos factores representaron una limitante en el desarrollo de la biotecnología, por lo que ésta se desarrolló en modo más tardío y en formas diferentes. De igual forma, le da mucho peso al hecho de que en Estados Unidos el desarrollo de la biología molecular jugó un papel transcendental en el establecimiento de *spin-offs*, y fue lo que caracterizó a la biotecnología de los ochentas. Destaca que en el Reino Unido también se había presentado un desarrollo importante en esta área, lo que le dio una ventaja relativa frente a Alemania y Francia, países donde más auge encontró la biotecnología en años posteriores. Como lo hemos señalado al inicio de este apartado, para Orsenigo, la biología molecular no había sido especialmente fuerte en Italia, aunque existían varios grupos de investigación alrededor del país que se dedicaban a laborar sobre esta área.

Figura 49. Instituciones pioneras en investigación sobre biología molecular en Italia.		
Región/ciudad	Institución	Comentarios
Nápoles	Instituto Internacional de Genética y Biofísica	James Watson fue director del Instituto durante algunos años en la década de los sesentas. Varias generaciones de investigadores, que posteriormente se distribuyeron alrededor de Italia, se formaron en este Instituto.
Pavía	Istituto di Genetica dell'Università di Pavia	Adriano Buzzati Traverso fue la figura principal del Instituto. Fue fundador del Instituto de Genética en la Universidad de Pavía en 1948, investigador y docente de tal instituto hasta 1961, y director en 1962. Orsenigo (2001) señala que los estudios sobre genética prácticamente nacieron en Italia gracias a los trabajos de Buzzati. Buzzati había estudiado por un año con el genetista Jay L. Lush, en Iowa State University en los Estados Unidos en 1942, y se graduó de la Universidad de Milán en 1936 en biología. En 1962, con el apoyo del Consejo Nacional de Investigación (CNR) y otras organizaciones, Buzzati fundó el laboratorio internacional de genética y biofísica en Nápoles, del cual fue director en 1968. Este laboratorio después se convirtió en el Instituto Internacional de Genética y Biofísica.
Génova	Instituto de Investigación sobre Tumores Instituto Nacional para la Investigación del Cáncer	En Génova se desarrolló una tradición importante sobre el estudio de la inmunología, y se estableció el Instituto de Investigación sobre Tumores, emanado del Instituto Nacional para la Investigación del Cáncer. El instituto se convirtió en un centro importante de la investigación de frontera en oncología experimental e inmunología, estableciendo una red sólida de interacción con laboratorios americanos y británicos; posteriormente, durante la mitad de los ochentas, sufrió de una fuga de talentos, al tiempo que se trataba de repatriar a investigadores italianos.
Milán	Istituto di Ricerche Farmacologiche Mario Negri	Inicialmente ubicado en Bérgamo, el Instituto de Investigaciones Farmacológicas "Mario Negri" fue fundado por Silvio Garattini (joyero y filántropo milanés) en 1961, posteriormente abrió sedes en Milán.

Fuente: Elaboración propia con base en Orsenigo (2001). Sitio web: [http://www.treccani.it/enciclopedia/adriano-buzzati-traverso\\_\(Dizionario-Biografico\)](http://www.treccani.it/enciclopedia/adriano-buzzati-traverso_(Dizionario-Biografico)) consultado el 1 julio de 2016.

Orsenigo (2001), menciona que existían grupos importantes en Milán y Roma, y que en Padua también se desarrollaron competencias significativas en el campo de la química de proteínas, pero no menciona en qué instituciones se encontraban tales grupos de investigación. Además de los grupos e instituciones mencionados por Orsenigo, debemos recordar la experiencia del ISS en el periodo de Domenico Marotta, donde se dio un fuerte impulso en general para la biomedicina y en particular sobre la biología molecular (Pocchiari, 1990). Aún con ello Orsenigo considera que, en comparación con Estados Unidos y otros países, en Italia el desarrollo de la biología molecular y otras disciplinas ligadas a la biotecnología no se habían consolidado tanto en realidad. Describe un escenario de grupos de

investigación parecido al mexicano durante la misma época: la investigación se había concentrado en pequeños grupos que mantenían poca comunicación entre ellos, aunque existieran relaciones informales entre los investigadores de forma individual. Posteriormente, Orsenigo menciona que las actividades de investigación mejoraron significativamente con las nuevas generaciones de jóvenes que estudiaron inicialmente en Estados Unidos y otros países, aunque no llegaron a compararse con las capacidades de éstos en cuanto a los montos del financiamiento, la organización y la calidad que en general tuvo la investigación italiana de la época.

## 2. Mecanismos de las relaciones universidad-industria

Aquí se destaca el hecho de que en el contexto norteamericano, tradicionalmente ha existido mayor disposición para explotar de manera comercial los resultados de la investigación académica, la cual no ha sido característica en el contexto europeo (y tampoco del mexicano). Tal disposición se reforzó con la aprobación del Bayh-Dole Act en 1980, especialmente para la biotecnología; esto permitió que las universidades fueran semilleros de emprendedores.

Otra característica del contexto estadounidense es la mayor libertad en el intercambio de personal entre la academia y la industria (Orsenigo, 2001). En tal caso no sólo en Italia, sino en toda Europa, durante los ochentas y noventas se intensificaron las políticas dirigidas a reforzar la colaboración entre universidad e industria, así como las iniciativas para crear vínculos a través de parques tecnológicos, y otras agencias para transferencia tecnológica; sin embargo, tales iniciativas tomaron diversas trayectorias y resultados. En el caso de Italia, Orsenigo (2001) destaca que la estructura y los estándares de la administración del sistema académico realmente no favoreció la explotación de la investigación académica, como en el caso de mexicano. Tales interacciones han sido tradicionalmente débiles, se habían basado en relaciones personales y no institucionales. De acuerdo a Orsenigo (2001), hasta finales de los noventas pocas universidades habían desarrollado una estructura organizacional para atender las relaciones entre universidad e industria. En sus estimaciones, más del 60 por ciento de las universidades italianas no contaban ni siquiera con tipologías de contratos, ni oficinas de transferencia tecnológica. A falta de tales mecanismos administrativos, la comercialización de resultados de investigación resultaba un asunto bastante complicado. A pesar de ello, la ausencia de mecanismos para la transferencia tecnológica resultaba también irrelevante ante la debilidad, que Orsenigo describe, de las capacidades científicas italianas, pues de forma

provocativa señala “Los mecanismos de transferencia son irrelevantes si no hay nada que transferir”.

### 3. Clima financiero favorable

El capital de riesgo fue un factor de mucho peso para el establecimiento de las *start-up* estadounidenses dedicadas a la biotecnología; mientras que en Europa las fuentes de financiamiento principales se referían a las otorgadas mediante programas gubernamentales. Pero Orsenigo (2001) advierte que, más allá del capital de riesgo, la mayoría de las *start-up* norteamericanas establecieron como una fuente más importante de financiamiento la colaboración con las grandes empresas ya establecidas. Estas *start-ups* determinaron como estrategia prioritaria acciones de licenciamiento fuera de Estados Unidos, siendo sus socios principales las empresas farmacéuticas Europeas. Para Orsenigo, esto quiere decir que las nacientes *start-ups* europeas no pudieron seguir la misma estrategia: buscar como fuente de financiamiento principal a las grandes empresas farmacéuticas de Europa, pues éstas ya habían preferido colaborar con las norteamericanas.

Particularmente en Italia, durante los noventa existieron varios intentos de inversionistas locales y extranjeros para establecer fondos de capital de riesgo, pero hasta finales de la década habían tenido poco éxito. Aún así, Orsenigo (2001) señala que las pocas *start-ups* italianas habían sido establecidas con capital de riesgo extranjero.

### 4. Sistema de protección de la propiedad intelectual

En Estados Unidos el Bayh Dole Act, aprobado en 1980, facilitó en gran medida la expansión de las *start-ups* americanas. Como es sabido, esta legislación otorgó a las universidades (y otras instituciones sin fines de lucro, así como a pequeñas compañías), la atribución para obtener los derechos de propiedad de invenciones derivadas de investigaciones financiadas por fondos federales. Particularmente para la biotecnología, en 1980 la suprema corte de Estados Unidos declaró a favor de la patente sobre organismos vivos en el caso de *Diamond v. Chakrabarty*, y en el mismo año la segunda reformulación de la patente de Cohen y Boyer sobre el proceso de ADN recombinante fue aprobada. De forma que en los años siguientes se comenzó a otorgar un gran número de patentes que involucraban a la biotecnología.

Adicionalmente, a diferencia de Europa, en Estados Unidos se introdujo un año de gracia para aplicar para la obtención de una patente aún después de que fuese publicada. En

Europa cualquier descubrimiento que haya sido publicado no es patentable (igual que en México). Igualmente, Orsenigo señala que la iniciativa de ley para reforzar la protección de productos y procesos biotecnológicos fue aprobada por el parlamento europeo hasta 1998, después de haberse rechazado una primera versión en 1994. Aunque aún existen controversias considerables al respecto.

#### 5. Un clima regulatorio que no restringió la experimentación genética

Hoy, al ver las manifestaciones sobre el rechazo abierto a la comercialización del maíz transgénico en México, y los movimientos similares en Europa demandando productos alimenticios OGM-free, uno se pregunta por qué no sucedió lo mismo en Estados Unidos. De acuerdo con Orsenigo (2001), sí existió un rechazo público en los inicios de la ingeniería genética, y fue un fenómeno significativo cuando la industria ligada a ella emergió, sin embargo rápidamente se convirtió en un asunto intrascendente, y en general el clima regulatorio al respecto fue más bien favorable. En contraste, en Europa las agrupaciones “verdes” han sido un factor importante para inhibir el desarrollo de la biotecnología, particularmente en Alemania y otros países europeos del noreste. En Italia, aunque al inicio no representaron un factor de peso, sí lo han sido desde 1999, cuando se intensificó una oposición sistemática entre los consumidores hacia los alimentos modificados genéticamente (Orsenigo, 2001).

#### **Las *start-up* italianas (2000s-2016)**

Pero el panorama italiano para la biotecnología durante los ochentas y noventas, descrito por Orsenigo, parece estar cambiando en los últimos quince años. Existen diversos datos que indican que la industria de la biotecnología está creciendo y continuará su crecimiento en las próximas décadas.

Un primer dato que muestra la expansión de las empresas involucradas con la biotecnología en el país, es el relacionado con las afiliadas a Assobiotec. Orsenigo (2001) refiere que a finales de los ochentas (1987) existían solamente 39 empresas afiliadas, alcanzando las 58 en 1992 y descendiendo a 38 hacia 1999. Sin embargo, durante los últimos 15 años el número se incrementó hasta llegar a 140 afiliadas en el 2015 (ASSOBIOTEC. Bonaccorso, 2015).

Por otra parte, de acuerdo con la asociación Assobiotec, entre el año 2000 y 2016 el número de empresas biotecnológicas en Italia pasó de menos de 200 establecimientos a cerca de 500. La mayor parte de estos establecimientos corresponden a empresas del tipo *start-up* universitarias, que representan una industria emergente conformada por egresados universitarios dedicados a la investigación y desarrollo en biotecnología.

Debe señalarse que hay una dificultad para conocer el número de empresas en biotecnología que existen en Italia. La razón se debe a que existen diversos datos en la literatura, seguramente debido a que la definición de empresa biotecnológica es complicada de establecer. Por ejemplo, en los datos de Orsenigo (2001) se mencionaba que hacia inicios de los años 2000 no había ningún dato disponible, y mostraba una estimación de menos de 2000 firmas. También mencionaba que las pocas *start-up* italianas no se asemejaban a las americanas, pues no eran negocios emanados de las universidades, sino más bien *spin-offs* de grandes empresas farmacéuticas. Asimismo, la mayor parte de ellas no realizaban actividades de investigación y desarrollo en el área farmacéutica, sino que actuaban como intermediarios comercializando productos desarrollados por otras empresas, así como siendo proveedores de instrumentación e insumos.

En un estudio específico sobre empresas italianas, especializadas en biotecnología, Nosella *et al* (2005) identifican solamente a 100 empresas; definiendo como empresa en biotecnología aquella que utiliza la biotecnología para elaborar nuevos productos y procesos, o mejorar los existentes. Por lo que no tomaron en cuenta a organizaciones de investigación pública, aquellas compañías que aunque en sus procesos usen a la biotecnología no realicen actividades de investigación, y las que sirven como intermediarios. Con estas salvedades, determinan que la mayor parte de las compañías se encuentran en el noreste de Italia (74%), 11% en el Sureste y 15% en el Centro del país. Tan sólo 35% se localiza en la Lombardía, seguido por el 14% en Friuli Venezia Giulia, donde se encuentra el Parque Científico de Trieste. Más de la mitad tiene menos de 10 años de haberse creado y tienen ganancias menores a los 5 millones de euros; mientras que el 59% tiene menos de 50 empleados.

Pero el panorama de las empresas biotecnológicas en el país tiene un matiz distinto si se consideran los reportes de Assobiotec (Assobiotec, BioInItaly report, 2016). Aquí se señala que el número de empresas biotecnológicas en Italia son 500, y el número mayor de ellas se encuentran en la Lombardía (141), especialmente en Milán y la provincia. Cabe destacar que refieren que más de la mitad (256) se dedican exclusivamente a labores de investigación y desarrollo en biotecnología; se trata de empresas que dedican el 75% de su presupuesto a las actividades de investigación. Asimismo, el 75% de ellas son pequeñas y microempresas. Las



ganancias totales de las empresas superan los 9.4 millones de euros, mientras que la inversión en Investigación y Desarrollo los 1.8 millones. Dichas empresas emplean a un total de 9,200 trabajadores. La mayor parte de las empresas (261) aplican la biotecnología en el área de la salud (53%); destacan las investigaciones sobre nuevos instrumentos terapéuticos y diagnósticos, con ingresos de 7.1 millones de euros e inversiones en I+D de 1.4 millones. La segunda área por número de empresas corresponde a la biotecnología industrial (24%), 13% dedicadas a la genómica, proteómica, y habilitación de tecnologías, y el 9% al sector agrícola y zootécnico.

Entre los puntos débiles que se identifican actualmente en la industria de la biotecnología italiana se destaca:

- la mayor parte de las empresas son de pequeña dimensión
- la carga alta de burocracia en su administración
- fragmentación entre el conjunto de empresas
- escasa transferencia de tecnología
- medidas de apoyo estructural aún poco competitivas

Todavía con las ganancias importantes para las empresas, su productividad representa sólo el 3% del total en la nación. Aún así, destaca el hecho de que la mayor parte de los trabajadores de estas empresas está compuesto por egresados universitarios (73%), lo que la convierte en la industria de los egresados.

### **Biotechnología Verde, situación actual**

Como se ha mencionado, la biotecnología aplicada a la salud en Italia ha tenido una tradición importante, y actualmente es el sector industrial de la biotecnología en el que más empresas trabajan; mientras que la biotecnología aplicada a la agricultura y la zootecnia es la que menos se ha desarrollado. En la actualidad los debates de los grupos a favor y en contra de la biotecnología continua sin mucho avance. Aunque, en general, la actitud hacia los cultivos transgénicos en Italia prevalece en un clima hostil (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

De hecho, el debate en los medios de comunicación sobre la comercialización y la experimentación de los cultivos transgénicos ha influido en la disminución de los fondos públicos y privados, destinados a la investigación en la biotecnología aplicada a la agricultura; se ha disminuido a tal punto que actualmente son nulos los apoyos y no se realizan pruebas de campo alrededor del país (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

La agricultura comercial de cultivos transgénicos se encuentra bloqueada en el país, aunque está permitida la importación de productos alimenticios con contenido transgénico (alimentos procesados para consumo humano y alimento para animales). En Italia se implementó la directiva EU No. 18/2001 sobre la liberación intencional de organismos genéticamente modificados al medio ambiente, a través del decreto legal 224/2003. El decreto modificó la responsabilidad relacionada con la liberación de material GM inicialmente a cargo del Ministerio de Salud, al Ministerio del Medio Ambiente. Asimismo, dividió la responsabilidad para la autorización de nuevos eventos de OMG entre los ministerios de Salud, Trabajo, Agricultura, Desarrollo Económico, y Educación, así como el Comité Interministerial de Evaluación (creado bajo el liderazgo del Ministerio de Medio Ambiente y miembros de los ministerios ya mencionados). De igual forma, a través del decreto los ministerios de Medio Ambiente, Salud y Agricultura tienen autoridad para limitar o prohibir la liberación al mercado de productos GM, en los casos que encuentren fundamentos razonables para creer que tales productos representan un riesgo para la salud humana o animal, o bien al medio ambiente (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

La aprobación de productos GM en Italia está sujeta a los procedimientos de la Unión Europea. De acuerdo con el reglamento EU No. 1829/2003<sup>44</sup>, los productos GM y derivados deben ser evaluados por la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), antes de ser autorizados dentro de la Unión Europea. Las aplicaciones, siguiendo la legislación y las directrices de la EFSA, se deben presentar ante la autoridad nacional competente (en el caso de Italia el Ministerio de Salud), quien dirige la aplicación a la EFSA para la evaluación científica de riesgos. El grupo de EFSA encargado de OGM realiza una evaluación detallada de los riesgos para determinar la seguridad de los OGM y derivados. En el caso de decisiones relacionadas con autorizaciones comerciales, las comisiones y miembros de estado utilizan el asesoramiento de un grupo científico independiente. Bajo los términos de la legislación 1829/2003 se han aprobado una cantidad importante de eventos sobre el uso de piensos y alimentos a nivel europeo. La lista completa de los productos aprobados se encuentra en la siguiente liga: [http://ec.europa.eu/food/dyna/gm\\_register/index\\_en.cfm](http://ec.europa.eu/food/dyna/gm_register/index_en.cfm) (Sloop, C., & Bettini, O., 2015)

Mientras tanto, específicamente en lo que se refiere a las autorizaciones sobre semillas GM en Italia, la responsabilidad es del Ministerio de Agricultura (para lo cual se han implementando las directivas 98/95/EC y 98/96/EC sobre la comercialización de semillas y el

---

<sup>44</sup> Texto de reglamento en: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:32003R1829> consultado el 4 de julio de 2016.

catálogo colectivo de variedades vegetales y controles relacionados) (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

Adicionalmente al decreto 224, en el decreto ministerial del 19 de enero de 2005 se establecieron los requerimientos principales para evaluar los riesgos relacionados con la experimentación de cultivos GM, y las regiones donde se pueden llevar a cabo pruebas de campo de OGM. En 2008, las regiones de la Toscana y las Marcas aprobaron 9 muestras de cultivo para realizar pruebas de campo (cítricos, kiwi, fresa, cereza dulce, maíz, oliva, berenjena, tomate, y uva), sin embargo, el ministerio de agricultura no finalizó el dictamen necesario para la autorización de las pruebas, argumentando la ausencia normas de convivencia. Casi al mismo tiempo, 16 regiones italianas, 41 provincias y más de 2,350 municipios se declararon como “GE-free” (libres de OGM), dificultando aún más el panorama para nuevas investigaciones y plantaciones. Las 16 regiones son: Valle de Aosta, Piamonte, Emilia-Romaña, Toscana, Lacio, Marcas, Umbría, Abruzos, Campania, Basilicata, Apulia, Cerdeña, Alto Adigio, Friuli-Venecia Julia, Liguria, Molise (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

Por otra parte, han existido intentos por agilizar la plantación de transgénicos pero han sido bloqueados. En octubre de 2013 el vicepresidente de Futuragra Silvano Dalla Libera, y el presidente Giorgio Fidenato de la federación de asociaciones de agricultores, cultivaron una hectárea de maíz GM MON810 en Vivaro (Friuli-Venecia Julia). En el mismo mes el señor Fidenato apeló a la prohibición nacional sobre el cultivo de maíz GM MON810, sin embargo en abril de 2014, la corte administrativa de la región de Lacio dictaminó en contra de la apelación. En febrero de 2015 el Consejo de Estado del país dictaminó también en contra de la apelación de Fidenato, apoyando la decisión de la corte de Lacio (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

En lo que se refiere a animales GM y clones, actualmente no existe ningún debate público, aunque el trabajo que se desarrolla es limitado. En Italia, la ingeniería genética ha estado más orientada hacia la selección genómica para mejorar la cría de animales, y principalmente se ha usado para aplicaciones médicas y farmacológicas. Aunque en Italia no se producen animales clonados para propósitos comerciales, el centro Avantea<sup>45</sup> localizado en Cremona trabaja en la investigación experimental de animales clonados (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

---

<sup>45</sup> <http://www.avantea.it/en/about-us.html>

## Sistema de Investigación Agrícola

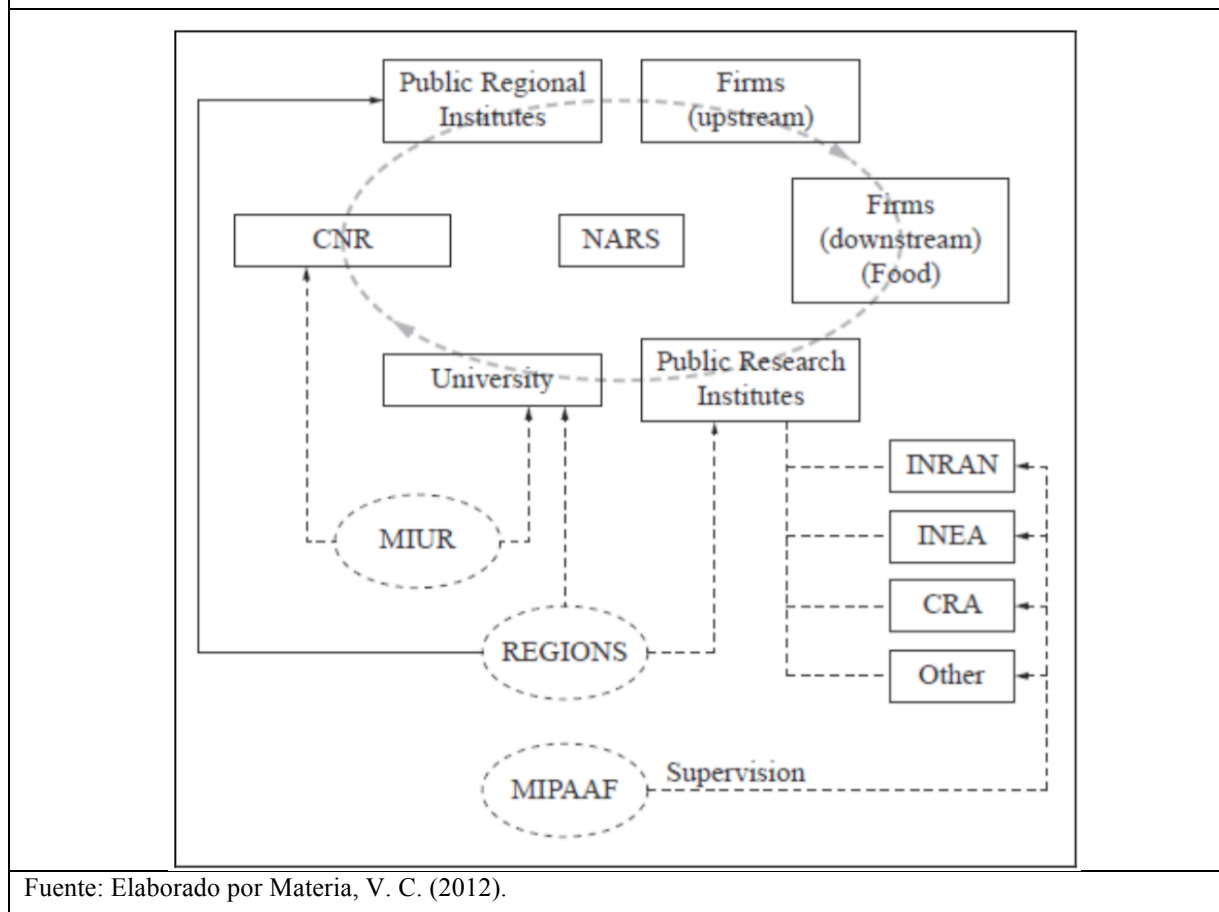
Sloop y Bettini (2015) identifican como principales actores del sistema de investigación agrícola en Italia a las siguientes instituciones:

1. El Ministerio de las Políticas Agrícolas, Alimentarias y Forestales (MIPAAF)
2. El Ministerio de Educación, Universidad e Investigación (MIUR)
3. Las regiones y provincias autónomas de Trento y Bolzano

Los ministerios de Salud, de Desarrollo Económico, de Medio Ambiente y Protección de la Tierra se involucran en menor medida en actividades de investigación agrícola. Mientras que la evaluación de los programas públicos de apoyo financiero, para todas las actividades de investigación e innovación, está a cargo de la Agencia Nacional para la Evaluación de Universidades e Institutos de Investigación (ANVUR<sup>46</sup>) (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

El esquema elaborado por Materia (2012) ejemplifica muy bien las instituciones y organismos que participan en la investigación agrícola del país.

Figura 50. Instituciones italianas involucradas en Investigación Agrícola.



<sup>46</sup> <http://www.anvur.org/index.php?lang=it>

## Ministerio de las Políticas Agrícolas, Alimentarias y Forestales (MIPAAF)

El MIPAAF tiene a cargo el financiamiento y la supervisión de los proyectos de investigación llevados a cabo por los organismos nacionales de investigación públicos, universidades, y organizaciones públicas y privadas con propósitos estatutarios de investigación. Los organismos públicos incluyen al Consejo Nacional de Investigación Agrícola (CRA<sup>47</sup>), el Instituto Nacional de Economía Agrícola (INEA), el Centro de Investigación para los Alimentos y la Nutrición (antes INRAN), el Instituto Nacional del Arroz (ENR), el Instituto Italiano de Servicios para el Mercado Agrícola y Alimentario (ISMEA<sup>48</sup>), y el Instituto para el Desarrollo de la Agroalimentación (ISA) (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

## Ministerio de Educación, Universidad e Investigación (MIUR)

El MIUR financia la investigación agrícola a través del Consejo Nacional de Investigación (CNR); que es a su vez la principal institución pública dedicada a la investigación. Está conformado por 7 departamentos, 109 Institutos, y más de 8000 miembros del personal (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

## CNR – Departamento de Ciencias Bio-Agroalimentarias (DiSBA)

Las actividades del DiSBA se agrupan en tres principales proyectos: 1) Genómica vegetal, animal y microbiana, 2) Alimentos, 3) Agricultura Sustentable (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

## CNR - Instituto de Biología y Biotecnología Agrícola (IBBA)

El IBBA tiene su sede en Milán, y opera a través de las unidades de Lodi (Parque Tecnológico Padano-PTP), Pisa y Roma. El Parque Tecnológico Padano<sup>49</sup> fue fundado en el año 2000 en Lodi (región de la Lombardía), es un centro de excelencia para la biotecnología agroalimentaria italiana, está enfocada en el mejoramiento cualitativo y cuantitativo en la

---

<sup>47</sup> El 25 de junio de 2015 el CRA y el INEA fueron fusionados administrativamente, conformando el Consejo para la investigación en agricultura y análisis de la economía agraria (CREA): [http://sito.entecra.it/portale/index2.php?lingua=IT&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/index2.php?lingua=IT&access_flag=0) Mientras que el antiguo INRAN fue desestructurado para crear el Centro de Investigación para los Alimentos y la Nutrición.

<sup>48</sup> <http://www.ismea.it/flex/cm/pages/ServeBLOB.php/L/IT/IDPagina/1>

<sup>49</sup> <http://www.ptp.it>

producción vegetal y animal, así como en la sustentabilidad. El PTP administra una bio-incubadora, un parque científico con laboratorios de investigación, y una plataforma genómica certificada y acreditada para el análisis diagnóstico basados en ADN, aplicada a los sectores agrícola y de alimentos (la plataforma sirve de apoyo a universidades, *start-ups*, *spin-offs* y centros públicos de investigación). Al interior del PTP también fue conformado el Centro de Investigación y Estudios de la Agroalimentación (CeRSA), en el cual se han llevado a cabo investigaciones de genómica aplicada a cultivos, con el propósito de entender el metabolismo involucrado en la arquitectura de las plantas, la determinación cualitativa y la resistencia a virus (Sloop, C., & Bettini, O., 2015). Asimismo, al interior del PTP se han financiado de diversas fuentes 90 proyectos de investigación nacionales e internacionales, se ha participado en 11 proyectos sobre genómica y se ha creado una red de colaboración con más de 500 instituciones y 650 compañías, en más de 40 países. Adicional a las actividades de investigación, el PTP ofrece servicios a más de 100 compañías, y con la incubadora y aceleradora de negocios ha apoyado la creación de 40 nuevas empresas<sup>50</sup> (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

#### Consejo para la Investigación en Agricultura y análisis de la Economía Agraria (CREA)

El CREA es el instituto de investigación agrícola más grande del país. Se integra por 15 centros de investigación, 32 unidades de investigación, 1,400 miembros del personal, y 5,300 hectáreas de campo experimental (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

#### Centro de Investigación en Genómica (CREA-GPG)

Este centro de investigación se localiza en Fiorenzuola d'Arda (región de Emilia-Romaña) y en él se llevan a cabo actividades de investigación para el mejoramiento genético de cultivos, dentro de un marco de agricultura sustentable e innovación de productos y procesos. Los proyectos de investigación incluyen cereales (cebada, avena, triticale, trigo duro, trigo blando, y arroz), frutas, vegetales, flores, árboles, en colaboración con el Centro de Investigación en Cereales (CREA-CER<sup>51</sup>), la unidad de investigación del maíz (CREA-MAC<sup>52</sup>), la Unidad de

---

<sup>50</sup> Fuente: sitio web: <http://www.ptp.it/en/about/> consultado el 5 de julio de 2016.

<sup>51</sup> [http://www.cerealresearchcentre.it/main/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=108](http://www.cerealresearchcentre.it/main/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=108)

<sup>52</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=224&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=224&lingua=EN&access_flag=0)

Investigación en Arroz (CREA-RIS<sup>53</sup>), la unidad de investigación para la selección de cereales y desarrollo de las variedades vegetales (CREA-SCV<sup>54</sup>), unidad de investigación para la fruticultura (CREA-FRF<sup>55</sup>), Centro de Investigación de Cítricos y Cultivos Mediterráneos (CREA-ACM<sup>56</sup>), Centro de Investigación para la Fruticultura (CREA-FRU<sup>57</sup>), Centro de Investigación para la Horticultura (CREA-ORT<sup>58</sup>), Unidad de Investigación para los Cultivos Vegetales (CREA-ORL<sup>59</sup>), Unidad de Investigación para los Cultivos Vegetales en áreas centrales (CREA-ORA<sup>60</sup>). Las actividades de fitomejoramiento se llevan a cabo en colaboración con compañías privadas y han dado lugar al registro de variedades de cebada, avena y triticale (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

El Centro CREA-GPG también es miembro coordinador del Consorcio Internacional para la Secuenciación del Genoma del Trigo (IWGSC<sup>61</sup>), establecido en 2005 por un grupo de productores de trigo, científicos botánicos, y fitomejoradores públicos y privados. El consorcio tiene el propósito de generar una secuencia genómica de alta calidad de trigo para pan públicamente disponible, para que a su vez sea el fundamento de investigación básica y permita a los fitomejoradores desarrollar variedades mejoradas. Específicamente, el CREA-GPG trabaja en el mapeo físico del cromosoma 5A del trigo. Además, el profesor Luigi Cattivelli del CREA-GPG y el profesor Roberto Tuberosa (académico de fitomejoramiento y genética de plantas del Departamento de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Bolonia), co-dirigen a un grupo de expertos que trabajan en el proyecto de genómica del trigo duro y fitomejoramiento<sup>62</sup>, dentro de la Iniciativa del Trigo<sup>63</sup>. Tal iniciativa fue creada en 2011, siguiendo la aprobación de los ministerios de agricultura de los G20. La iniciativa pretende fomentar el desarrollo de investigación global pública y privada compartiendo recursos, capacidades, información, e ideas, con el fin de mejorar la productividad del trigo, su calidad y la producción sustentable alrededor del mundo. Se tiene en perspectiva que la combinación de nuevas variedades y prácticas agronómicas, permita a los agricultores mejorar y estabilizar los rendimientos del trigo en diversos ambientes de producción (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

---

<sup>53</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=226&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=226&lingua=EN&access_flag=0)

<sup>54</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=225&lingua=EN](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=225&lingua=EN)

<sup>55</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?lingua=EN&id=234](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?lingua=EN&id=234)

<sup>56</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=209&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=209&lingua=EN&access_flag=0)

<sup>57</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=208&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=208&lingua=EN&access_flag=0)

<sup>58</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=207&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=207&lingua=EN&access_flag=0)

<sup>59</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=227&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=227&lingua=EN&access_flag=0)

<sup>60</sup> [http://sito.entecra.it/portale/cra\\_dati\\_istituto.php?id=228&lingua=EN&access\\_flag=0](http://sito.entecra.it/portale/cra_dati_istituto.php?id=228&lingua=EN&access_flag=0)

<sup>61</sup> <http://www.wheatgenome.org/About>

<sup>62</sup> <http://www.wheatinitiative.org/activities/expert-working-groups/durum-wheat-genomics-and-breeding>

<sup>63</sup> <http://www.wheatinitiative.org/about-us/wheat-initiative-glance>

El profesor Tuberosa, de la Universidad de Bolonia, también coordina la Plataforma Tecnológica Italiana “IT-Plantas para el Futuro<sup>64</sup>”, creada con el propósito de propiciar la cooperación entre la industria, la universidad, los centros de investigación públicos y privados, asociaciones, y consorcios, en apoyo de la investigación nacional sobre las plantas (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

### Importaciones y exportaciones

En el caso de las exportaciones, aunque Italia no exporta cultivos GM, los productos italianos de origen animal probablemente provienen de animales que fueron alimentados con ingredientes GM, y algunos productos procesados probablemente también incluyen ingredientes derivados de OGM (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

En materia de importaciones, Italia es una red de importación de soya y harina de soya, que representa el ingrediente principal para la alimentación de animales. Tan sólo en 2014, Italia importó 1.4 MMT (millones de toneladas métricas) de soya, principalmente de Brasil, Ucrania, y Estados Unidos. En el mismo 2014, Italia importó 1.9 MMT de harina de soya, principalmente de Argentina, Paraguay, Eslovenia, Brasil, y los Estados Unidos. Dado que la soya GM representa una parte importante del suministro mundial, Italia probablemente está utilizando soya GM en sus ingredientes para la crianza de animales. Asimismo, en 2014, en Italia se importaron 4.7 MMT de maíz, principalmente de Ucrania, Hungría, Francia, y Rumania (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

### Etiquetado y rastreo

En Italia se implementaron las regulaciones EU No. 1829/2003 sobre los alimentos y piensos GM, y la No. 1830/2003 correspondiente al rastreo y etiquetado de OGM, así como el rastreo de alimentos y piensos producidos a partir de OGM en abril de 2004. La Unión Europea implementó un marco regulatorio para garantizar el rastreo de productos GM a lo largo de la cadena alimentaria, incluyendo los alimentos procesados, en la cual los métodos de producción hayan destruido o alterado modificaciones genéticas de ADN (por ejemplo los aceites). Estas normas aplican no sólo para los productos GM usados en los alimentos, sino también en los que se pretende utilizar en los cultivos (por ejemplo las semillas). Así, los

---

<sup>64</sup> <http://www.unibo.it/en/research/projects-and-initiatives/technology-platforms/italian-plants-for-the-future/italian-plants-for-the-future>



alimentos y piensos que contengan OGM deben ser etiquetados como tales. Las palabras “Genéticamente modificado” o “producido de (nombre del organismo) genéticamente modificado” deben ser claramente visibles en la etiqueta de los productos. Sólo en los casos donde las cantidades que no excedan los 0.9 por ciento del contenido se está exento de esta obligación, o si la presencia es accidental o técnicamente inevitable (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

## **Opiniones públicas y privadas**

Al igual que en México, el debate público sobre la biotecnología aplicada al campo está influyendo directamente en el avance de la aplicación de esta tecnología. En Italia, organizaciones no gubernamentales como Greenpeace y Legaambiente llevan el liderazgo de la “oposición a los cultivos transgénicos”; su influencia en la opinión y postura, tanto de políticos como de consumidores, ha tenido gran impacto. Al mismo tiempo, las organizaciones de agricultores se han dividido a favor y en contra de la biotecnología. Coldiretti, la organización más grande de agricultores italianos, y la Confederación Italiana de Agricultores (CIA) mantienen fuertes actitudes en contra, mientras la Confederación General de Agricultores Italianos (Confagricoltura) hace llamados hacia una posición más progresiva, enfatizando la necesidad de la innovación y la investigación biotecnológica (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

Por parte de la opinión pública, la postura generalizada es de desacuerdo con los cultivos y alimentos transgénicos, lo que hace políticamente más complicada la autorización de la plantación y comercio de los cultivos transgénicos ya aprobados por la Unión Europea (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

La postura de la academia es diferente que en México, dado que en este país sólo hay un grupo de académicos, provenientes de diversas instituciones, que están en contra de la biotecnología. En Italia, por el contrario, existe un grupo organizado de académicos que se han pronunciado a favor. Primeramente, el 11 de junio de 2014 un grupo de 716 agricultores italianos escribieron una carta a la senadora vitalicia y científica, Elena Cattaneo, solicitando al gobierno italiano “reconocer la libertad por la investigación científica, así como detener la política italiana anti-OGM”. Asimismo, señalaban que “Sin investigación e innovación en agricultura, la agricultura de Italia desaparecerá. Los agricultores italianos deben competir en el mercado global, pero sin productos innovadores será imposible”. De igual forma, la carta hacía énfasis en la aparente contradicción entre la prohibición de la investigación sobre OGM

y los cultivos transgénicos, y la importación de las grandes cantidades de piensos GM. La senadora Cattaneo rápidamente respondió la carta, argumentando que “los cultivos transgénicos no representan mayor riesgo que los no-transgénicos u orgánicos”. Por parte de la comunidad científica se ha expresado la utilidad y seguridad de los cultivos transgénicos, haciendo llamados por mayor investigación y pruebas de campo de tales productos en Italia. Por consecuencia, Sloop y Bettini (2015) consideran que el muy nombrado “principio de precaución” debe ser abandonado, y los miembros de Estado deberían permitir la plantación de los cultivos transgénicos ya aprobados. El 4 de julio de 2014, un grupo de 33 investigadores italianos firmaron una carta en apoyo a la postura de la Senadora Cattaneo, enfatizando el papel que puede jugar la ciencia y la innovación tecnológica en el impulso de la economía italiana (Sloop, C., & Bettini, O., 2015).

### **Consideraciones finales**

En el relato de Orsenigo (2001) se menciona que, además de las iniciativas gubernamentales para el desarrollo de la biotecnología, el desarrollo de la disciplina se había caracterizado por iniciativas de colaboración entre agencias públicas y privadas a nivel local, a través del establecimiento de parques científicos, consorcios de investigación, y fondos de capital de riesgo; aunque advierte que tales iniciativas resultaban limitadas en el conjunto de la nación entera; aún así, su objetivo e impacto prevalecieron incluso en las décadas posteriores. Éste es un aspecto que tal vez pase desapercibido para explicar la expansión de las *start-up* en los años 2000, debido a que es una forma de organización social, capital social, que emergió durante los ochentas, como lo refiere Orsenigo (2001), que pudo sentar las bases para el cluster de biotecnología que emergió en la Lombardía. Aunque Orsenigo califica la experiencia de la Lombardía como negativa, en la actualidad es donde se concentran la mayor parte de las empresas dedicadas a la biotecnología en el país. Es cierto que la industria química, principal promotora de la biotecnología en Italia, se había desarrollado desde inicios del siglo XX en tal área; pero en ese caso se pueden observar formas de organización social local, entre agencias públicas y privadas en dicha área, en mayor medida que en otras regiones italianas.

Cabe señalar que, en la perspectiva de Orsenigo (2001), aunque existían importantes centros de investigación en Nápoles, Pavía, Génova, Roma y Padua, ésta no fue una condición de peso para que surgieran iniciativas que llevaran a la conformación de clusters como sí sucedió en Milán. De acuerdo con Orsenigo (2001), al menos en lo que se refiere a la

biotecnología, Milán no tenía necesariamente la más alta capacidad científica en el país. Pero aquí hay un análisis pendiente, en cuanto a la interacción y origen de los grupos de investigación. Por ejemplo, Orsenigo no toma en cuenta que Buzzati Traverso, fundador del principal Laboratorio de Nápoles y principal figura en Pavía, había estudiado en la Universidad de Milán. Es decir, es muy probable que la biotecnología haya tenido un lugar secundario dentro de las facultades de las universidades de Milán, desde inicios del siglo XX (cómo lo estaban en el IPN y la UNAM en México en la misma época), y que esa base científica haya tenido un papel importante para el desarrollo de la disciplina posteriormente en la región de la Lombardía, aunque no estén documentadas las formas de “transferencia tecnológica” entre la universidad y la industria en las que sucedió.

Un asunto que debemos considerar para nuestro estudio comparativo entre el desarrollo de la biotecnología en México e Italia, es que a pesar de que en Italia se puede apreciar un mayor desarrollo de la industria ligada a la biotecnología (especialmente por el número de empresas dedicadas a la biotecnología del área de la Salud), en el área de biotecnología vegetal ambos países se encuentran en el mismo punto; no obstante, hay matices que considerar, ya que no se encuentran en el mismo punto con los mismos antecedentes. En México había sucedido una tradición en investigación, relacionada con el desarrollo de semillas mejoradas, desde varias instituciones que se establecieron desde los años 60s (el IPN, el CIMMYT, los laboratorios que antecedieron al INIFAP, etc.), y que comenzaron a registrar variedades vegetales ante el SNICS a mediados de los ochentas. Con la información que hemos presentado en el apartado anterior, se puede ver la base de investigación en la materia y la cantidad de solicitudes de título de obtentor de variedades mejoradas de las instituciones mexicanas; aunque en comparación con las empresas transnacionales resulta mucho menor, son significativas en comparación con países como Italia, en donde se desarrolló la biotecnología de la salud y no así la de la agricultura. Sin embargo, en ambos casos, se han establecido medidas precautorias para frenar la comercialización de productos transgénicos. Se trata de casos distintos en cuanto que en Italia se trata de la introducción de tecnología extranjera en un contexto donde no se desarrolló. En México pareciera ser el mismo caso, con la excepción de que en México la tecnología transgénica si se desarrolló, pero la presencia de las empresas transnacionales es mucho más fuerte que opaca incluso la presencia de las instituciones mexicanas.

Un aspecto más a considerar en la comparación, en México se desarrolló una base de conocimiento sobre biotecnología que inició en el centro del país (principalmente en el IPN, la UNAM, UAM, INIFAP, CIMMYT), principalmente en los años 70s. Posteriormente, al

lado de la expansión de la educación superior que se suscitó en los ochentas y noventas, del centro del país varios académicos se trasladaron al interior de la república, abriendo nuevos centros de investigación. En caso contrario, en Italia parece no haber sucedido lo mismo, con la información que contamos se puede ver que los tres polos de desarrollo para la biotecnología han sido Milán, y de forma remota el ISS de Roma, pero no contamos con información que describa si sucedió una expansión de la biotecnología como disciplina científica entre las universidades italianas.

Asimismo es de llamar la atención que en México, el desarrollo de la biotecnología tiene como antecedente más remoto la creación de la Escuela de Bacteriología en 1933, y el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería (DBB) del CINEVESTAV-IPN en 1972. Es decir, la biotecnología tiene un desarrollo notable en el Instituto Politécnico Nacional. En caso contrario, en Italia no parece existir un desarrollo similar de la disciplina al interior del Instituto Politécnico de Milán, u otra institución dedicada exclusivamente al desarrollo de tecnología.

Otro aspecto que llama la atención es que, de las dos iniciativas más importantes que menciona Orsenigo (2001) en el caso particular de la Lombardía, la que tuvo más éxito fue la que involucró a instituciones privadas (parque científico San Rafael) y no a instituciones públicas (el Biopolo). Aunque no es explicado por Orsenigo, existen dos razones fundamentales para ello. En primer lugar, la base científica sobre biotecnología aplicada a la salud es mucho más extensa en el país, y al parecer el Hospital San Rafael ya tenía experiencia y prestigio suficiente en investigación biomédica; de modo que logró atraer el interés de un tipo mucho más grande de instituciones públicas y privadas, para establecer y expandir las funciones del parque científico-tecnológico (congrega laboratorios del CNR, el politécnico de Milán, la Universidad “Vita e Salute”, y recibe financiamiento de compañías farmacéuticas internacionales, fundaciones privadas, el teletón, etc.). En el caso del Biopolo, la iniciativa involucraba a empresas farmacéuticas y académicos de la Universidad Estatal de Milán, y las autoridades locales, pero al parecer existen tensiones políticas que impiden su crecimiento, y más que eso, fundamentalmente la base científica en biotecnología vegetal y ambiental se encuentra mucho menos desarrollada, no sólo en la Lombardía sino en todo el país.

Con la declaración GE-Free de las 16 regiones italianas el panorama para las futuras investigaciones, pruebas de campo y autorizaciones comerciales, se aprecia muy complicado. Debe señalarse que dentro de estas regiones se encuentran la Toscana y Lacio, dos puntos que han sido importantes para la innovación biotecnológica; no se encuentra la Lombardía donde

se concentran las mayor cantidad de empresas dedicadas a la biotecnología. Por lo cuál no sería improbable que ahí se encuentre una ventana de oportunidad para las investigaciones y producción de la agrobiotecnología.

## Capítulo III. Los casos de Puebla

### 3.1 Puebla

El estado de Puebla representa una de las localidades más importantes de México. Su ubicación geográfica ha sido históricamente trascendental, ya que es muy cercana a la ciudad de México y conecta con el puerto de Veracruz. El primero es el punto con mayor desarrollo socioeconómico de país, y el segundo ha sido históricamente una de las ventanas más importantes para expansión comercial mexicana a nivel internacional. La superficie del estado corresponde a 34.251 km<sup>2</sup>. Su economía es considerada una de las más grandes en el país, y también es uno de los centros más importantes para sector educativo del nivel superior y de posgrado; pero al mismo tiempo es un lugar con grandes desigualdades sociales. Se considera que su economía se ubica en el lugar número ocho entre los treinta y dos estados de la república mexicana. Sin embargo, los datos de marginación y pobreza revelan grandes carencias y rezago social. En indicadores como pobreza alimentaria, índice de desarrollo humano, índice de marginación, pobreza de patrimonio, vivienda con televisión, computadora y teléfono, el estado de Puebla se ubica en los últimos lugares en comparación con los demás estados del país (entre el lugar 26 y 27 de los 32 estados). Tales problemas han prevalecido en la historia de la entidad, y han propiciado que en las últimas dos décadas la migración de la población en edad de trabajar se haya intensificado. A pesar de ello, hay quien asegura que la economía poblana tiene crecimientos prometedores. El crecimiento anual entre 1996 y 2006 revelaba índices del 4.4 por ciento, los cuales son mayores a la media nacional para el mismo periodo (3.57%). El sector con mayor aportación a la economía es la industria manufacturera, destacándose la industria automotriz con empresas como Volkswagen, la metalurgia, papel, plástico, textiles, artesanías, vidrio, y alimentos. La manufactura se considera la especialidad de la región y tiene contribuciones a la producción estatal del 28.8 por ciento. Mientras tanto, la segunda actividad más importante es el comercio, y los bienes raíces. Las demás actividades económicas de la región han sufrido crisis severas a lo largo de la historia ligadas a la falta de financiamiento, y representan las actividades con menor contribución al producto interno bruto (PIB) estatal: agricultura y zootecnia, minería, electricidad, suministro de agua y gas, construcción, transportación, cuidado de la salud y asistencia social, servicios educativos y otros relacionados (INEGI, 2012, FCCyT, 2010).

De igual forma, Puebla es uno de los estados de la república mexicana con mayor concentración poblacional; en 2012 la población alcanzaba 5,758,297 habitantes (con la concentración mayor en la ciudad de Puebla de 1,539,819). En este rubro ocupa el lugar número cinco a nivel nacional. La tasa de crecimiento de la población es del 1.09% y la esperanza de vida del 74.84 años. Mientras que el índice de alfabetismo alcanza el 87.6%, y el promedio de escolaridad es de 9.3 años (correspondiente a nivel secundaria<sup>65</sup>). En el nivel superior, la tasa de cobertura alcanzó en el 2007 el 26 por ciento<sup>66</sup>, habiendo crecido en las últimas décadas ya que los noventas alcanzaba sólo el 17 por ciento.

De esta forma, Puebla es un lugar con grandes contradicciones y paradojas. Se estima que su producción alcanzó en 2006 un PIB de 27,637 mmd, similar a la que tienen países enteros como Sri Lanka (28,281), Costa Rica (22,526) o Kenya (22,502). Pero el PIB per cápita resulta ser el octavo más bajo de México (5,043 dólares), que es similar al de países como Sudáfrica (5,438), Costa Rica (5,124) y Jamaica (4,502). Asimismo, en materia de competitividad, en 2006 se ubicaba en el lugar número 26 del país, aunque se asegura que su potencial de innovación es también prometedor al ubicarse en la posición número cuatro, tomando en consideración la infraestructura que ha emergido en la región en lo que se refiere a la investigación y desarrollo, el número de investigadores y una capacidad industrial creciente.

### **3.2 Procesos de industrialización**

Hubo un tiempo en el que Puebla era considerada la Roma de México. No sólo por compararse al desarrollo que tenía una ciudad capital, sino por su belleza arquitectónica, riqueza cultural e incluso la gran presencia del catolicismo prevaleciente hasta nuestros días. Las bellas iglesias y los edificios coloniales siempre han contrastado con la industrialización de la región. El primer periodo de industrialización de Puebla comenzó en 1835, treientos años después de su fundación (en 1531). Durante los primeros años de su historia, Puebla se convirtió en la capital comercial e industrial de la Nueva España (Bazant, 1964). De acuerdo con Ventura (2006), el sector textil fue la industria principal de Puebla por más de cien años (de 1835 a 1965). Mientras que los alimentos y bebidas representaban el segundo sector más importante. El número de fábricas, la inversión y el valor de la producción de estos dos

---

<sup>65</sup> Los estudios de secundaria corresponden al nivel anterior del bachillerato; denominado liceo en Italia.

<sup>66</sup> Correspondiente a la población entre 19 y 23 años. El nivel superior se refiere a los estudios de licenciatura; denominado como laurea triennale o prima laurea en Italia.

sectores sobrepasaban enormemente a los demás sectores productivos de la región. Así, desde el inicio de este periodo hasta la emergencia de la industria automotriz y metalurgia en 1967, la industria poblana se conformaba principalmente por la producción de textiles, alimentos y bebidas.

Figura 51. Estructura productiva de Puebla en 1906

Sectores	Fábricas	Trabajadores	Valor de la producción en pesos mexicanos
Alimentos y bebidas	129	1 173	2 579 043
Textiles	84	3 173	4 786 673
Manufactura del vestido	123	384	220 612
Curtido del cuero	73	742	689 489
Metales	71	281	210 138
Cerámica y vidrio	30	202	97 476
Madera y muebles	80	251	104 349
Construcción	39	348	195 173
Papel e imprenta	30	138	58 013
Productos químicos	37	145	268 315
Otros	14	87	53 231
Totales	710	6 924	9 262 512

Fuente: citado por Ventura (2006): Chart XVIII (Contreras Cruz, 1986:94).



Figura 52. Estructura de la Producción  
Industria de la transformación en Puebla (porcentajes)

Tipo de Producción	1930	1965	1970	1975
a) Ramas tradicionales: alimentos, bebidas, textil, ropa y calzado, madera, papel, impresión, cuero y tabaco.	94.0	84.0	53.6	39.9
b) Demás ramas: muebles, química, productos derivados del petróleo, producción de materiales no metálicos, metálica básica, productos metálicos, maquinaria y equipo, maquinaria y aparatos eléctricos, material de transporte y otras industrias.	6.0	16.0	46.4	60.1
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

Fuente: citado por Ventura (2006) Censos Industriales de los Estados Unidos Mexicanos. Resúmenes generales por entidades.

En efecto, la industria poblana cambia hacia los años sesentas del siglo XX. La última figura muestra el cambio de la estructura de producción en Puebla. Tal cambio se caracteriza por el desplazamiento de los sectores tradicionales encabezados por la industria textil y de alimentos, para darle paso a la industria química, los productos derivados del petróleo, la metalurgia, la automotriz, entre otros.

En el panorama nacional, Ventura (2006) señala la época de los años de 1930 como el periodo en el que Puebla comenzó a quedar rezagada ante el desarrollo industrial moderno del país (iniciado en 1940); sin que lograra incorporarse nuevamente de manera exitosa. El último periodo de expansión importante de la industria poblana corresponde al periodo de 1965 a 1975, cuando se establecieron, con capital extranjero, las empresas más importantes en las ramas metal-mecánica, química y automotriz, entre ellas: Volkswagen, Hylsa, Petrocel, Unidad Petroquímica de Texmelucan, Parke Davis & Co., Chiclet's Adams, etc. Puebla ha continuado siendo importante en el sector manufacturero, principalmente por la producción automotriz y de la correspondiente a la metálica básica. Sin embargo, la producción de este sector cambió del cuarto al séptimo lugar en la escala nacional, en el periodo de 1930 a 1975.

Por otro lado, varios fueron los factores que afectaron el declive de la industria textil en Puebla, entre ellos la falta de inversión combinada con la apatía de los empresarios entre 1930 y 1940. Posteriormente, un elemento de innovación tecnológica evidenció la capacidad limitada para competir, de las empresas dedicadas a la producción textil del algodón, hasta que provocó su cierre en 1965. Nos referimos al surgimiento de la producción de fibras artificiales, y mezclas de éstas con las naturales. Era claro que los empresarios habían basado

sus estrategias de desarrollo en el proteccionismo estatal, en lugar de favorecer procesos de producción más competitivos basados en tecnología nueva (Ventura, 2006).

### **3.3 Estructura del sistema de Ciencia y Tecnología y Educación Superior**

Si la industria y las actividades económicas más importantes en Puebla hoy en día, son aquellas especializadas en la manufactura y el comercio ¿cómo han convivido con ellas las instituciones académicas, dedicadas a la docencia y la investigación científica de Puebla? Es común que los reportes socioeconómicos incluyan a la población estudiantil de licenciatura y posgrado, y se considere a los investigadores como los recursos humanos que detonarán la innovación tecnológica y competitividad económica; pero la forma en la que se estructuran los sistemas de educación superior, y la investigación científica son complejos. Su conformación, historia, idiosincrasia, ideologías y la forma en la que se vinculan con la industria y la economía no son evidentes y obvias.

#### **Benemérita Universidad Autónoma de Puebla**

En Puebla, la principal institución educativa es la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. Es una institución que tiene orígenes en el establecimiento del Colegio de la Compañía de Jesús de San Gerónimo, en el siglo XVI, por jesuitas emigrantes que tomaron residencia en la ciudad de Puebla. Sin embargo, la Universidad de Puebla se estableció oficialmente en 1937 por el gobernador de Puebla, general Maximino Ávila Camacho<sup>67</sup>, siendo una institución dependiente del Estado. La universidad logra su autonomía del Estado en 1956, la cuál le otorga la facultad de administrar su propio patrimonio, estructura de gobierno, diseño de sus planes de estudio, y decidir quien puede matricularse como estudiante y a quien se puede contratar como profesor. Sin embargo, el financiamiento de sus actividades proviene principalmente de recursos públicos federales, y del estado de Puebla. En 1987, el Congreso del Estado de Puebla la denominó “Benemérita” por su importancia histórica en la vida de México, y su labor a favor de la prosperidad del estado de Puebla (BUAP, 2012).

En los últimos tiempos la universidad ha alcanzado dimensiones complejas, igualmente continúa siendo la institución educativa más grande del estado y principal referente de la docencia y la investigación científica de Puebla. En 2012, en la universidad se

---

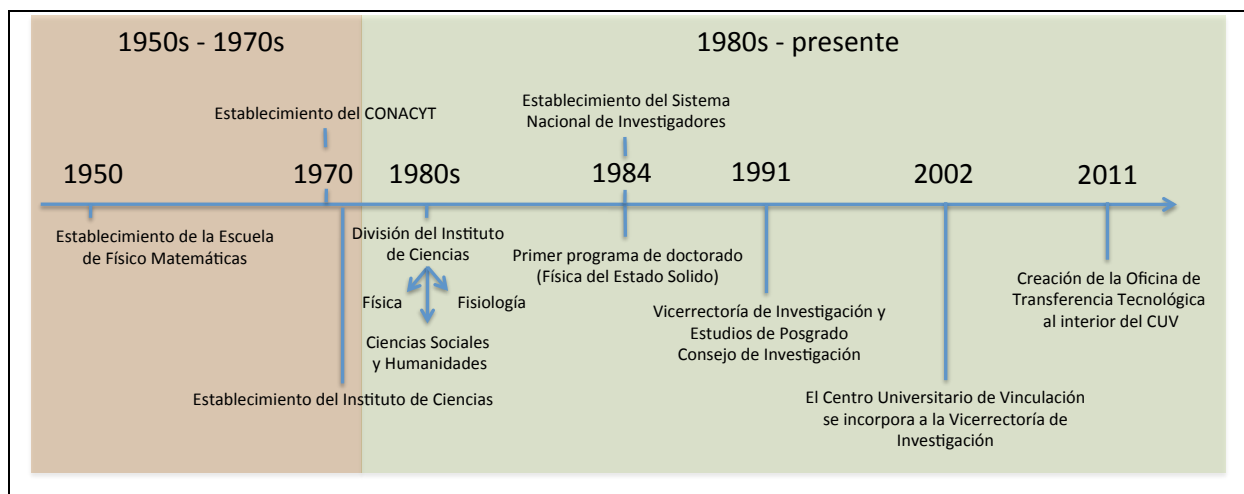
<sup>67</sup> Hermano del presidente de México Manuel Ávila Camacho, periodo 1940-1946.

encontraban inscritos 70,493 estudiantes (53,087 en licenciatura, 3,601 en programas de posgrado y 13,805 estudiantes de bachillerato). Principalmente la universidad se dedica a las actividades docentes, sin embargo docencia e investigación se encuentran de muchas formas aún separadas al interior de la universidad. Los programas educativos que se imparten cubren todas las áreas del conocimiento científico, tecnológico y de las humanidades (se imparten 81 programas de licenciatura y 83 de posgrado). En cuanto a establecimientos y organización académica, la universidad conserva la estructura de escuelas preparatorias (9), facultades (23) e institutos (4), los cuáles tienen una estructura interna de gobierno. Es decir, existe un consejo universitario que es la máxima autoridad de la institución. A través de este organismo se aprueban planes y programas de estudio, y toda la legislación que incumbe a las actividades de la universidad; pero al interior de cada unidad académica existe un consejo de unidad. La planta académica de la universidad está compuesta por 4,542 profesores, 1,975 contratados por tiempo completo, y 2,567 por medio tiempo. Por otro lado, la investigación científica comenzó a fomentarse de forma importante desde el establecimiento de la Facultad de Físico-Matemáticas en 1950, el Instituto de Ciencias en 1974, el Instituto de Física “Ingeniero Luis Rivera Terrazas” en 1980, el Instituto de Ciencias Sociales y Humanidades en 1991 y el Instituto de Fisiología en 1992. Aunque la categoría laboral de los profesores los denomina “profesor-investigador”, es un hecho que las actividades de investigación científica se desarrollan por quienes están incorporados al Sistema Nacional de Investigadores (SNI). Se trata de un programa del CONACYT dirigido a incentivar y reconocer a los investigadores a nivel nacional de instituciones, empresas y organismos públicos y privados, que se dedican a labores de investigación científica y tecnológica. Asimismo, otorga incentivos económicos con base en la productividad de investigación. Pertenecer a tal sistema tiene una importancia vital en la carrera de los académicos mexicanos. En el caso de la BUAP, existen 419 investigadores registrados en el SNI, 238 trabajan en el área de ciencias y tecnología, mientras 136 en lo referente a las Ciencias Sociales y Humanidades (BUAP, 2012).

La institucionalización de la ciencia en la BUAP es un asunto interesante, porque permite ver que la importancia de la ciencia dentro de la universidad no era un asunto dado por hecho. Como no lo era y lo es tampoco la tecnología. En un estudio interesante al respecto se analizan en forma profunda dos periodos de tal proceso de institucionalización. El primero abarca de 1950 a 1970, en el que personajes como Luis Rivera Terrazas y Joaquín Ancona Albertos (ingenieros y profesores de la BUAP) estaban preocupados por las carencias de los contenidos en los cursos de física y matemáticas de las escuelas preparatorias; promoviendo el establecimiento de la escuela de Físico-Matemáticas y el Instituto de Ciencias (Quan Kiu,

2012). El establecimiento de estas unidades académicas en la época se encuentra rodeado de fuertes conflictos políticos al interior de los grupos de profesores, los cuáles prevalecen de diversas formas y con diferentes matices hasta nuestros días. Sin embargo, la dinámica de los grupos al interior de universidades públicas como la BUAP, se han caracterizado por un hecho, cuando diversos grupos académicos no encuentran compatibilidad en sus intereses político-académicos, usualmente promueven el establecimiento de nuevas escuelas, facultades e institutos con el propósito de crear su propio reino. La figura 53 muestra las principales fechas, establecimiento de nuevos institutos de investigación, programas y acciones organizacionales que influyeron en la institucionalización de la investigación científica en la BUAP.

Figura 53. Institucionalización de la investigación científica en la BUAP



Fuente: Elaboración propia con base en Quan Kiu (2012), diversos artículos periodísticos, y entrevistas a funcionarios universitarios.

El segundo periodo importante de este proceso de institucionalización inicia desde los años ochentas, y está caracterizado por acciones decisivas en el contexto nacional y acciones internas que cambian la organización de institutos, e impulsan de manera irrevocable la investigación científico-tecnológica. En primer lugar varios grupos de investigación se encuentran divididos al interior del Instituto de Ciencias, lo que provoca el establecimiento de nuevos institutos: Física, Ciencias Sociales y Fisiología (Quan Kiu, 2012). La división de estos grupos establece nuevas reglas de organización al interior de los mismos, para desarrollar la investigación científica, que eran inexistentes y casi imposibles dentro del Instituto de Ciencias.

Esta reciente organización se acompaña por una asimilación mayor de las políticas de ciencia y tecnología provenientes del gobierno federal a través del CONACYT. Aunque este

organismo se creó en 1970, fue con el establecimiento del Sistema Nacional de Investigadores, en 1984, que realmente tuvo influencia en el fomento de las actividades de investigación científica en el país.

De igual forma, las políticas del CONACYT y la Secretaría de Educación Pública (que incluyen un departamento para el fomento de la Educación Superior y la Investigación-SESIC), tienen influencia en la expansión de los programas de licenciatura y posgrado de las universidades estatales durante los ochentas y noventas. En la BUAP, la expansión comienza con el establecimiento del primer programa de doctorado en 1984 (en física del estado sólido). En esta época el CONACYT también establece un programa de apoyo a los posgrados para reconocer a aquellos que se especializan en ciencia y tecnología (hoy Programa Nacional de Posgrados de Calidad). Al mismo tiempo, de parte de la SEP se establecen también programas de apoyo como el Programa de Mejoramiento al Profesorado (PROMEP), que incluyen la formulación de planes de desarrollo de las universidades (convenios DES-PROMEP), para diversificar el conjunto de planes y programas de estudio. Las políticas mezcladas del CONACYT y la SEP, dan como resultado una mayor expansión de programas, de tal forma que en la BUAP la apertura de posgrados continúa con mayor aceleración durante los años noventas y dos mil.

A finales de los ochentas y principios de los noventas las nuevas modificaciones a la legislación universitaria, acompañadas por evaluaciones de especialistas extranjeros, dan lugar al establecimiento de las Vicerrectorías de Docencia, la de Investigación y Estudios de Posgrado, y la de Extensión y Difusión de la Cultura. Con ello, cada uno de estos departamentos administrativos promueve acciones institucionales para fomentar las actividades principales de la universidad. Asimismo, en cada una de ellas se tiene contemplado el establecimiento de Consejos de profesores que promuevan y definan las políticas de la universidad, así como la distribución e incremento del financiamiento a las funciones universitarias.

Mientras la función docente ha sido bien asimilada y conducida por la universidad, así como la investigación científica en los tiempos recientes, en materia de vinculación con el sector social y productivo ha prevalecido ambigüedad y diversas formas de implementación. En general, la primera concepción organizacional al respecto se refiere a la denominada “extensión universitaria”, que en su mayor parte ha sido entendida desde los noventas como la educación continua y promoción de eventos artísticos. Sin embargo, durante los noventas también surgieron al interior de las unidades académicas departamentos de educación continua; ofreciendo cursos cortos a estudiantes no matriculados. También surgieron

departamentos denominados “Unidades de vinculación”, en facultades como Ingeniería y la de Ciencias Químicas. Estas unidades son la primera organización de la oferta de servicios<sup>68</sup> especializados a empresas y particulares (que incluyen consultoría, y análisis de sustancias). Al mismo tiempo, de la facultad de Ciencias Químicas emerge la que sería tal vez la primera *start-up* (y posteriormente *spin-off*) de la BUAP: la farmacia “Alexander Fleming”. En sus inicios, la farmacia involucra a estudiantes y profesores de la facultad, sin muchos elementos de innovación tecnológica el nuevo negocio defiende que se distingue de las demás farmacias porque ofrece atención farmacéutica especializada. Lo cierto es que desde sus inicios se gana la simpatía y confianza de la comunidad poblana, tanto que hasta finales de los años dos mil existían 8 farmacias en diferentes puntos de la ciudad de Puebla, y sus ganancias habían sido muy importantes para el incremento de la infraestructura de la propia facultad de Ciencias Químicas. Otros negocios emanados de la administración de la universidad, surgieron durante los noventa trayendo mucha controversia al interior de los grupos académicos. Tales negocios no siguieron la ruta del modelo estadounidense o de otros países, siendo *start-ups* y posteriormente *spin-offs*, sino que operan como unidades que proveen recursos financieros adicionales a la universidad (no se convierten en negocios independientes). Entre ellos, también se puede mencionar incluso una estación grande de gasolina, y el propio Centro Universitario de Vinculación (Romero-Muñoz, 2008).

El establecimiento del Centro Universitario de Vinculación en 1999, fue el resultado de la fusión de una agencia de promoción del empleo (creada en 1992) y una oficina de estudios estratégicos (también creada en los noventa). Sin embargo, en 2002 el centro se integra a la Vicerrectoría de Investigación y Estudios de Posgrado, cambiando su foco de atención hacia la oferta de servicios especializados de consultoría, investigación aplicada y educación continua (principalmente en el área de ingeniería). Actualmente, el centro ofrece servicios en el área de ingeniería, ingeniería ambiental, consultoría de negocios, seguridad industrial, corrosión, mecánica integral, y tecnologías de información. En 2011, al interior del centro también se creó la Oficina de Transferencia Tecnológica, encargada de administrar las patentes de la universidad. Las actividades del centro le han permitido obtener varios reconocimientos y cuantiosas ganancias. En 2007, por las actividades de este centro la BUAP recibió el premio de vinculación universidad-empresa, otorgado por la Secretaría del Trabajo y Previsión Social y la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior. De manera muy reciente, en 2013, el centro se modifica dando lugar a la Dirección

---

<sup>68</sup> En Italia corresponde al rubro denominado “conto terzi”

de Innovación y Transferencia de Conocimiento, que incorpora al CUV, la oficina de transferencia tecnológica y otras unidades dedicadas a la promoción de nuevas empresas (el Centro de Innovación y Competitividad Empresarial, el Landing Empresarial, la fábrica de software, entre otros).

El CUV adoptó, desde inicios de los años dos mil, la misión de ser el puente o vínculo para la interacción de las empresas, profesores y estudiantes, ofreciendo soluciones a problemáticas industriales. Sin embargo, hasta antes de la creación de la oficina de transferencia tecnológica no había interactuado tanto con los investigadores de la universidad. Sus actividades eran desarrolladas por personal adscrito al propio centro y estudiantes becarios de la universidad. Para la oferta de servicios el centro cuenta también con infraestructura propia. Desde su incorporación a la vicerrectoría de investigación, su propósito principal era crear una base financiera que le permitiera subsanar sus propias actividades y expandirlas posteriormente. De tal forma que, de 2002 a 2012, pasó de recaudar 3,586,234.83 pesos, a 62,222,057.33 al final del periodo. Con altas y bajas, en tal periodo había recabado en promedio más de 30 millones de pesos por año. Tales ganancias son tan significativas que se comparan con los montos que obtenía la universidad en su conjunto, como financiamiento extraordinario por de parte de la Secretaría de Educación Pública; financiamiento dedicado a la infraestructura de laboratorios y equipamiento para la docencia.

Así, el CUV se enfocó en proveer servicios a las grandes empresas, tales como PEMEX (en el sector de la petroquímica), Volkswagen, Aeropuertos y Servicios, entre otros. A lo largo de su historia ha llegado a diversificar sus servicios y clientes, atendiendo más de 45 empresas de todo tipo, en los sectores público y privado.

Por otra parte, la apuesta del CUV había sido ofrecer servicios como primer paso, y como forma de afianzar la confianza con sus clientes, a fin de que posteriormente fuese posible establecer proyectos más ambiciosos de investigación colaborativa y licenciamiento de patentes, pero tales actividades se encuentran aún en su etapa de inicio. La investigación colaborativa se lleva a cabo de cierta forma. Por ejemplo, el tipo de servicios ofrecidos por el departamento de investigación aplicada implica trabajo de investigación científica en las áreas de biotecnología, química y nuevos materiales. Asimismo, con la creación de la nueva Dirección de Innovación, se abrieron convocatorias específicas para apoyar a proyectos de investigación aplicada, en los cuales tiene mucha participación tal departamento del CUV y un número importante de investigadores de la BUAP. Igualmente, los investigadores del CUV mantienen colaboraciones con los investigadores de la BUAP, sin embargo, en la universidad

en su conjunto, como tal aún no se llevan a cabo contratos de investigación colaborativa (o comisionada) donde participen los investigadores de la BUAP.

Si tan buenos resultados tenía el CUV con la oferta de servicios especializados, no se comprende a ciencia cierta por qué, desde 2011, ha decidido dar prioridad en sus políticas hacia el registro de patentes con la intención establecer licenciamientos y creación de *start-ups*. Aunque es cierto que, por una parte el establecimiento de la oficina de transferencia tecnológica respondió a ciertas demandas de la comunidad de investigadores para tener orientación y apoyo en el registro de patentes. Por otro lado, las políticas del CONACYT y la Secretaría de Economía durante inicios de la presente década, vinieron a reforzar la idea de apoyar a la innovación tecnológica para que sea la base de la economía; para lograrlo crearon en el año 2010 el Fondo Sectorial de Innovación (FINNOVA). La oficina de transferencia de tecnología del CUV fue de las primeras en aplicar a las convocatorias del FINNOVA y ser certificada por tal programa. De igual forma, las actividades de la oficina vinieron a conciliar intereses entre la comunidad académica y el CUV, ya que el registro de patentes es la actividad del centro donde realmente se ven involucrados los investigadores de la BUAP.

Con el establecimiento de la oficina de transferencia tecnológica, el registro de patentes en la BUAP pasó de ser prácticamente nulo a inicios de los noventas, a alcanzar un total de 73 solicitudes de patente hasta junio 2013. Para los años posteriores tal número se incrementó en promedio de 30 patentes más por año.



Figura 54. Solicitudes de patente de la BUAP por área, periodo 1995-2013.

Área industrial (IPC <sup>69</sup> )	Solicitudes de Patente
Física (Electrónica y telecomunicaciones).	21
Química y metalurgia (Biotecnología, otros compuestos químicos: fármacos, polímeros, química orgánica).	14
Ingeniería mecánica, iluminación, calefacción.	14
Necesidades humanas (Agroalimentación, tecnologías para la salud, higiene).	12
Electricidad	7
Técnicas industriales diversas y Transporte	4
Construcciones fijas	1
Total	73

#### Otras universidades y centros de investigación

Hasta inicios de los noventa la BUAP atendía al 80 por ciento de la demanda en educación superior. Sin embargo en ese mismo periodo, al interior de la universidad, sucedieron reformas para limitar el ingreso, dando como resultado una disminución de la matrícula y la expansión de instituciones privadas en Puebla (Romero y De Vries, 2005). La mayor parte de instituciones privadas surgidas después de los noventa en Puebla tuvieron dos características: se enfocaban en atender la demanda no cubierta por la BUAP, y la mayor parte ofrecían programas en carreras tradicionales (derecho, contaduría, y administración).

Al interior del Estado ya se habían establecido universidades privadas y otras instituciones públicas antes de los noventa. Entre las más importantes destacan la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), que es una institución de tradición católica fundada en 1973. La Universidad de las Américas Puebla (UDLAP), una institución que sigue el modelo norteamericano y tiene como antecedente el colegio Mexico City College fundado en 1940. Con recursos de la fundación Mary Street Jenkins esta universidad abrió su sede en Cholula, Puebla en 1970. La Universidad Iberoamericana-Puebla fundada en 1983 y perteneciente al sistema universitario jesuita de México. El Instituto Tecnológico de Estudios Superiores Monterrey (ITESM) fundado en 2002, y que forma parte

<sup>69</sup> International Patent Classification

del sistema de institutos tecnológicos ubicados en todo México. Este sistema de institutos tienen origen en el ITESM campus Monterrey, fundado por iniciativa de empresarios de la región en 1943. Por otra parte, destacan las instituciones públicas establecidas por iniciativa de los gobiernos federal y estatal. El Instituto Tecnológico de Puebla, que es una institución perteneciente al sistema de institutos tecnológicos dependientes del gobierno federal, fue fundado en 1972. Las Universidades Tecnológicas, fundadas por iniciativa gubernamental durante los noventa; estas universidades comenzaron ofreciendo programas correspondientes al nivel 5 de la UNESCO: técnico superior universitario; posteriormente abrieron oferta a nivel de licenciatura.

La expansión de las instituciones de educación superior en Puebla se intensifica durante los noventa, debido a la política gubernamental convencida de que más instituciones era lo mejor. Así, el gobierno estatal comenzó a reconocer rápidamente la oferta de educación privada y otorgó financiamiento y terrenos para el establecimiento de más universidades e institutos tecnológicos; además del establecimiento de campus de la BUAP al interior del estado. Ello ha resultado en la conformación de un sistema de educación superior estatal que ofrece prácticamente de todo; hasta el año 2005 en Puebla existían: en el sector público una universidad autónoma, 4 universidades tecnológicas, una universidad politécnica, 8 institutos tecnológicos, y 5 instituciones de educación normal; en el sector privado existían más de 170 establecimientos. La suma de instituciones eran en 2005 más de 200, la mayor parte pequeñas en comparación con la BUAP. Para 2014, la Secretaría de Educación Pública informó que en Puebla existen más de 350 universidades. Aún con todo ello, la cobertura educativa para 2005 abarcaba sólo el 18 por ciento del grupo de edad de 19 a 24 años, y para 2012 había alcanzado el 26 por ciento (INEGI, 2012). En universidades como la UPAEP, la UDLAP o la Universidad Iberoamericana la matrícula suele alcanzar varios miles de estudiantes, pero en la mayor parte de las demás instituciones la población estudiantil es pequeña. Durante 2005, la mitad de la matrícula era atendida por el sector público y el 38 por ciento se concentraba en la BUAP. En general, la matrícula del estado superaba los 100 mil estudiantes para el mismo periodo (Romero & De Vries, 2005).

Pero mientras existen oficialmente más de 350 instituciones de educación superior, también hay una diferencia entre las instituciones donde se llevan a cabo labores de investigación científica, y las que se dedican exclusivamente a labores de docencia. En Puebla, la investigación científica fuera de la BUAP, se lleva a cabo en sólo algunas instituciones privadas y centros públicos de investigación. Aquí también destacan la UPAEP y la UDLAP, por el lado de las universidades, así como el Instituto Nacional de Astrofísica,

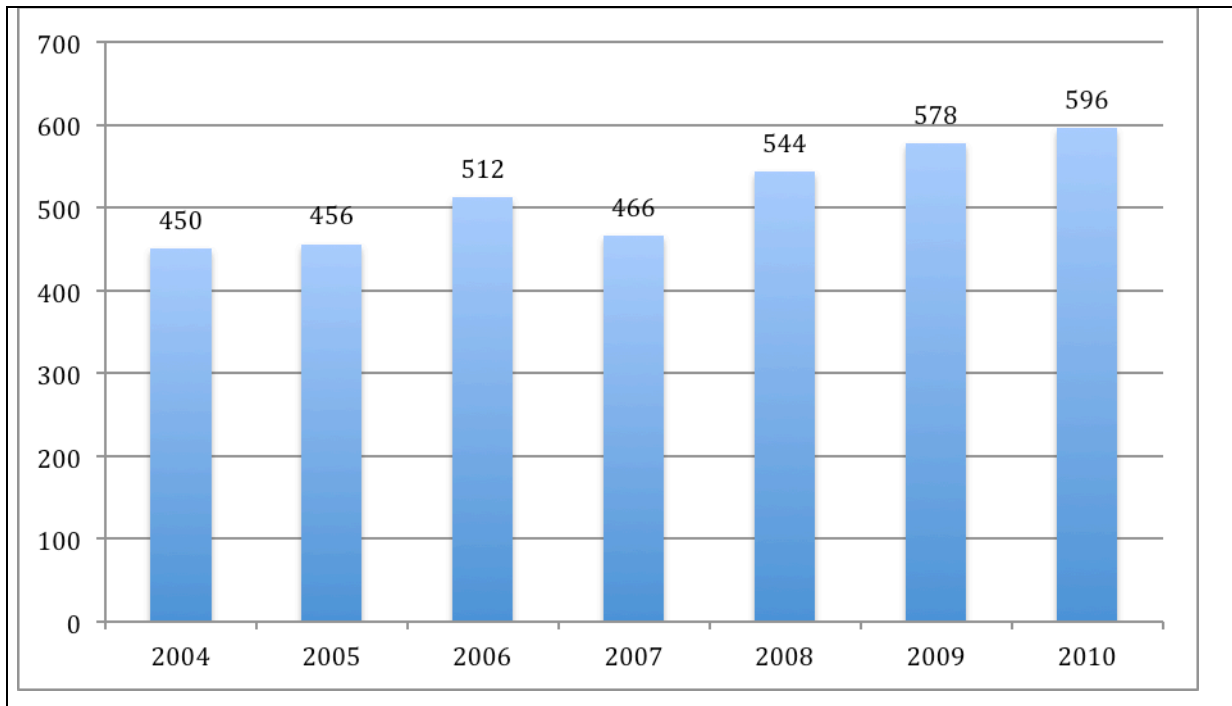
Óptica y Electrónica (INAOE), y Colegio de Posgraduados en Ciencias Agrícolas (COLPOS) por el lado de los centros de investigación. Ya hemos señalado que en México es posible identificar a los investigadores a través del Sistema Nacional de Investigación del CONACYT. Así se puede ver que la mayor parte de ellos se concentran en la BUAP y el resto están distribuidos como se puede observar en la figura siguiente.

Figura 55. Miembros del Sistema Nacional de Investigadores por institución de adscripción 2010

Institución	No. de investigadores
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	361
Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica	109
Universidad de las Américas Puebla	54
Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla	19
Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas	17
Universidad Iberoamericana-Puebla	10
Centro de Investigación Biomédica de Oriente (IMSS)	8
Instituto Tecnológico de Estudios Monterrey	5
Instituto Tecnológico de Puebla	4
Laboratorios Clínicos de Puebla, S.A. de C.V.	2
Universidad Tecnológica de Puebla	2
Instituto Tecnológico de Tehuacán	1
Centro de Investigación en Genética y Ambiente	1
Coordinación Delegacional de Investigación en Salud (IMSS)	1
Instituto Nacional de Antropología e Historia, centro regional Puebla.	1
Universidad Politécnica de Puebla	1
<b>Total</b>	<b>596</b>

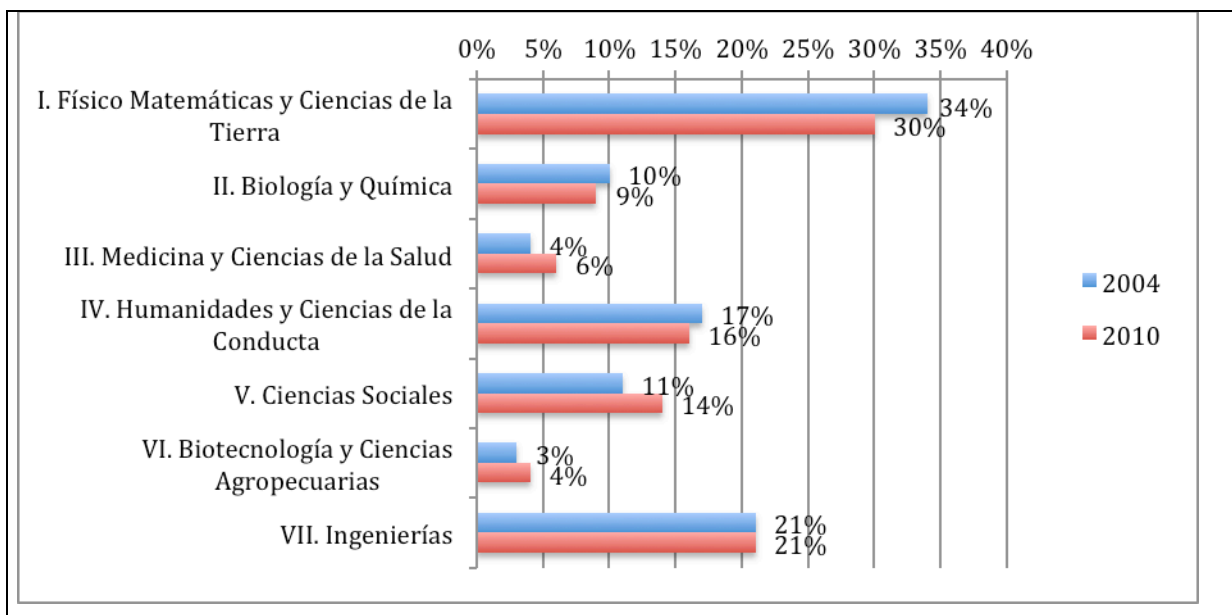
Fuente: elaboración propia con base en FCCyT, 2010. Fuente original CONACYT.

Figura 56. Miembros del Sistema Nacional de Investigadores en el estado de Puebla (2004-2010)



Fuente: elaboración propia con base en FCCyT, 2010. Fuente original CONACYT.

Figura 57. Miembros del Sistema Nacional de Investigadores en el estado de Puebla por área 2004 y 2010.



Fuente: elaboración propia con base en FCCyT, 2010. Fuente original CONACYT.

### **3.4 Políticas públicas sobre ciencia, tecnología e innovación.**

#### Contexto Nacional

Como ya se ha mencionado, en México, Estados Unidos, Europa y otras partes del mundo, las políticas públicas orientadas a fomentar la ciencia, la tecnología y la innovación como elementos que promuevan el crecimiento económico, provienen en muchos sentidos de las políticas promovidas por la OCDE desde los años sesentas del siglo XX (Godin, 2009). Sin embargo, en Italia tales políticas se intensificaron durante los años noventas con la creación de los fondos de la Comisión Europea, dirigidos específicamente a financiar proyectos de innovación tecnológica con la intención de romper la llamada “paradoja europea”, referida a la fortaleza de la investigación científica desarrollada en Europa, pero la capacidad limitada para transformarla en tecnología, innovación y competitividad empresarial. En México, políticas similares se encontraban en el discurso de los años noventas, no obstante se intensificaron, tomaron forma y se vieron reflejadas en el financiamiento público hasta la década de los años 2000; al mismo tiempo varios cambios legislativos en materia de ciencia y tecnología también tuvieron lugar.

Así, en México, los primeros fondos dedicados exclusivamente al apoyo de proyectos de investigación enfocada en la innovación tecnológica aparecieron en el año 2002. La ley de ciencia y tecnología aprobada también en 2002 permitió, entre otras cosas, que el CONACYT ampliara la orientación de sus actividades y no se enfocara exclusivamente a apoyar la investigación básica. Tales reformas incluían también nuevos esquemas de financiamiento para apoyar investigación tecnológica en diversas áreas, compartido entre distintas dependencias del gobierno federal.

La aprobación de la ley de ciencia y tecnología marcó un cambio en las políticas públicas para el impulso de la ciencia, la tecnología y la innovación. De hecho se conformó un programa especial de ciencia y tecnología (2001-2006) que contó con objetivos estratégicos importantes:

1. Contar con una Política de Estado en Ciencia y Tecnología.
2. Incrementar la Capacidad Científica y Tecnológica del país.
3. Elevar la Competitividad y la Innovación de las Empresas.

Acorde con este último objetivo, se incorporaron varios mecanismos para financiar la innovación tecnológica de las empresas. El instrumento principal fue un programa de “Estímulos Fiscales”, que consistía básicamente en deducir impuestos a las empresas que

declararan realizar desarrollos tecnológicos. Este esquema de estímulos fiscales, puesto en marcha en 2002, tenía el propósito de denotar la inversión privada en ciencia y tecnología, y representó la principal forma para financiar a las empresas con recursos públicos a favor de las actividades de innovación. A pesar de sus buenos propósitos, su operación se caracterizó por serias problemáticas. Una crítica muy sabida fue que las empresas declaraban invertir en el desarrollo de tecnologías, cuando en realidad se trataba de sus actividades ordinarias de producción, además de que no fomentaba de ninguna forma la colaboración entre la universidad y la empresa. En todo caso, fomentaba la innovación tecnológica del tipo cerrada, al interior de la empresa. El sector académico fue quien señalaba fuertemente esta crítica, enfatizando que los recursos económicos del programa debieran destinarse sólo a las empresas que se vincularán con universidades y centros de investigación para el desarrollo de productos nuevos basados en tecnología. Un problema adicional, señalado por los propios responsables del programa es que benefició en su gran mayoría a las empresas transnacionales grandes, destinando aproximadamente el 80 por ciento del programa. Finalmente, el mayor problema de la operación de los estímulos fiscales es que se dejaron de ejercer 6 mil 500 millones de pesos en los 7 años que duró el programa, ya que este monto del presupuesto del programa se aplicaría sobre la inversión de las empresas en desarrollos tecnológicos. El programa contemplaba, por ley, condonar sólo el 30 por ciento de la inversión que las empresas hicieran en desarrollos tecnológicos. Sin embargo, los propios responsables del programa señalaron “fallas técnicas” de los empresarios al no pagar impuestos, y por tanto no poder recibir los recursos económicos del programa (Olivares Alonso, 2009).

La puesta en marcha de los estímulos fiscales permite ver dos aspectos importantes. Por una parte, muestra la aversión de las empresas hacia la inversión en el desarrollo de tecnología, pues aún con condonación de impuestos y la recepción de recursos públicos, el programa no les había resultado atractivo. Por otra parte, muestra la poca responsabilidad social de las empresas en el pago de impuestos.

A pesar de ello, un aspecto positivo del esquema de estímulos fiscales es que dio pie a la reformulación de los diferentes programas que durante 2002 comenzaron a operar a la par. Nos referimos a los fondos sectoriales y mixtos que han sufrido transformaciones positivas y en algunos casos, desviaciones de sus propósitos originales. Los fondos sectoriales se establecieron como programas compartidos entre las secretarías del Estado Mexicano y el CONACYT. Los primeros fondos se implementaron mediante convocatorias muy específicas que delimitaban temas de investigación prioritarios (delimitados por las secretarías de Estado participantes). Los fondos mixtos, por su parte, son programas de apoyo a proyectos con

financiamiento compartido entre el CONACYT y los gobiernos de los estados. Las convocatorias de estos fondos también tuvieron como propósito atender los problemas prioritarios, definidos por cada uno de los gobiernos de los estados participantes. En un modo diferente al esquema de estímulos fiscales, esta serie de fondos contemplaban también el apoyo a empresas con recursos públicos a través de proyectos.

A continuación se muestran los 27 fondos que existían hasta 2014, así como las subsecretarías y dependencias de la administración pública involucradas. En el caso de los Fondos Mixtos, existe uno por cada estado de la república mexicana (32) y 3 fondos municipales<sup>70</sup>.

---

<sup>70</sup> Fuente: <http://www.conacyt.mx> sitio consultado el 12 de septiembre de 2014.

Figura 58. Fondos públicos para actividades de Investigación y Desarrollo. México 2014.	
Dependencias	Fondo
ASA (Aeropuertos y Servicios Auxiliares) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación para el desarrollo Aeroportuario y la Navegación Aérea
CFE (Comisión Federal de Electricidad) – CONACYT	Fondo Sectorial para Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía
CONACYT – INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía)	Fondo Sectorial de Investigación CONACYT – INEGI
CONACYT – SENER (Secretaría de Energía) / Hidrocarburos	Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos
CONACYT - SENER (Secretaría de Energía) / Sustentabilidad Energética	Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética
CONAFOR (Comisión Nacional Forestal) - CONACYT	Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal
CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua
CONAVI (Comisión Nacional de Vivienda) - CONACYT	Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico para el Fomento de la Producción y Financiamiento de Vivienda y el Crecimiento del Sector Habitacional
SE (Secretaría de Economía) - CONACYT / Innovación	Fondo Sectorial de Innovación (FINNOVA)
SE (Secretaría de Economía) - CONACYT / Innovación Tecnológica	Fondo de Innovación Tecnológica (FIT)
Instituto Nacional de la Infraestructura Física y Educativa (INIFED) – CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación INIFED-CONACYT
Instituto Nacional de las Mujeres (INMUJERES) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo INMUJERES – CONACYT
Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos
Secretaría de Turismo (SECTUR) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación SECTUR – CONACYT
Secretaría de Desarrollo Social (SEDESOL) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación para el Desarrollo Social
Secretaría de Marina (SEMAR) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencias Navales
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) – CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación Ambiental
Secretaría de Educación Pública (SEP) – CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación para la Educación
Secretaría de Educación Pública (SEP) - CONACYT / Investigación Básica	Convocatoria de Investigación Científica Básica
SEP/AFSEDF - CONACYT	Convocatoria de la Administración Federal de Servicios Educativos en el Distrito Federal (AFSEDF)
SEP/CGEIB (Coordinación General de Educación Intercultural y Bilingüe) – CONACYT	Convocatoria de Investigación para la Educación Indígena e Intercultural
SEP/IMJUVE (Instituto Mexicano de la Juventud) – CONACYT	Convocatoria de Investigación en Juventud
SEP/SEB (Subsecretaría de Educación Básica) – CONACYT	Convocatoria de la Subsecretaría de Educación Básica
SEP/SEMS/UPEPE/INEE – CONACYT	Subcuenta de Investigación para la Evaluación de la Educación
SEP/SES/UPEPE - CONACYT	Investigaciones Acerca de la Violencia de Género / Investigaciones con Enfoque de Género
Secretaría de Relaciones Exteriores (SER) – CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación SRE - CONACYT
SS (Secretaría de Salud) / IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social) / ISSSTE (Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado) - CONACYT	Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social

Este tipo de fondos están dedicados a financiar proyectos de investigación que en muchos casos se relacionan con desarrollo de tecnología o investigación aplicada. Sin embargo, el Fondo Sectorial de Innovación (FINNOVA) y el Fondo de Innovación



Tecnológica (FIT) son explícitamente los que se dirigen a apoyar proyectos con fines de innovación. Para el caso de Puebla, fue posible identificar proyectos de investigación relacionados con la innovación tecnológica a través del análisis de los fondos que a continuación presentamos.

Figura 59. Fondos que han financiado proyectos de investigación y desarrollo en Puebla.

Fondo	Año de creación	Monto acumulado otorgado hasta 2013
Fondos Mixtos (CONACYT-Gobierno del Estado de Puebla)	2002	368,852,887.31
Sectorial de Innovación/FINNOVA (Secretaría de Economía-CONACYT)	2010	473,048,795.00
Fondo de Innovación Tecnológica (Secretaría de Economía-CONACYT)	2002	2,411,031,305.09
Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos (SAGARPA-CONACYT)	2002	ND
Investigación y Desarrollo sobre el Agua (Comisión Nacional del Agua CONAGUA-CONACYT)	2000	144,180,599.00
Investigación Ambiental (SEMARNAT-CONACYT)	2002	463,346,853.18
Programa de Estímulos a la Innovación: INNOVAPYME, INNOVATEC, PROINNOVA (CONACYT).	2009	11,158,013,762.00
Programa AVANCE (CONACYT).	2003 (2005, 2007, 2008)	ND
Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT-CONACYT)	2009	1,316,308,186.60
Proyectos de innovación tecnológica 2014 (CUVyTT-BUAP)	2014	2,740,000.00
		16,337,522,388.18

Fuente: Elaboración propia con base en las solicitudes de información realizadas a través del sistema de información INFOMEX, periodo mayo-julio 2014.

Aún con la creación de estos fondos, en México no ha existido estrictamente un tipo de política industrial sostenida. Posterior a la gran fuerza que tuvo la expropiación petrolera, y demás iniciativas emanadas del gobierno del general Lázaro Cárdenas del Río<sup>71</sup>, en México no sucedieron procesos similares ni apoyo decidido al desarrollo industrial interno. Al contrario, se dio prioridad a una fuerte intervención del capital extranjero y empresas multinacionales. En muchos sentidos, es el régimen que se mantiene hasta nuestros días, y

<sup>71</sup> Periodo correspondiente a los años treinta y cuarenta del siglo XX.

llego a su punto máximo con los gobiernos de la década de los noventa. Este modelo económico corresponde a un estilo neoliberal que ha considerado la mínima intervención del Estado en la regulación de los mercados comerciales. Así, en 1992 se favoreció la firma del Tratado de Libre Comercio de América del Norte (entre México, Estados Unidos y Canadá).

Muchos son los debates y especulaciones sobre los beneficios y efectos negativos que ha dejado para México este tratado, incluyendo el hecho de que la mayoría de especialistas continúa manifestando que los acuerdos más importantes del tratado aún no han llegado a establecerse o ponerse en operación. Sin embargo, un aspecto muy importante a tener en consideración fue el que existe una apertura y mayor facilidad de las empresas extranjeras para operar en México, y el desarrollo de las empresas mexicanas no ha sucedido de forma similar. Al mismo tiempo, el Estado Mexicano se desprendió de la gran mayoría de empresas paraestatales, estableciendo concesiones que dieron pie al crecimiento de monopolios, principalmente en el sector de telecomunicaciones (telefonía y televisión). El papel y efecto que tienen tales monopolios en la vida pública y comercial del país es sumamente poderoso; tanto que se expande a prácticamente todos los sectores económicos.

Por dar un ejemplo, durante los noventa el magnate mexicano Carlos Slim<sup>72</sup> compró al Estado la empresa Teléfonos de México (TELMEX), y en un acto relacionado con nuestro tema de investigación, en febrero de 2013, Slim junto con Bill Gates invirtieron 25 millones de dólares en el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, ubicado en el Estado de México; la inversión total asciende a 360 millones de pesos. Como sabemos, este centro tiene como objetivo incrementar la producción agrícola en el país mediante semillas mejoradas y la capacitación de agricultores (Posada, 2013).

Por otra parte, la innovación tecnológica en las empresas mexicanas no ha sido una alternativa para sostenerse en el mercado, lejos de los monopolios como TELMEX que ha incorporado innovaciones tecnológicas no necesariamente emanadas de México, la mayoría de empresas de capital mexicano han utilizado estrategias ligadas a la reducción de los gastos de producción, de la mano de obra, o bien de los insumos o materias primas (Carrillo et al, 2012). Es difícil identificar ejemplos de empresas mexicanas que hayan utilizado a la innovación tecnológica como herramienta de crecimiento, así como las colaboraciones que hayan establecido con universidades.

---

<sup>72</sup> Carlos Slim Helú ha sido nombrado por varias publicaciones el hombre más rico del mundo (de 2010 a 2013). Es empresario, inversionista y filántropo, dueño de la corporación Industrial Carso (especializado en telecomunicaciones) y Grupo Inbursa (banca). Su fortuna se vio acrecentada sobre todo durante los años de 1980, cuando en medio de la crisis nacional y grandes fugas de capital, Slim y su grupo de empresarios realizaban inversiones y adquisición de empresas, estableciendo un monopolio en el sector de telecomunicaciones y posteriormente diversificando sus inversiones en otros sectores relacionadas con la informática en México y Estados Unidos.

Es importante recordar en este contexto, que la inversión en ciencia y tecnología en México generalmente ha permanecido por debajo del porcentaje que el resto de los países de la OCDE invierten (alrededor del 0.40% del PIB -Producto Interno Bruto- en el periodo de 2001 a la fecha). En materia de gasto en ciencia y tecnología, la visión del programa especial de ciencia y tecnología 2001-2006 establecía: “La visión al año 2025, es que el país pudiera estar invirtiendo para entonces más del 2% del PIB en actividades de investigación y desarrollo experimental (IDE), y que mediante todo un conjunto de esfuerzos el país será una de las diez economías más importantes del mundo y será miembro del grupo de los 20 mejores en ciencia y tecnología”. No existen muchos indicios de que la meta se esté cumpliendo, o al menos continua la incertidumbre. Recientemente el CONACYT, y diversas organizaciones empresariales y del sector público, anunciaban el “lanzamiento” del Programa de Estímulos a la Innovación con la intención de lograr el 1% del PIB en ciencia, tecnología e innovación (CONACYT, September 9, 2014).

Finalmente, dos cambios muy significativos también fueron introducidos a raíz de la Ley de Ciencia y Tecnología (2002), y el programa especial de ciencia y tecnología 2001-2006. El primero es la creación del RENIECYT (Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas). Se trata de un registro otorgado a cualquier organización pública o privada (instituciones académicas, empresas, centros de investigación) y personas físicas, nacionales o con residencia en México, que realicen actividades relacionadas con la ciencia y la tecnología. El principal beneficio del RENIECYT es la posibilidad de participar en los diferentes fondos que administra el CONACYT.

En segundo lugar, el acceso a la información de las actividades científicas y tecnológicas también ha sido un propósito muy importante. Se creó el Sistema Integrado de Información sobre Investigación Científica, Desarrollo Tecnológico e Innovación (SIICYT), en el que es posible acceder a diversa información relacionada con el desempeño nacional en este rubro, así como conocer a las organizaciones y personas físicas que se encuentran en el RENIECYT. Recientemente, en mayo de 2014, se adicionó un capítulo a la Ley de Ciencia y Tecnología relacionado con el acceso a la información científica y tecnológica: “Del Acceso Abierto, Acceso a la Información Científica, Tecnológica y de Innovación y del Repositorio Nacional”. El capítulo establece que el CONACYT implementará distintas estrategias para democratizar la información, producto de las investigaciones apoyadas con fondos públicos o que utilicen infraestructura pública para su realización (Información científica, tecnológica y de innovación nacional e internacional). De manera que sea abierta y esté disponible en

formato digital a texto completo para la población en general, sin requerimientos de suscripción o pago.

#### Contexto estatal

En el plano estatal destaca el hecho de que en 2004 se haya aprobado la Ley de Fomento a la Investigación Científica, Tecnológica, Humanística y a la Innovación. La ley tenía el propósito de reforzar la creación y funcionamiento del Sistema Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación. Sin embargo, varios aspectos aún no se han llegado a concretar. En primer lugar, el estado cuenta con un consejo propio de ciencia y tecnología desde 1983; pero su capacidad de apoyo a tales rubros es bastante limitado en comparación con la influencia que tiene el CONACYT para instituciones educativas como la BUAP; no se diga para las empresas. Aún así, en el 2004 también se aprobaba un nuevo reglamento interior del Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología del Estado de Puebla (CONCYTEP). Con nuevo marco legislativo, el gobierno del estado y el propio CONCYTEP, formularon en los años posteriores los documentos que describen las políticas estatales que actualmente tienen vigencia en materia de ciencia, tecnología e innovación: el Plan Estatal de Desarrollo 2005-2011 y el Programa Institucional del CONCYTEP 2005-2011. Ambos programas tienen en perspectiva hacer de Puebla uno de los estados con mayor desarrollo en materia de Ciencia, Tecnología e Innovación de México. Así, muchos propósitos se enumeran, como la creación de un Foro consultivo poblano para la innovación y el desarrollo tecnológico, la creación de un parque científico y tecnológico, y la creación de un servicio estatal de información y documentación científica, tecnológica y humanística (FCCyT, 2010).

Es difícil hacer conjeturas sobre este tipo de planes estratégicos y prever resultados sobre ellos, por un lado tienen muy poco tiempo de haberse creado y por otro lado siguen de muchas formas las líneas de los programas federales enfocados en los mismos temas. Lo que sí se puede analizar en cierta medida es la operación que está teniendo el gobierno del estado a través del otorgamiento de los fondos mixtos, el ejercicio de presupuesto del CONCYTEP y la captación de fondos federales en el estado. Por un lado, el reporte de la OCDE (OECD, 2009) sobre el caso específico de Puebla mencionaba que las áreas prioritarias que el gobierno estatal estaba impulsando en innovación y creación de clusters, eran los correspondientes a los siguientes sectores:

- Automotriz
- Turismo
- Productos lácteos

- Alimentos y bebidas
- Textiles
- Farmacéutica
- Agroindustria
- Tecnologías de la información

En el caso de los dos primeros rubros, hasta para la gente no especializada es claro el impulso y la prioridad que el gobierno estatal da a estos dos sectores. Tanto que parecieran ser los únicos importantes de la entidad. En el análisis que hemos efectuado de los fondos mixtos y sectoriales, también es posible ver que la industria automotriz en Puebla, aunque ya consolidada, recibe fondos muy importantes no sólo de los fondos mixtos, sino también del programa de estímulos a la innovación. En el caso de los fondos mixtos en el periodo de 2002 a 2014, es posible ver que el 70 por ciento de los recursos destinados a través de este programa se dirigieron a financiar dos proyectos relacionados con el sector automotriz. Pareciera ser poca cosa, pero el programa declara haber apoyado a un total de 37 organismos, incluidas 33 instituciones académicas, sin embargo, en el otorgamiento de los montos totales se ve la distribución que ya hemos mencionado.

Por otro lado, en el documento del Foro Consultivo, Científico y Tecnológico (FCCYT, 2010) se hace mención de que durante 2009, al CONCYTEP se le habían asignado un total de 5.24 millones de pesos, lo que apenas representaba el 0.01% del presupuesto total del estado, y era a su vez uno de los porcentajes más bajos en comparación del resto de los estados. Es un asunto grave, porque el CONCYTEP es oficialmente el organismo mediante el cual el gobierno del estado fomenta y otorga financiamiento a la ciencia, la tecnología y la innovación.

De igual forma, la participación del estado de Puebla en la captación del resto de fondos sectoriales resulta un tanto modesta. El mismo informe menciona que en Puebla se habían logrado captar el 9.4% de los fondos sectoriales y el 4.4% del Programa de estímulos fiscales (mientras se encontraba en operación).

### **3.5 Panorama Empresarial**

Como en otras economías, en el estado de Puebla actualmente existen 20,423 empresas (de acuerdo con los datos del Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM)<sup>73</sup>. La mayor

---

<sup>73</sup> Fuente: Sistema de Información Empresarial Mexicano (SIEM), Secretaría de Economía. <http://www.siem.gob.mx/siem/> Acceso 29 de mayo de 2014

parte de ellas son micro (de 0 a 10 trabajadores) 18,349, y pequeñas (de 11 a 50 trabajadores) 1,655. Sólo 44 son grandes (más de 250 trabajadores) y 375 son medianas (de 51 a 250 trabajadores). Sin embargo, la gran mayoría no son negocios con base tecnológica. Es posible identificar a las empresas de este tipo a través del Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas del CONACYT. En 2014, se encontraban inscritas 182 empresas<sup>74</sup>. Las organizaciones de Puebla registradas en el RENIECYT suman además a 35 instituciones de enseñanza superior, 2 centros de investigación, 2 instituciones de la administración pública, 18 instituciones privadas no lucrativas, y 22 personas físicas con actividad empresarial.

Hay que señalar que el número de empresas varía dependiendo de la fuente. El Sistema de Información Empresarial sólo considera a un porcentaje de aquellas que figuran en los datos del INEGI. En 2009, esta dependencia contaba 309,157 unidades económicas, las cuales representaban el 6% del total nacional. El 99.91 por ciento eran micro, pequeñas y medianas, y estaban generando el 84.51 por ciento del empleo en Puebla. No es un asunto menor, aunque debe considerarse que sólo contribuían con el 38.73 de la producción bruta total del estado de Puebla (FCCyT, 2010).

Tomando en cuenta los datos del SIEM, la mayor parte de las actividades empresariales se concentran en el área de comercio, en 2009 más de la mitad de estas empresas operaban en tal sector, la otra mitad se distribuía principalmente en el área de transportes y comunicaciones (1,884), manufactura (1,282), la industria de la construcción (456), el sector agropecuario (17), la minería (10), y la electricidad y el agua (7).

Por otra parte, de las 182 empresas inscritas en RENIECYT destaca la gran cantidad que se dedican a la manufactura en las áreas de maquinaria y equipo, alimentos, tabaco, bebidas, textiles, madera, papel, derivados del petróleo e industria química (69). Seguidas por las que se dedican a la prestación de servicios profesionales científicos y técnicos (59). Posteriormente, las dedicadas a la agricultura, ganadería, aprovechamiento forestal, pesca y caza (17), y el comercio al por mayor (10). El total de empresas se distribuyen después en áreas como la construcción, electricidad, agua y suministro de gas, información en medios masivos, minería, servicios de apoyo a negocios, salud, y servicios financieros (27). Un aspecto a destacar es que no todas las empresas que se encuentran registradas en el RENIECYT han recibido recursos o fondos para la innovación, aún siendo el mayor beneficio de estar inscritos en tal programa.

---

<sup>74</sup> Fuente: Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas (RENIECYT). <http://www.conacyt.gob.mx/siicyt/> Acceso 29 de mayo de 2014.

Se puede decir que la industria poblana se encuentra en las áreas tradicionales. El proceso de industrialización que hemos revisado también nos deja ver que desde los años setentas se inició la construcción de varios parques industriales, que en la actualidad dan empleo a más de 12 mil trabajadores. El Sistema Mexicano de Promoción de Parques Industriales tiene registrados 19 parques industriales de Puebla, aunque el informe del FCCyT solo logró recabar información de 6. Por el número de empresas que agrupa (23) y el número de trabajadores (6,542), el parque industrial más importante es el de Volkswagen-Fraccionadora Industrial del Norte, S.A. de C.V. Le siguen el Parque industrial Resurrección de la ciudad de Puebla A.C. con 23 empresas y 3,768 trabajadores; el parque industrial 5 de Mayo (27 empresas y 2,000 trabajadores); el conjunto Industrial Chachapa (19 empresas y 350 trabajadores); el parque industrial del Valle de Tehuacán (63 empresas y 30 trabajadores); y el parque industrial Puebla 2000, con 53 empresas (FCCyT, 2010).

Por otra parte, una conclusión importante del Foro Consultivo de Ciencia y Tecnología<sup>75</sup> señala que “el problema central del SNI [Sistema Nacional de Innovación] mexicano reside en la ausencia de demanda de tecnología y conocimiento de las empresas” (Carrillo et al, 2012). En efecto, los estudios sobre las condiciones de las empresas en México es muy escaso, al igual que los estudios sobre la colaboración y los flujos de conocimiento entre la universidad y la empresa.

### Consideraciones finales

Hay un punto que explica por qué la industria poblana y la principal universidad del estado de Puebla tienen puntos de desencuentro, que se vislumbran difíciles de cambiar. Aunque la institucionalización de la ciencia comenzó en la BUAP durante los años cincuentas, y se intensificó durante los ochentas y noventas, la diversificación de la industria en Puebla sucedió con la intervención de empresas transnacionales durante los setentas. Esto marcó un punto determinante en la separación de las trayectorias de la universidad y empresas. Las empresas transnacionales que producen su propia tecnología dominan los mercados en todas las áreas de la región desde entonces. Se puede afirmar que la BUAP comenzó a ser importante en investigación científica cuando la industria poblana ya estaba instalada, marcando un tipo de vinculación con ella a través de los egresados, pero no a través de otras modalidades de colaboración. Es cierto que el CUV ha ofrecido servicios a Volkswagen, por

---

<sup>75</sup> Organismo que agrupa a académicos que ofrecen análisis y estudios sobre el desempeño de la ciencia y la tecnología en el país, y que ha sido creado también a raíz de la ley de ciencia y tecnología en 2002.

ejemplo, pero se trata de acciones aisladas, no existe un patrón de vinculación con las grandes empresas, que se caracterice por licenciamiento de patentes, investigación colaborativa, comisionada, o de otro tipo. A pesar de todo ello, existen evidencias de múltiples formas de colaboración universidad-industria que son poco visibles para el sistema convencional de indicadores, pero que se han desarrollado consistentemente a lo largo de varias décadas. Son colaboraciones que no siempre conducen a la innovación tecnológica en estricto sentido, pero que han ido disolviendo la vieja imagen de una universidad pública reacia a colaborar con empresas. Son diversas formas de interacción que a lo largo del tiempo fueron creando un clima colaborativo, en ocasiones a pesar del poco apoyo de las instancias gubernamentales e institucionales. Tales formas de colaboración han favorecido la institucionalización de la colaboración universidad-industria al interior de la BUAP. La documentación que hemos hecho de formas muy diversas y poco reconocidas en esta universidad (Romero-Muñoz, 2008) nos ha ayudado a comprender los casos que presentamos a continuación, pues en muchos sentidos complementan el entendimiento de la transferencia tecnológica que involucra a la universidad pública.



## 3.6 Casos

### 3.6.1 Agricultura de maíz e inoculantes

#### BIOFERTIBUAP

BIOFERTIBUAP es con seguridad de los pocos ejemplos exitosos de transferencia tecnológica en el estado de Puebla, al menos hablando de los casos de tecnología desarrollada al interior de la universidad, y con una aplicación comercial que involucra a productores agrícolas, a otras empresas agrícolas en Puebla y alrededor del territorio mexicano. Se trata de una marca comercial de lo que comúnmente han denominado en México, y otras partes del mundo, biofertilizante<sup>76</sup>. En realidad se trata de bacterias “benéficas”, microorganismos inoculados que ayudan a estimular el desarrollo de cultivos. Al igual que otros, el equipo de investigación decidió dar a conocer su producto como biofertilizante en lugar de llamarlo inoculante (estrictamente más correcto) dado que, evidentemente, es más sencillo que los productores agrícolas asocien los beneficios de un producto que ayuda al crecimiento de sus cultivos al término fertilizante, que a una bacteria.

Actualmente, BIOFERTIBUAP se comercializa al interior del país sin que esté estructurado como una empresa, sino como un proyecto universitario que aún opera al interior de los laboratorios de microbiología de la BUAP. Tan sólo en 2012, el producto fue aplicado en 5 mil hectáreas que involucran a más de 2 mil agricultores de 20 estados de la república mexicana, obteniendo ganancias económicas de 400 mil pesos aproximadamente. Si bien las ganancias económicas no resultarían tan altas, el asunto importante que defiende el proyecto es la disminución del uso de fertilizantes químicos, y por ende el ahorro en el petróleo usado para producirlos<sup>77</sup>. Por otro lado, la asesoría que acompaña a la aplicación del producto permite que los productores agrícolas mejoren sus técnicas [de agricultura], y ha contribuido a abrir el paso a la agricultura orgánica en México. El proyecto aparece continuamente en los medios impresos de la universidad y la ciudad de Puebla, y es referencia como proyecto exitoso e incluso orgullo de la universidad. Ahora bien, para que la idea echara raíz y evolucionara hasta registrar su primer marca comercial en 2002, se tuvieron que superar obstáculos de todo tipo.

---

<sup>76</sup> Son 6 productos los que han registrado con marca comercial: BIOFERTIBUAP ZEA (2002), BIOFERTIBUAP SORGHUM (2002), BIOFERTIBUAP HORDEUM (2002), BIOFERTIBUAP WHEAT (2010), BIOFERTIBUAP LEG (2010), BIOFOSFOBUAP (2010). Sitio web del IMPI, diciembre 2015 <http://siga.impi.gob.mx>

<sup>77</sup> Por ejemplo: en la aplicación de BIOFERTIBUAP a 5 mil hectáreas, resultaría un ahorro de 975 toneladas de petróleo.

En un inicio fue Jesús Caballero Mellado, reconocido investigador mexicano, quien se incorpora a la BUAP en 1979 en el Instituto de Ciencias y comienza a desarrollar experimentos con Rizobio [*Rhizobium*], bacteria muy conocida entre los especialistas, asociada a plantas leguminosas. Sin embargo, el estudio de esta bacteria era amplio a nivel nacional e internacional en aquel tiempo, y el interés de Caballero se enfocó en otra bacteria asociada principalmente a plantas gramíneas (en términos de la producción agrícola mundial se estima que los cultivos más importantes son gramíneas: maíz, trigo, caña de azúcar y arroz). Comienza a estudiar entonces Azospirillum, realizando estudios de aislamiento de esta bacteria en diferentes cultivos (maíz, caña de azúcar, pastos, henequén, etc.). Es sabido que este microorganismo favorece la fijación de nitrógeno atmosférico. De 1980 a 1985, Caballero logra formar un banco de bacterias que aísla de diferentes plantas con el propósito de que en el futuro tengan alguna aplicación. Por otro lado, ya existían diferentes desarrollos tecnológicos a base de Rizobio elaborados por investigadores de la UNAM y el IPN. AMI001, principal precursor del proyecto, se convierte en estudiante de Caballero en 1984 y comienza a trabajar intensamente al igual que otros estudiantes del mismo en experimentos para aislar bacterias en trigo y maíz. Un año después comienzan a realizar aplicaciones de su primer biofertilizante para maíz en el estado de Veracruz (en el municipio de Castillo de Teayo), y al mismo tiempo en el estado de Tlaxcala (San José Teacalco). Los resultados obtenidos sorprenden a los propios investigadores y a los campesinos involucrados: fue posible duplicar la producción de maíz sin aplicar un gramo de fertilizante químico. La disminución de fertilizantes químicos ya era recomendada por la SAGARPA, sin que existieran muchas opciones para realizarlo. Ya en las primeras aplicaciones el grupo de jóvenes investigadores realizaban reuniones informales con los productores de manera regular. Con los resultados obtenidos la voz corrió entre los productores y algunas autoridades ejidales, quienes tuvieron interés en apoyar la aplicación de los productos para involucrar a más productores.

Con una demanda potencial ya verificada, en 1986 Caballero y sus estudiantes elaboran un proyecto para presentarlo a la Secretaría de Programación y Presupuesto, dirigida en tal periodo por la Lic. Ángeles Moren, personaje muy conocido de la época dentro del Partido Revolucionario Institucional. El proyecto es apoyado y representa el primer financiamiento realmente importante para BIOFERTIBUAP, permite equipar un laboratorio en el que se continúan realizando experimentaciones, y por otra parte sirve para instalar la primera planta productora de biofertilizantes en Veracruz. AMI001 y otro estudiante (principales operadores del proyecto) tenían buenas relaciones con las autoridades ejidales de

Veracruz y Tlaxcala, lo que facilitó iniciar las aplicaciones del biofertilizante en esos estados y no en Puebla. El proyecto aprobado también permitió su aplicación en esas localidades pues los fondos debían beneficiar al menos a dos instituciones; en tal caso los ejidos de Veracruz y Tlaxcala, y la BUAP. Durante los cinco años que duró el proyecto, el grupo de investigación adquirió experiencia para trabajar muy de cerca con los productores, monitoreando el funcionamiento de la planta y las aplicaciones. Se tiene entonces el primer proyecto exitoso de biofertilizantes.

Un aspecto que ayudó a generar la confianza entre los productores y el grupo de investigación fue, por un lado, el contacto constante para llevar a cabo la aplicación del producto, y por otro lado, la transparencia en el uso de los recursos financieros. Como otros fondos públicos, el proyecto apoyado por la Secretaría de Programación y Presupuesto fue sujeto a diversas auditorías, que incluían la visita de inspectores a las propias localidades involucradas. Lo que parecía imposible para algunos, comenzaba a resultar: interacción entre investigadores y productores agrícolas, sobre todo tratándose de localidades alejadas de la BUAP. De acuerdo con AMI001, en Puebla habían tocado puertas en el gobierno sin que hubiera alguna respuesta positiva. Posteriormente, en 1988 y 1989 se intentó nuevamente acercarse a las autoridades poblanas que muy lentamente comenzaron a ceder. Es importante recalcar que tanto los responsables del proyecto en Veracruz y Tlaxcala eran originarios de allí, y tenían muy buena relación con las autoridades ejidales, lo que sin duda facilitó el inicio del proyecto en tales lugares.

La expansión del proyecto se realiza de forma un tanto improvisada. En la misma época, otra investigadora separada del proyecto da a su padre una bolsita del producto, y éste invita a Caballero a dar una plática en San Agustín Tlaxco (Puebla). A partir de ello varios productores se interesan y se conforma un convenio entre la BUAP (firmado en ese entonces por el Lic. José Doger, rector) y la comunidad de San Agustín, con el propósito de aplicar a 100 hectáreas el biofertilizante para maíz. Ello abre las puertas a la interacción con los productores poblanos.

También en 1988, el Dr. Jacobo Okon de la Universidad Hebrea de Jerusalem, investigador muy reconocido internacionalmente en el campo de la microbiología, visita al grupo de investigación, y queda sorprendido de los resultados en los campos de Tlaxcala y Tlaxco. Sus apreciaciones ayudan a refrendar la confianza en el grupo para expandirse a nivel nacional, ya que le parece una maravilla y que se tratase de un producto con amplio impacto potencial para México.

En opinión de AMI001, quienes no creyeron en el proyecto fueron los propios universitarios (autoridades en su momento y otros compañeros investigadores); así como autoridades del gobierno de Puebla.

Pero el proyecto de biofertilizantes no tiene un desarrollo continuo. Después de esa primera etapa, Caballero y AMI001 salen de la BUAP respectivamente por diferencias de opinión con diversos personajes de la universidad. Caballero se incorpora a la UNAM y AMI001 al IPN, AMI001 regresa al año siguiente retomando el proyecto, e inicia un periodo de colaboración importante con investigadores del Colegio de Posgraduados, y del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Esta colaboración también permite realizar demostraciones con más productores, y participar en exposiciones agrícolas en todo el país. Se abren entonces oportunidades para trabajar en condiciones totalmente diferentes a las que habían iniciado en Veracruz y Tlaxcala, puesto que implica entrar realmente al mercado de fertilizantes a nivel nacional. Es en ese momento que los productores de fertilizantes químicos comienzan a notar la presencia del grupo BIOFERTIBUAP.

Mientras tanto, el proyecto se expande a nivel nacional en los años de 1990, abarcando localidades como Aguascalientes, Baja California Norte, Chiapas, el Estado de México, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Morelos, Nayarit, Oaxaca, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas, Tlaxcala, y Veracruz. En la misma época, los entrevistados estiman que en Puebla el 80 por ciento de los municipios (217) han utilizado los biofertilizantes de este grupo de investigación. Sin embargo, el crecimiento del proyecto no se da de una forma mansa y planeada, sino con pasos arriesgados de sus líderes. Ellos habían sido objeto incluso de amenazas serias, pero no se dejaron intimidar. La bandera utilizada por el grupo fue desde entonces el tipo de labor académica que realizan y la divulgación del conocimiento. Es decir, son estudiosos de bacterias, tienen un banco de bacterias con cepas de al menos los 30 cultivos más importantes a nivel nacional caracterizado por regiones, y denominan su trabajo como el ofrecer apoyo a los productores, más que comercializar inoculantes.

En palabras de AMI001, la adopción de la tecnología por parte de sus productores se ha logrado porque el grupo de investigación trabaja al lado del productor, literalmente “en el surco”. Es una cuestión que muy pocos investigadores están dispuestos a realizar. Este grupo de investigación se ha ganado la confianza de los productores de esta forma. Al principio, cuando se explica que el biofertilizante está elaborado en base en bacterias, no es raro escuchar que algún productor exprese preocupación por enfermarse. Ello da una idea de que trabajar con agricultores es complicado para los investigadores, no sólo porque implica la

“traducción” de sus ideas a un lenguaje común, incluso AMI001 se ha valido de alguien que traduzca del español a algún idioma mexicano en varias ocasiones. Además implica “ponerse al nivel” de los productores, en el sentido de tomar en serio sus necesidades y estar disponible la mayor parte del tiempo para asesorarlos. Ese tipo de acercamiento que realiza AMI001 y su grupo, en sus palabras, es lo que le ha proporcionado el éxito al realmente transferir su conocimiento al campo mexicano.

No es poca cosa, considerando las condiciones en lo que lo hacen. AMI001, quien realiza personalmente la mayor parte de las reuniones con productores a nivel nacional, refiere que la edad promedio de los productores en México es de 65 años, y principalmente son mujeres. En sus reuniones de AMI001, es excepcional la presencia de jóvenes productores de 20 o 30 años (quienes generalmente han heredado recientemente los terrenos). Estrictamente, la SAGARPA (SAGARPA & FAO, 2014) ha reportado con base en datos del 2008, que la edad promedio de los agricultores responsables es de 54.6 años, pero casi el 60 por ciento tienen más de 50 años. En las últimas décadas el envejecimiento en el medio rural se ha acentuado, debido principalmente a la migración nacional e internacional de la población joven en edad productiva. De manera que la mayor parte de las localidades rurales tiene presencia de niños y adultos mayores. Asimismo, tales localidades se encuentran en condiciones de marginación alta y muy alta, de acuerdo con las definiciones de la SAGARPA y la CONAPO, que considera una evaluación sobre los indicadores de educación, vivienda, ingresos, y distribución de la población. En el caso de Puebla, la edad promedio de los agricultores es de 54 años, viviendo en localidades con alta marginación (64%). Ante tales condiciones es comprensible entender por qué constantemente se sienten engañados e incrédulos a cualquier método nuevo de cultivación. En su mayoría, prefiere conservar el tipo de prácticas tradicionales de cultivo, porque además su producción no está dedicada completamente a la venta sino al autoconsumo. A pesar de ello, la explicación constante de la tecnología que provee el grupo de investigación, las pruebas constantes de su efectividad ante la presencia de los productores, el asesoramiento constante y la solución de preguntas cuando los productores comienzan a utilizar el producto, constituyen la base de la confianza eventualmente generada entre investigadores y productores agrícolas.

Durante los años de 1990, después de que Caballero y su grupo de estudiantes realizaban sus experimentaciones en un pequeño invernadero en el techo de un laboratorio, es AMI001 quien empuja la expansión del proyecto y define la interacción que quiere tener con las empresas. En 1988 reciben varias ofertas de empresarios interesados en “comprar la tecnología”; pero en palabras de AMI001 “nadie le llegó al precio”. AMI001 refiere que

tenían mucha desconfianza porque el proyecto era incipiente y debían realizar varias pruebas de efectividad todavía, aún cuando ya habían establecido experimentos en varias regiones. Incluso corroborando los resultados, la desconfianza de los empresarios persistió y la inversión que debían realizar les parecía muy alta “¿Y si no recuperamos la inversión?” replicaban. Sin embargo, han establecido acuerdos con varias empresas que actúan como un canal de distribución, en vez de ser productoras. Actualmente, ese es el esquema de trabajo que prevalece, se tienen pequeñas plantas productoras coordinadas por el grupo de investigación, y varias empresas distribuyen el producto en varios puntos del país. Prácticamente, con excepción de Baja California Sur y Quintana Roo, en todo el país han tenido distribuidores.

Aunque las regalías no son abundantes, la transparencia con la que se manejan también es un punto crucial para un proyecto de este tipo. Hablamos de un proyecto que no es común al interior de la universidad y de los pocos ejemplos en los que resultados de investigación de la universidad pública tienen aplicación en el contexto local, y que implican comercialización de tecnología. Así, varias de las aplicaciones que han realizado, han incluido el financiamiento público de los gobiernos estatales y municipales. También han participado en convenios elaborados por el Centro Universitario de Vinculación de la BUAP, involucrando análisis de suelos, plantas, agua y aplicación de biofertilizantes. Mientras tanto, los ingresos recibidos se distribuyen entre la BUAP (administración general) y el Instituto de Ciencias, ente que aplica los recursos a financiar más proyectos de investigación, compra de equipo de laboratorio y becas para estudiantes.

Actualmente, la BUAP tiene registradas ante el Instituto Mexicano de la Propiedad Industrial 183 marcas comerciales<sup>78</sup>; la primera le fue concedida en 1995. Sin embargo, BIOFERTIBUAP, es la primera marca registrada por la BUAP que involucra un desarrollo tecnológico. Ya en 1990 AMI001 tenía interés de registrar el biofertilizante que estaban produciendo como una marca comercial, había asistido a varios cursos sobre registro de patentes, pero en general no existía al interior de la universidad ningún departamento que realmente gestionara la propiedad intelectual de la institución, por ello AMI001 se acerca a la SAGARPA buscando registrar el producto no en forma privada, sino en nombre de la BUAP. En aquella época, ya existía un producto de FERTIMEX registrado ante la SAGARPA, sin embargo, es una empresa que como hemos informado se privatizó en 1992 y prácticamente desapareció en años posteriores. Propiamente la organización que otorga el registro de la

---

<sup>78</sup> Búsqueda simple en el sitio web del IMPI, diciembre 2015 <http://siga.impi.gob.mx>

marca es el IMPI (de hecho se obtiene este registro en 2002), pero lo que sucede en la SAGARPA es importante porque significa informarle a dicha dependencia la existencia del producto y de alguna forma obtener el permiso para comercializarlo, lo que a su vez sirvió para darlo a conocer a más productores agrícolas.

#### De mono-inoculantes a multi-inoculantes

El Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la BUAP, alberga a distintos grupos de investigación que trabajan estudiando bacterias. AMI003 representa a una nueva generación de jóvenes investigadores de la BUAP que tiene la visión de colaborar con el sector agrícola comercializando el conocimiento científico-tecnológico que genera. AMI003 comienza a estudiar bacterias “benéficas” en sus estudios de doctorado en la UNAM. Estudia el tipo de bacterias que favorecen el crecimiento de las plantas, y aquellas que actúan en la fase de bio-remediación de suelos. Después, en sus estudios de postdoctorado en la Estación Experimental del Zaidín<sup>79</sup> se enfoca en estudiar bacterias que realizan biorremediación. Experimentando con *Pseudomonas putida*<sup>80</sup> nota que, en realidad, en su aplicación en el campo esta bacteria no es tan efectiva (competitiva) para biorremediar, en comparación con otras formulaciones ya existentes (principalmente a base de mono-inoculantes); AMI003 y su equipo de investigación (estudiantes), determinan que existen dos características que no se han estudiado del todo: por una parte la competitividad entre bacterias, y por otra parte la presencia y la ausencia de agua. Con esa idea, comienzan a realizar experimentos con alrededor de 120 cepas de bacterias benéficas de las cuales ya se conoce su funcionamiento, de la mayoría ya se conoce el genoma completo, se sabe que no son patógenas y están “certificadas” como bio-seguras. Realizan experimentos de antagonismo para determinar qué bacterias inhiben a otras a través de las sustancias que producen. De esta forma, identifican 6 bacterias compatibles entre sí. Es decir, a pesar de producir sustancias inhibitorias (compiten entre ellas) y de que inhiben a otras bacterias, estas 6 bacterias pueden coexistir, se “respetan”. Hablamos de las bacterias: *Azospirillum brasilense* Sp7, *Burkholderia unamae* MTI 641, *Pseudomonas putida* KT2440, *Sphingomonas* sp. OF178, *Gluconoacetobacter diazotrophicus* PAI 5 y *Bradyrhizobium* sp. MS22. La compatibilidad entre dichas bacterias es

---

<sup>79</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Granada, España.

<sup>80</sup> Una variedad de *Pseudomonas putida* llamada “multi-plasmid hydrocarbon-degrading *Pseudomonas*” es el primer microorganismo patentado en el mundo. Se trata de la patente disputada ante la Suprema Corte de los Estados Unidos en el famoso caso de Diamond vs. Chakrabarty; la cual ganó Chakrabarty. La variedad de Chakrabarty demostró un metabolismo diferente, incluyendo la habilidad de degradar solventes orgánicos como el tolueno. Esta habilidad es la que se ha puesto en uso en los procesos de biorremediación, al igual que para biodegradar petróleo.

lo que más les llamó la atención, porque apoya la idea de AMI003 en cuanto que un consorcio de bacterias es mucho más efectivo como inoculante que el uso de una sola bacteria aislada. Después de comprobar la compatibilidad de estas bacterias, comienzan a estudiar dicha compatibilidad asociada a plantas específicas, comenzando con el maíz. El equipo llega a sorprenderse porque comprueba que las bacterias continúan comportándose como “amigas”, pero en conjunto pueden eliminar a algunos patógenos de forma más eficiente. Con ello, AMI003 y su grupo aseguran que su mezcla de bacterias no sólo son compatibles en la naturaleza sino que promueven mucho mejor el crecimiento de las plantas, y realizan una bio-remediación más efectiva. Un asunto que también les resultó interesante, es el hecho de que algunas de estas bacterias son más resistentes al proceso de desecación<sup>81</sup> pero también son sensibles. En experimentos realizados con sus estudiantes de posgrado han comprobado, cada vez con mayor certeza, que las bacterias más resistentes tienen la capacidad de cederles a las sensibles la capacidad de resistencia. AMI003, argumenta que aparentemente las bacterias resistentes producen un metabolito que les transfieren a las bacterias sensibles en el momento que interaccionan, creando una sinergia, de modo que las bacterias sensibles ahora se convierten en resistentes. El asunto es importante porque en la mezcla se encuentran tres bacterias que promueven el crecimiento de la planta, y tres bio-remediadoras del suelo, y para que la mezcla sea efectiva es necesaria la actuación de las seis bacterias. Pero de estas seis bacterias, cuatro de ellas son resistentes a desecación y dos son sensibles. El argumento de AMI003 y su equipo es que las dos bacterias sensibles no están muriendo en los procesos de desecación ambiental, porque están interaccionando con las otras cuatro que son resistentes.

Los experimentos de AMI003 y su equipo están dando lugar a lo que llaman inoculantes de segunda generación. A diferencia de los inoculantes tradicionales, que se basan en identificar una bacteria con propiedades benéficas y aislarla para su uso como biofertilizante, lo que proponen es hacer mezclas de bacterias de manera que sean más efectivas en los procesos biológicos que realizan, y a su vez se ayuden en procesos adversos (como el proceso de desecación). La mezcla entre bacterias no es una idea nueva, ya algunos investigadores las han propuesto, sin embargo, su combinación no ha sido tan efectiva porque su mezcla resultaba un poco hecha al “azar”; mezclando una bacteria con propiedades benéficas con otra para ver si funcionaba. La propuesta de AMI003 es original en el sentido de que han estudiado cuáles bacterias son compatibles en la naturaleza, y posteriormente las

---

<sup>81</sup> Ante ausencia de agua los microorganismos son incapaces de reproducirse pero no mueren, cuando vuelven a disponer de agua recuperan su capacidad de crecimiento y división.



han mezclado en campo, verificando como cambian sus propiedades en diferentes condiciones ambientales.

Hasta el momento, la invención de AMI003 cuenta con una solicitud de patente denominada “Formulación de un Inoculante Multiespecies para potenciar el crecimiento de plantas”. Es multi-especies porque ya ha probado su efectividad en cultivos de maíz, papa, frijol y jitomate. Aunque aún no ha llegado a comercializarse, es un proyecto que continúa ganando financiamiento de la propia universidad y fondos públicos a través del FINNOVA. Esto les ha permitido generar un producto seco que es más fácil de comercializar, en lugar de una solución líquida que deba conservarse a cierta temperatura, como es la presentación de varios biofertilizantes. Sin embargo, el equipo se encuentra en el dilema de qué hacer con la invención. Por una parte, han buscado dar en licencia la invención a alguna empresa, pero las negociaciones las habían realizado cuando sus experimentos sólo involucraban al maíz, mientras que las empresas estaban interesadas en más especies. De cualquier forma, sus negociaciones no fructificaron porque el proyecto no era lo suficientemente maduro, como para presentar con certeza la efectividad de la mezcla de bacterias en diferentes cultivos. Debe destacarse que dichas negociaciones se realizaron con empresas con las que no habían tenido ninguna interacción previa; haciendo más difícil la colaboración a través de la licencia de una patente.

Por otro lado, la colaboración que había realizado AMI003 con el sector agrícola y diferentes empresas, se había efectuado antes de que su proyecto se convirtiera en una invención. AMI003 es un investigador que se incorporó a la universidad en el 2006, desde entonces ha realizado investigación básica con financiamiento principalmente del CONACYT, de la propia universidad, y recientemente del fondo FINNOVA. El interés por incursionar en la investigación aplicada y comercializar resultados de investigación responde en parte a la forma en la que se formó en sus estudios de doctorado y postdoctorado, sin embargo, ha sido un proceso que va encontrando su rumbo. Ya en las experimentaciones que llevaron a AMI003 y su grupo a desarrollar el inoculante multi-especies, encontró la oportunidad de aplicar sus bacterias con agricultores de Guerrero, Tlaxcala e Hidalgo. Ello, después de haber asistido a dar conferencias sobre su trabajo en foros sobre agricultura que han sido abiertos a agricultores. Aunque pareciera un aspecto sin importancia, no es común que en los foros sobre agricultura a los que acuden los investigadores de las universidades también sean invitados los agricultores de la región, y empresas relacionadas con la agricultura. Se habla de extensiones de terreno considerables (hasta 400 hectáreas). Esta experiencia ayudó a comprobar la demanda potencial del producto, ya que algunas

asociaciones de productores le solicitaban al grupo de AMI003 dosis de su producto que les era imposible de proveer. Por ejemplo, mientras alguien le llegaba a solicitar 10 mil dosis, solo habían alcanzado a otorgar 400. El que surja una empresa de este proyecto resulta casi obvio, pero el equipo aún pretende realizar más experimentaciones antes de conformar una empresa.

La posibilidad de dar en licencia la invención continúa siendo una opción, pero implica cambiar la perspectiva de las empresas que se dedican a desarrollar inoculantes. Por ejemplo, empresas como BIOFABRICA (<http://www.biofabrica.com.mx/>), BIOSUSTENTA (<http://cosustenta.com/bio/>) o AGROENZIMAS (<http://www.agroenzimas.com.mx/mex/esp/>) son organizaciones cercanas a la BUAP, y desarrollan productos compatibles con la tecnología de AMI003. Sin embargo, trabajan con base en mono-inoculantes. En el caso de la primera, el propio Jesús Caballero Mellado participó asesorando a los fundadores en el establecimiento de la empresa. Caballero trabajando en el Centro de Investigación sobre fijación de Nitrógeno (ahora Centro de Ciencias Genómicas) de la UNAM, colaboró con los fundadores de BIOFABRICA para desarrollar biofertilizantes con base a *Rhizobium etli*. La segunda tiene convenios con diferentes universidades, incluyendo a la BUAP, para desarrollar actividades de investigación y desarrollo. Mientras que la tercera, no sólo actúa en México sino en varios países de Latinoamérica, y es la que más productos desarrolla con base en biotecnología (desde 1990). Son empresas de este tipo las más susceptibles de adoptar la tecnología de AMI003, pero depende de la “garantía del producto” que AMI003 y su equipo puedan demostrar.

### **3.6.2 Agricultura de maíz y fitomejoramiento (genómica)**

*"El invento del maíz por los mexicanos,  
sólo es comparable con el invento del fuego por el hombre"*

Estas palabras de Octavio Paz, entre otras como “sin maíz no hay país”, son las principales líneas que se escuchan de los grupos activistas que se oponen a la siembra y comercialización masiva de maíz transgénico en México. En esta década nos encontramos en un momento histórico en el país porque a pesar de las protestas de grupos como éstos, existen indicadores que señalan que dicha comercialización es inminente y prácticamente inevitable. En primer lugar, la ley de bioseguridad de organismos genéticamente modificados entró en vigor en 2005, dando legitimidad a la política nacional en materia de bioseguridad de los OGMs

y los instrumentos para su aplicación; en segundo lugar, como hemos visto en el capítulo anterior, las solicitudes de variedades vegetales en México ha alcanzado sus máximos históricos; en tercer lugar, la inversión para la investigación ha crecido tanto en el sector público como en el privado. Por ejemplo, en febrero de 2013, Carlos Slim y Bill Gates habían destinado 25 millones de dólares para la ampliación y construcción de laboratorios e invernaderos del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Mientras que en las universidades y centros públicos de investigación existen algunos grupos de investigación que también trabajan a nivel micro en el fitomejoramiento del maíz.

Por un lado, en los medios de comunicación nacionales se puede identificar claramente un debate que cuestiona la tecnología de las empresas transnacionales aplicadas al campo mexicano (principalmente aquellas de Monsanto), a través de mensajes que aluden a la soberanía alimentaria (independencia de los productores) y la “contaminación” de los maíces nativos en los cultivos mexicanos, así como la conservación de la biodiversidad genética que existe en el territorio nacional. Es en México donde se estima, con base en estudios arqueológicos, que la domesticación del Teocintle (planta existente en la naturaleza) hace unos 7,000 años a. C. dio origen al maíz. Por lo que el territorio mexicano es el principal centro de biodiversidad genética de este grano en el mundo, de ahí que el maíz sea el principal cultivo sembrado en México en la historia. Por otro lado el maíz, precisamente siendo una invención, ha sufrido las modificaciones de la propia agricultura moderna y ahora se encuentra en dos grandes vías, no necesariamente antagónicas: el mejoramiento convencional (mejoramiento de maíces nativos), y el mejoramiento genético (materiales híbridos). Tanto una como la otra forman parte de una línea delgada entre las formas de mejoramiento genético, que han sido parte de la tecnología agronómica en México desde al menos la presencia del CIMMYT (fundado durante 1940s y 1950s), la Universidad Autónoma de Chapingo (inicialmente Escuela Nacional de Agricultura establecida en 1854), el COLPOS (fundado en 1959 como ente adjunto de la Universidad Autónoma de Chapingo y separado de ésta en 1976, y desde el 2001 reconocido como centro público de investigación de la SAGARPA), y el INIFAP (creado en 1985 como centro público de investigación incorporado a la SAGARPA; antes el entonces Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas desde 1950s realizaba investigación para generar semillas mejoradas). En términos de fitomejoramiento y creación de variedades vegetales, éstas son las principales organizaciones de donde han surgido las investigaciones; aparte se encuentran las actividades de índole agropecuaria en las principales universidades de México, la UNAM y el IPN. Sin embargo, poco se ha documentado sobre las formas en las que se han producido semillas mejoradas y

cómo se han incorporado al campo mexicano de forma masiva. Ciertamente es que debe tenerse en cuenta la existencia de la Productora Nacional de Semillas, creada en 1961 como organismo descentralizado -según el comunicado del DOF-, pero que fue extinta mediante comunicados similares en 2002; y no se encuentran documentados sus logros en artículos públicos. Por otra parte, los datos sobre las solicitudes de títulos de variedades vegetales permiten observar dónde se concentran los personajes que las desarrollan, mas no cómo las comercializan. Asimismo, cabe afirmar que la legislación sobre el uso de organismos genéticamente modificados en México, legitima tendencias precedentes en el sentido de que la modificación genética del maíz y otras variedades vegetales es un fenómeno que vivimos (y comemos) los mexicanos sin ser conscientes de ello.

En el Estado de Puebla no hay muchos grupos que se dediquen al fitomejoramiento del maíz. En general, las solicitudes de títulos de variedades vegetales se concentran en dos grandes áreas del territorio nacional: el centro del país, que corresponde al área metropolitana (el Estado de México y el Distrito Federal), y el Estado de Jalisco al oeste de la nación. Asimismo, la mayor parte de las solicitudes han sido elaboradas por parte de empresas extranjeras, y por la principal institución de investigación agrícola (INIFAP). A pesar de ello, existen equipos de investigación en Puebla que colaboran con estos grupos. En el Colegio de Posgraduados del campus Puebla se encuentra uno de ellos.

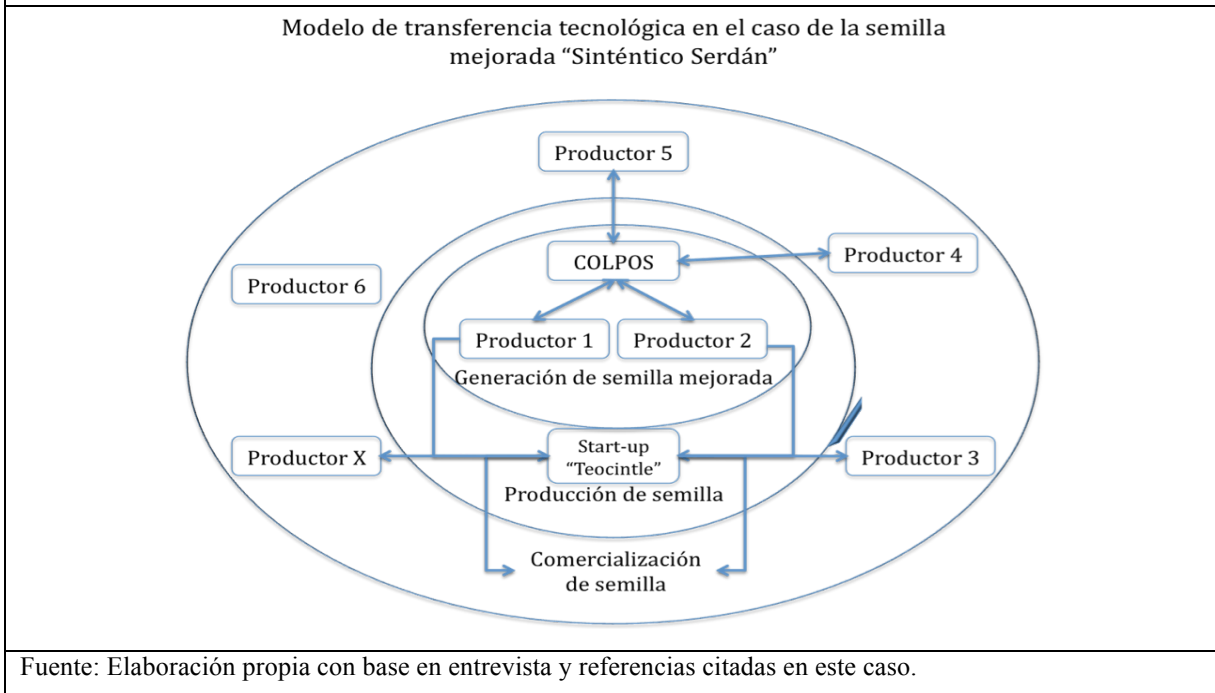
Los casos anteriores que hemos presentado corresponden a investigadores que trabajan con el uso de bacterias naturales, y aunque en el caso de AMI003 han desarrollado también invenciones que implican modificaciones genéticas, los desarrollos tecnológicos que han impulsado durante su carrera están más orientados a la línea de los productos libres de organismos genéticamente modificados (internacionalmente conocidos como GMO-free). Aquí, presentamos el caso de AMF001, investigador formado como ingeniero agrónomo en Chapingo, que realizó estudios de maestría en el propio colegio de posgraduados y realizó estudios de doctorado en la Universidad Estatal de Iowa en los Estados Unidos. AMF001 es líder de un grupo de investigación que se ha dedicado, desde al menos los últimos veinte años, al mejoramiento de maíces nativos (como él mismo lo define). En estos años el trabajo principal de AMF001 se ha enfocado en la investigación básica y la docencia, interactuando con productores agrícolas simplemente para ocupar sus terrenos en sus estudios de evaluación y experimentación. Sin embargo, esta simple interacción ha dado lugar a una experiencia de transferencia tecnológica que puede resultar el “modelo ideal” para la mayor parte de las instituciones de investigación públicas, incluida la universidad autónoma de Puebla. El mismo AMF001 reconoce que para que sean aplicados sus maíces (materiales), resultado de sus

investigaciones, en la agricultura local es necesario encontrar modelos como el que nos describe.

En 1998, legalmente se constituyó lo que puede denominarse una *start-up* realmente a la mexicana: la productora de maíz “Teocintle”. Se trata de una micro-empresa conformada entre productores agrícolas que habían participado años antes con el grupo de investigación de AMF001 en el mejoramiento de una variedad de maíz. La empresa funcionó entre 1998 y 2004, produciendo y comercializando la semilla mejorada “Sintético Serdán”, semilla de una variedad de maíz generada por el grupo de investigación de AMF001 (dentro de lo que denominan su Programa de Mejoramiento Genético y Producción de Semillas del COLPOS). Esta experiencia tiene como origen un proyecto de investigación cuyo propósito fue aprovechar las propiedades de maíces nativos. De por sí, varios grupos de investigación del COLPOS, han trabajado en las distintas zonas agrícolas de Puebla, sin embargo, la principal área de producción en el estado es el Valle de Serdán. El grupo de AMF001 insistía en la conveniencia de aprovechar dichas propiedades, por lo que promovió la colecta de maíces contactando a varios agricultores de la región. En un trabajo que puede denominarse de evaluación de muestras, seleccionan más de cincuenta tipos de maíz; posteriormente siembran, en coordinación con los productores, las muestras más sobresalientes. Los campesinos, presentes desde las primeras evaluaciones comprueban los resultados. El material les gusta, aumenta su producción y tiene “buen porte”. El uso de la semilla en la región resulta excepcional, pues es adaptada a las condiciones específicas del terreno. El grupo de productores e investigadores la identifican como una variedad de polinización libre, con atributos en: uniformidad, capacidad de rendimiento, resistencia a sequía y precocidad. De manera que de ellos surge quien cuestiona a los investigadores sobre la posibilidad de que sean ellos mismos quienes produzcan la semilla. Un investigador fuera del grupo, dedicado mayormente a actividades de divulgación científica, es quien interviene y organiza al grupo de productores para crear una micro-empresa, constituyéndose legalmente en una organización con la siguiente figura legal: Sociedad de Producción Rural de Responsabilidad Ilimitada (Hernández et al, 2004). Son 18 socios, en promedio con 50 años de edad, los que conforman la empresa, contando en ese entonces con aproximadamente 11.5 ha. de terreno cultivable cada uno.

La figura 60 resume tres etapas en el proceso de transferencia tecnológica: la generación de la semilla, la producción de la misma y su comercialización.

Figura 60. Modelo de transferencia tecnológica de la semilla mejorada “Sintético Serdán”.



El primer círculo corresponde al involucramiento de los productores en el proyecto de investigación del cuál provino la semilla mejorada. Es importante en el proceso porque crea un ambiente de aprendizaje colectivo, entre los investigadores y los productores, crea la confianza para colaborar y hace evidente a los ojos de los campesinos los resultados del proyecto de investigación. Esto creó la base para las fases sucesivas.

En el segundo círculo, que corresponde a la producción, es importante recalcar que es una persona del COLPOS, mayormente dedicada a labores de divulgación científica, quien tiene más herramientas para organizar al grupo de productores en la conformación de la empresa (se repite la divulgación como driver indiscutible). Asimismo, Hernández et al (2004), en la evaluación que hacen de esta experiencia de transferencia tecnológica, refieren que la adopción de los conocimientos aportados por los investigadores son claves en la producción de la semilla, y así lograr una cosecha de material de alta calidad física, genética, fisiológica y sanitaria. Durante la siembra, en lo que denominan la Tecnología de Campo, refieren que los campesinos lograron adoptar las recomendaciones relacionadas con la selección de terreno, siembra, fertilización y la cosecha. Sin embargo, en la Tecnología de manejo postcosecha, aunque refieren que los campesinos declaraban conocer todas las recomendaciones relacionadas con la selección, secado y limpieza, beneficio, envasado y almacenamiento, la aplicación propiamente de las recomendaciones no fue efectuada por la mayoría. Sobre todo en lo que se refiere al secado y limpieza, así como en el almacenamiento.

De acuerdo con Hernández et al (2004), una actividad crítica en la producción de semillas es el aislamiento de lo cosechado para prevenir la contaminación genética del material. Todas estas actividades, que realmente eran las nuevas para los campesinos, son las que representaron su mayor problemática. A pesar de ello, los lotes de producción fueron inscritos ante el SNICS e inspeccionados por representantes del mismo, tanto en el campo como en los laboratorios del COLPOS, aún con los problemas la evaluación fue satisfactoria y se permitió la comercialización (denominada como semilla certificada).

En el tercer círculo, que se refiere a la comercialización, es importante recalcar las dimensiones de su producción y venta. Tan sólo en los tres primeros años de producción se tuvo: 35t en 1998, 100t en 1999 y 40t en el 2000. Con ganancias superiores a los 10,130.25 pesos (costo total promedio por hectárea). La estimación realmente importante resulta del precio de venta por kilogramo, mientras que en la estimación sobre la rentabilidad financiera de Hernández et al (2004) el precio debió ser de 5.01 pesos, el precio real fue de 16.00, aportando una ganancia neta de 10.99 pesos. Con estas ganancias también surgieron los problemas de distribución entre los miembros de la pequeña compañía, que llevó a su eventual desarticulación. Sin embargo, al final, uno de los problemas principales que identifican Hernández et al (2004), es que el mayor problema de la empresa tuvo que ver con el proceso de distribución y venta. En estos aspectos los productores necesitaban mayor conocimiento o capacitación. Finalmente nadie aportó soluciones idóneas para seguir adelante.

Es importante recapitular los *drivers* y problemas que aportó esta experiencia en los procesos de transferencia tecnológica.

*Drivers:*

- Desde el inicio, en el grupo de involucrados existió una ubicación óptima de cada uno en la “cadena de producción”. Los investigadores no pretendieron comercializar, pero sí “compartir” sus conocimientos tanto para generar la semilla, como para cosechar. Sin embargo, resulta lógico que la distribución y venta fueran los aspectos con mayor debilidad, ninguno de los involucrados logró desarrollar estrategias mayores a las convencionales e intuitivas que ya poseían los campesinos.
- Se repite con insistencia la divulgación científica como driver de la transferencia tecnológica. En este caso, por la actuación del investigador que organiza a los productores para conformar la empresa. De igual forma, en la primera etapa, los estudios previos, el tiempo dedicado por los investigadores para seleccionar las

muestras, con la participación de los productores, así como el establecimiento de lotes demostrativos resultaron en la base de la confianza entre investigadores y productores.

- El hecho de que la semilla mejorada proviniera de las poblaciones de maíces que los productores ya cosechaban años atrás, también representó un elemento determinante.

Problemas:

- Una problemática percibida por los investigadores (referida también por los de la BUAP) es la dificultad para encontrar campesinos interesados en la agricultura. Es decir, no necesariamente quien se dedica a estas actividades lo hace convencido de su “función social”, ni es su actividad principal. Así, hay quien lo tiene porque ha heredado la tierra o su producción es de autoconsumo. En esta experiencia, los agricultores que conformaron la empresa tenían un interés genuino en su trabajo.
- Finalmente, es importante enfatizar que los investigadores refieren que los aspectos técnicos tanto en la generación de la semilla, la producción y el manejo postcosecha son los que representan menor problemática (es decir: la tecnología). Más bien, la integración del grupo cuando existen diferencias por la distribución de las ganancias es crucial para mantener el proceso funcionando.

AMF001 y su grupo de investigación han continuado en el trabajo de investigación enfocándose en el fitomejoramiento de maíces criollos o nativos. Él mismo refiere que la diversidad genética que existe en Puebla, y en general en todo México, es excepcional y no ha sido suficientemente estudiada. El acervo existente provee la oportunidad de que muchas generaciones de investigadores continúen caracterizando el maíz y puedan incursionar en su mejora. En proyectos como los que le han sido financiados con Fondos Mixtos, han estudiado zonas como la de Teziutlán que nadie antes había estudiado. Los terrenos de Puebla no son tan atractivos para las empresas transnacionales porque la agricultura depende del temporal en un 75%; y presenta mucha tendencia a sequía. De ahí que las semillas que desarrollan, como la “Sintético Serdán” sean cruciales para mejorar la calidad de la producción agrícola.

En tanto, la adopción de dichas tecnologías por parte de los campesinos y su aceptación por el público en general, presenta dos fases aún incompatibles. Por un lado, esta experiencia da cuenta de que existen campesinos que han entendido de qué hablan los investigadores cuando se trata de fitomejoramiento. Pero por otro, hablar abiertamente de comercialización de maíz mejorado genéticamente aún permite ver argumentos positivos y negativos, según quién produce la tecnología. Es decir, investigadores como los de COLPOS defienden la idea de que el tipo de mejoramiento que realizan es positivo porque toman como base los maíces nativos; aún cuando estrictamente hablando se trata de plantas que también



han sido modificadas y no son producto de la naturaleza, sin embargo, las cruza o selecciones que realizan las hacen dentro de la misma especie. Diferente a la segunda línea de trabajo, que implica un componente fuerte de ingeniería genética incorporando genes entre diferentes especies. Lo cierto es que en estas dos grandes líneas de mejoramiento genético, no existe quién explique en términos sencillos el trabajo que realizan. Pues el mismo AMF001 refiere que las técnicas utilizadas por quienes desarrollan maíz transgénico también utiliza técnicas convencionales de selección.

Ante todo ello, estamos ante un caso interesante que pudiera titularse: la tecnología es de quien la trabaja (aludiendo al dicho mexicano “la tierra es de quien la trabaja”). En este caso que vivimos en México, podemos apreciar la lucha entre productores de tecnología. Por un lado los centros públicos de investigación que tienen menos financiamiento y equipo, y por ello no tienen las capacidades de incursionar en el tipo de mejoramiento que realizan empresas transnacionales como Monsanto (AMF001 no descarta que con mayor financiamiento y equipo él mismo incursione en el campo del mejoramiento genético, a través de la ingeniería genética produciendo materiales híbridos); y por otro lado, las empresas transnacionales que cuentan con mayores recursos económicos. y comercializan sus productos en el territorio nacional.

Mientras tanto, en la opinión pública los mensajes negativos adquieren más peso en el freno a la incorporación de la tecnología sobre los transgénicos, desarrollada por las multinacionales. Es importante señalar que además de los mensajes que se pueden percibir en los medios de comunicación, en algunos estados se discute la aprobación de elementos legales para prohibir la comercialización de maíces transgénicos. En Tlaxcala -por ejemplo- el Congreso del Estado aprobó en 2011 la Ley Agrícola de Fomento y Protección al Maíz como Patrimonio Originario, en Diversificación Constante y Alimentario, que establece la prohibición para sembrar y hacer experimentos con semillas transgénicas en el estado.

Una tarea de investigación relevante será sin duda, monitorear los mensajes a favor y en contra de los maíces mejorados. Pero más importante aún, será monitorear más experiencias de mejoramiento genético en los centros públicos de investigación, que no logran transferir su tecnología al campo mexicano; y aunque defiendan que sus líneas de investigación representan una mejor opción para resolver las problemáticas nacionales, en los hechos, la tecnología que les está ganando la partida es la de las transnacionales.

Figura 61. Incorporación de maíz mejorado al mercado		
Personajes	Mensajes a favor	Mensajes en contra
Investigadores COLPOS	El fitomejoramiento es diverso al mejoramiento genético a base de biotecnología; se basa en maíces nativos.	El mejoramiento genético de las empresas transnacionales se basa en ingeniería genética y realiza combinaciones genéticas de diversas especies.
	Las investigaciones que realizamos tienen como base la conservación de poblaciones locales de maíz.	
Empresas tipo Monsanto		El mejoramiento convencional es obsoleto.
Medios de comunicación (activistas)		El maíz transgénico contaminará los productos naturales y disminuirá la biodiversidad genética del maíz a nivel nacional.
		Representará un daño irremediable para el ecosistema mexicano.
Fuente: Elaboración propia con base en entrevista y fuentes citadas en este caso.		

### 3.6.3 Restauración y manejo de suelos

La incorporación de una tecnología nueva implica obstáculos y desafíos constantes, además de la lucha con las tecnologías o soluciones ya existentes, instaladas y funcionando; así como la propia adopción de los involucrados (investigadores, técnicos, empresarios, etc.). En el sector agroalimentario, tal vez no exista mayor reto para incorporar tecnología que el uso de biosólidos.

Como se explica en el caso homónimo en la sección dedicada a Bolonia, más que cualquier otra cosa se trata de un problema ambiental, la disposición de aguas residuales debe tener un fin; cualquier tipo de tratamiento es necesario y aquí existe un campo amplio de investigación y responsabilidad social tanto para investigadores, empresarios y gobierno.

En el caso de Puebla, la instalación de plantas de tratamiento de agua residual se dio recientemente. En 2002 se incorporaron plantas tratadoras de agua por parte del Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP), organismo

gubernamental. Durante este periodo estableció contacto con investigadores de la BUAP para que hicieran estudios de disposición agrícola de biosólidos. RMS001, investigador del Departamento de Investigación en Ciencias Agrícolas, nos narra que al inicio del proyecto se tuvieron que conjuntar las dos necesidades: encontrar una disposición final de los biosólidos y nutrir suelos degradados.

Como tal, los biosólidos son el resultado del tratamiento de aguas residuales, el fango de la ciudad. Se trata de residuos orgánicos (en forma de lodo) procesados en las plantas tratadoras de agua, que son ricos en nutrientes para el suelo. Hasta el momento, el problema de su disposición incluye el uso en rellenos sanitarios, la incineración, y su aplicación en terrenos agrícolas y forestales, además de que se investiga como fuente de energía en procesos de producción de electricidad y biogas.

En Puebla, con las cinco plantas tratadoras de agua que se han instalado, se calcula que son producidas 40 toneladas de biosólidos al día. RMS001 narra que por más de diez años él y su grupo de investigación trabajaron con el SOAPAP, llevando a cabo servicios para evaluar biosólidos e incorporarlos en terrenos agrícolas, prácticamente en todo el territorio poblano. Como tal, el trabajo no tiene un componente fuerte de innovación tecnológica, en el sentido de que hayan incorporado tecnologías no conocidas en el sector científico; pero implica un componente fuerte de colaboración entre investigadores y una empresa gubernamental (el SOAPAP).

Los servicios prestados por los investigadores incluían la caracterización física, química y biológica de los biosólidos, así como el análisis de suelos de la región poblana, tanto los agrícolas como los forestales; de tal forma que en su evaluación identificaban las zonas con suelos que tenían mayor degradación, para incorporar los biosólidos. Los métodos para incorporar los biosólidos a los terrenos agrícolas corresponden a los métodos de composta, ampliamente conocidos, tecnológicamente no se trata de conocimiento nuevo. Sin embargo, el simple hecho de utilizar los biosólidos en terrenos por primera vez en el Estado de Puebla, se enfrentó a las problemáticas se describen a continuación.

En primer término, se enfrentó con la problemática implícita del material: el mayor problema que existe para incorporar biosólidos en suelos agrícolas es la alta cantidad de metales, organismos patógenos y parásitos que contienen. La regulación sobre el uso de biosólidos en México se publicó en 2003 (DOF); casi al mismo tiempo que los investigadores del DICA y el SOAPAP comenzaron a trabajar, esta publicación ayudó a orientar y legitimar las prácticas del equipo de trabajo. En el sentido de que establece los niveles “aceptables” de metales pesados en el material (lodo y biosólidos), el tiempo de disposición, los límites

máximos permisibles de patógenos y parásitos. Asimismo, establece una clasificación para su uso dependiendo de los niveles de contaminantes que contiene, de manera que se puedan identificar (los biosólidos) en excelentes o simplemente buenos, y se usen en suelos agrícolas y forestales sin peligro. De esta forma, el trabajo principal de los investigadores (al igual que en el caso de Bolonia), correspondía principalmente en la evaluación de los lodos y biosólidos, analizando los niveles de contaminantes y clasificándolos para su uso agrícola principalmente.

Un aspecto importante con el que debieron luchar fue la aceptación del uso de los biosólidos. En primer lugar, la incorporación de plantas tratadoras de agua residual fue una acción nueva del gobierno municipal de Puebla. En su momento, existió una especie de campaña negativa contra el uso de biosólidos en los medios de comunicación, proveniente de los opositores partidarios del gobierno municipal, argumentando que se estaba haciendo mal uso de los residuos fangosos de la ciudad llevándolos a los campos agrícolas sin control y sin cuidado. Esto generaba desconfianza principalmente en los agricultores para permitir que se incorporaran biosólidos en sus parcelas. El trabajo de los investigadores del DICA fue importante aquí, por el tipo de demostraciones de campo que realizaban a los agricultores, para evidenciar que no existían niveles altos de metales, ni peligro de enfermedades por patógenos y parásitos. RMS001 describe que las demostraciones incluían la degustación de los cultivos de maíz, calabaza frijol, entre otros, después de la aplicación adecuada de los biosólidos. De acuerdo con RMS001, la calidad de los suelos y cultivos mejoró significativamente, de manera que comenzaron a tener una demanda enorme de los productores para la aplicación de biosólidos; como ocurrió con la opción del uso de biofertilizantes, el ahorro en fertilizante químico es importante, el incremento de la producción, y por tanto los ingresos. Es sabido que en otros estados de la república existen empresas ligadas a organismos como el SOAPAP, que hacen composta del material (lodo) y lo venden como abono orgánico; aquí se vislumbraba sólo como una posibilidad. En este caso, el costo de la aplicación de los biosólidos era cubierto por el SOAPAP, por lo que al campesino se le otorgaba sin un costo adicional; después de ver los resultados exitosos, no se descartaba la idea de crear una empresa que generara plusvalía de los biosólidos, pero no dieron más pasos en esa dirección.

También existían problemas de tipo operativo en el transporte del material. Éste se realiza por contenedores especiales, los camiones utilizados en ese entonces sólo podían hacer la distribución del material en la época en la que no existen lluvias, debido a que los caminos para llegar a los campos de disposición final del material, se deterioran en tiempos de lluvia

(hablamos de comunidades pobres alejadas de la zona metropolitana de la ciudad); así que existía una acumulación importante de biosólidos en las plantas tratadoras de agua.

Muchos son los estudios relacionados con los efectos de los biosólidos en los campos agrícolas, aunque no es evidente que su uso signifique una ventaja productiva. El mismo grupo de RMS001 ha publicado estudios sobre los efectos de biosólidos en cultivos de lechuga (Tamariz-Flores et al, 2013) concluyendo que a mayor dosis de biosólidos se mejoran las características físico-químicas del suelo, pero ello no favorece el rendimiento de los cultivos. En sus propias palabras, la aplicación de biosólidos no tiene efecto en la calidad de la planta, pero a su vez tampoco causa problemas ambientales.

Consecuentemente, estas conclusiones no apoyarían la idea de impulsar la comercialización de biosólidos, sin embargo, sí representan una opción para su disposición final por arriba de las opciones de incineración y la generación de energía que aún se ve limitada.

Por otra parte, es interesante ver que también existen publicaciones de investigadores del COLPOS sobre la aplicación de biosólidos en la agricultura de Puebla, que hacen cuestionamientos más serios (González-Flores et al, 2013). Por una parte, argumentan que los agricultores beneficiados son aquellos que poseen una superficie de cultivo mayor a dos hectáreas, pues son los que pueden aplicar más cantidad de biosólidos; pero aún así el beneficio es mínimo porque el aumento en el rendimiento de la parcela no es significativo. Por otra parte, señalan que la percepción de los agricultores no ha cambiado, pues declaran en sus propias palabras que un aspecto que influye determinantemente para que los rendimientos no sean mejores es el manejo inadecuado, ineficiente e prácticamente improvisado de los biosólidos (refiriéndose al trabajo de los propios productores agrícolas y el SOAPAP).

Así, nos encontramos ante un asunto para nada menor y que debe tener un amplio interés público. El reto para los investigadores sigue siendo encontrar técnicas para reducir los contaminantes en biosólidos, y existen fuertes líneas de investigación sobre este tema a nivel internacional. Localmente, el sistema operador de agua potable cambió en Puebla, y los trabajos del SOAPAP y los investigadores del DICA terminaron con esta primera experiencia de aplicación de biosólidos; dejando a su vez una línea de investigación que nació con la prestación de servicios de análisis de fangos. La nueva administración gubernamental ha concesionado la mayor parte del servicio de agua potable y manejo del alcantarillado a una empresa privada, pero ésta no ha involucrado al grupo de RMS001. Así, las plantas de agua tratadora continúan trabajando, y será imprescindible monitorear la aplicación de los biosólidos en Puebla, pues representa el segundo residuo urbano en cantidad a nivel nacional.

### 3.6.4 Conservación y estabilización de alimentos

En este apartado describimos casos que involucran a la mayor parte de investigadores especializados en biotecnología en Puebla. Tal como si las aplicaciones principales de la biotecnología estuvieran enfocadas en la conservación y procesamiento de alimentos, al menos, por el número de investigadores empeñados en dichas líneas de investigación.

Ésta es un área de interés para varias universidades en Puebla. En primer término identificamos cuatro equipos de investigadores de la Universidad Autónoma de Puebla (CEA001 y CEA002, CEA003 y CEA004). Así como una investigadora de la Universidad Autónoma del Estado de Puebla –UPAEP (CEA005).

En la Universidad Autónoma de Puebla, los grupos de trabajo dedicados a estas líneas de investigación se encuentran en distintos departamentos. Mientras CEA001 y CEA002 conforman un grupo de trabajo realmente cohesionado en la Facultad de Ingeniería Química (las hermanas han estudiado la misma licenciatura, maestría y doctorado, comparten el mismo laboratorio, y publican juntas); existe un investigador más, CEA003, que aunque labora en la misma facultad colabora con otros investigadores. CEA004 se encuentra en el Centro de Química del Instituto de Ciencias.

Es importante destacar que una gran cantidad de estos investigadores han tenido relación con investigadores de la UDLA; esta universidad ofrece maestría y doctorado en Ciencia de los Alimentos. CEA001 y CEA002 realizaron estudios de maestría allí. CEA003, realizó la misma maestría y también el doctorado. Mientras CEA004 cursó el de igual forma tal doctorado.

De alguna forma se pueden ver distintas áreas de especialización dentro de la propia biotecnología en universidades públicas y privadas. Mientras en la UDLA, la universidad privada principal de Puebla (por recursos económicos y labores de investigación), se han especializado más en la ciencia de alimentos; en el COLPOS, instituto público, se han especializado más en agronomía<sup>82</sup>. En la BUAP, mientras tanto, se encuentran equipos de investigación trabajando prácticamente en todas las subáreas de la biotecnología, excepto la genómica. En la UPAEP, las líneas de investigación de CEA005 y de otros grupos principalmente incluyen la conservación de alimentos y estudio de hongos. Aunque también abarcan el área ambiental (agua y biorremediación de suelos).

---

<sup>82</sup> CEA005 y varios de los investigadores de la BUAP han estudiado maestría o doctorado en COLPOS.

Así, las formas de colaboración universidad-empresa de estos equipos de investigación son variadas, e incluyen en menor medida procesos de innovación tecnológica. En el sentido de que sean procesos realmente de innovación disruptiva. Sin embargo, la mayor parte de estos investigadores (al igual que en el caso de Bolonia) tienen como factor común una gran cantidad de actividades de consultoría, proyectos de investigación y desarrollo financiados, ya sea exclusivamente por empresas o con fondos compartidos (públicos y privados). Al parecer, el área de conservación y estabilización de alimentos dentro del sector agro-alimentario y la biotecnología, en los dos casos Puebla y Bolonia, es el que más colaboración universidad-empresa ha tenido.

### CEA001 y CEA002

CEA001 y CEA002 son dos investigadoras que laboran en la Facultad de Ingeniería Química. Han estudiado ingeniería química en la BUAP, maestría en ciencias de alimentos en la UDLA, y doctorado en ciencias de alimentos en el IPN. Adicionalmente CEA002 ha estudiado otra maestría en ingeniería química en la BUAP. En general, su línea de investigación principal ha sido la deshidratación de alimentos, su caracterización física y microscópica, así como el desarrollo de modelos matemáticos para predecir los tiempos de secado de varios alimentos. Los principales desarrollos tecnológicos que han producido tienen que ver con equipos de deshidratación de alimentos. El primer equipo que construyeron lo realizaron mientras estudiaban el doctorado. Al momento, han solicitado las patentes: Secador por Fluidización para Granos y Semillas, Secador Convectivo Multifuncional, etc. Esta línea de trabajo les permitió iniciar una serie de formas de colaboración intensa con el sector productivo en Puebla. Por un lado realizando servicios de consultoría y análisis de alimentos, con base en la utilización de los equipos de deshidratación que han elaborado.

Durante el periodo de 2004-2007 establecieron, con financiamiento de la SAGARPA, varios proyectos de investigación y desarrollo con productores de nopal, tuna y papaya; así como con pequeñas y medianas empresas, como la agro-industrializadora de tuna y nopal. Adicionalmente han colaborado con productores de café y mole poblano, entre otros. Siempre con financiamiento público a través de proyectos financiados con fondos mixtos, y la fundación PRODUCE. Otro proyecto relevante fue la caracterización de plantas endémicas (que sólo se generan o producen en una región específica en el mundo), construyendo un campo etno-florístico del Estado de Puebla. Es importante mencionarlo porque, a partir de este proyecto, desarrollaron la capacidad para producir a baja escala medicamentos, cápsulas

y ungüentos, identificando beneficios potenciales para la salud. Además de éstos, principalmente han obtenido pigmentos (naturales) y tipos de alimentos funcionales.

Por otra parte, han desarrollado un servicio específico para el análisis de alimentos y la determinación de la etiqueta nutrimental de productos y análisis de empaques; con lo cual generan pequeños recursos económicos emanados de pequeñas y medianas empresas.

CEA001 y CEA002, refieren varios problemas y *drivers* para establecer estas formas de colaboración con el sector productivo. En primer lugar, el financiamiento con el que cuentan para desarrollar investigación es más limitado que para los investigadores que se encuentran en un instituto de investigación. Ellas se encuentran en una facultad que tiene mucha más responsabilidad en labores de docencia, por lo que también el tiempo que deben dedicar a ella es mucho mayor. Por otra parte, se han relacionado con pequeños y medianos empresarios que tienen preferencia por invertir en negocios tradicionales y no en innovación. Con quienes han desarrollado más proyectos de investigación y desarrollo son con los que saben obtener fondos públicos, por ejemplo, la agro-industrializadora de tuna y nopal. Mencionan que este tipo de empresarios son quienes tienen una mayor visión empresarial, y han desarrollado la capacidad de aprovechar los fondos públicos ligados a las universidades. Por el resto, muchos de los agro-productores y pequeños empresarios, refieren ellas, quieren todo gratis. Lo que ha provocado que se frenen en el ofrecer proyectos de investigación más ambiciosos.

Sin embargo, hay dos problemas primordiales en la colaboración universidad-sector productivo que CEA001 y CEA002 enfatizan, y que tienen que ver con el desarrollo de la confianza: el profesionalismo de los docentes y el dilema de la divulgación del *know-how*. Por una parte, ellas refieren que notan una preferencia de los empresarios para colaborar con la UDLA y no con la BUAP. Son a ellos a los que acuden primero para solicitar servicios de consultoría y análisis de alimentos. En la percepción de CEA001 y CEA002, esto se debe a que los de la BUAP les falta profesionalismo en cosas aparentemente simples. Se llega tarde cuando existe una reunión, no se llega preparado con una carpeta para mostrar los servicios que se pueden realizar; no se sabe cobrar los servicios, se tiene temor de decir el costo económico de una solución tecnológica porque se ignora cuanto vale. En general, se piensa que el investigador de la BUAP (institución pública) tiene muchos complejos e inseguridad con respecto al de la UDLA (institución privada). Aún cuando el de la UDLA también falla y en ocasiones, en el caso de CEA001 y CEA002, han sido llamadas para solucionar problemas en proyectos iniciado por ellos. A pesar de ello, los de la UDLA se muestran con mayor confianza en sí mismos.



Por otra parte, han tenido la experiencia de divulgar ingenuamente ideas, en modo gratuito y después ver que algunos empresarios lo adaptan a sus procesos productivos. Aquí se encuentra un problema general en el dilema de la divulgación de este tipo de conocimiento. Por una parte, este tipo de investigadores llevan a cabo divulgación científica de manera intensa, ello les permite generar muchos contactos con productores, pero a la vez, han tenido dificultades en identificar el conocimiento general, que es libre y público, y aquél que puede tener intereses comerciales. Ese es un proceso que está cambiando en la BUAP, con la incorporación del proceso de registro de patentes que es reciente. Sin embargo, ello también tiene complicaciones porque cierra las puertas a colaborar más libremente con los empresarios, ya que interrumpe un diálogo abierto de ideas y conocimiento.

Adicionalmente, mencionan que un factor determinante en la generación de confianza con los productores, sobre todo con los que disponen de mayores recursos, son las instalaciones con las que cuentan los investigadores. Aunque, tienen un laboratorio que si bien no es artesanal, sí tiene problemas de mantenimiento constante. No ayuda a generar confianza el ver goteras en un laboratorio, o equipos que ya están saliendo de la vanguardia en el tema de la deshidratación de alimentos. No es que las instalaciones de la UDLA sean inmensamente más sofisticadas, pero sus instalaciones tienen una mayor inversión.

El equipo de CEA001 y CEA002 es peculiar en la Facultad de Ingeniería Química, son ellas quienes incorporaron el tema de la ingeniería de alimentos en la facultad, siendo fundadoras de la licenciatura. Sin embargo, ahora se sienten un tanto relegadas del grupo directivo y el resto de los docentes. Así, sus principales colaboraciones en temas de investigación los realizan con investigadores de otras instituciones nacionales, como la UNAM, IPN, y demás universidades públicas. Asimismo, es un grupo que trabaja intensamente con estudiantes, y que han creado un tipo de redes entre ellos, incorporando a sus investigaciones (y después registro de patentes) a estudiantes de su laboratorio, y principalmente aquellos de ciencias químicas y electrónica, así como estudiantes de intercambio estudiantil a nivel nacional e internacional. El modo de trabajo con estudiantes gira alrededor del *problem-solving*, privilegiando en ellos la asistencia a congresos y becas.

Su principal fuente de financiamiento para la investigación es el CONACYT (aproximadamente en un 80%) y el PROMEP (10%). Aunque al final, las acciones de vinculación que realiza este grupo de trabajo no les genera grandes recursos económicos (ellas calculan que alrededor del 10 por ciento de lo dedicado a su investigación proviene de este tipo de acciones). Estas colaboraciones retroalimentan de forma positiva la formación de sus estudiantes y en la continuación de sus líneas de investigación tecnológica.

Finalmente, son ellas las que refieren un asunto interesante. CEA001 tiene en perspectiva seguir una carrera empresarial. Menciona que muchos de sus colegas cuando se jubilan comienzan a poner empresas. Ello es interesante porque la comercialización del conocimiento es un asunto que se ha incorporado sólo en las últimas décadas en la BUAP, a nivel administrativo con la creación del CUV y el registro de patentes, se han desarrollado elementos administrativos y legales para realizar sobre todo servicios de consultoría. Por otra parte, en las facultades, investigadores como CEA001 y CEA002 lo han realizado adicionalmente a sus actividades de docencia. Pero en general, han existido más trabas que facilitadores a nivel administrativo para la colaboración universidad-empresa, no sólo en los procedimientos de la BUAP sino a nivel nacional. La modificación que permite a los docentes participar en acciones de vinculación de forma legítima se efectuó en diciembre de 2015. No referimos a las modificaciones a la ley de servidores públicos, que ahora permite, entre otros aspectos, que un docente pueda ser accionista de una empresa utilizando resultados de investigación con financiamiento público. Sin embargo, su instrumentación al interior de la universidad está en proceso. El hablar de realizar negocios aún es visto como algo pecaminoso por algunos sectores, tanto de la academia como del aparato administrativo.

### CEA003

Como otros investigadores, CEA003, ha iniciado una línea de investigación sobre la conservación de alimentos ideando técnicas para disminuir el calor en el tratamiento de éstos. Siendo el calor, el elemento que más influye en la vida de los alimentos, CEA003 se dedica a desarrollar tecnología para disminuirlo o quitarlo en los procesos de conservación. Explica que se pueden tener alimentos micro-biológicamente muy estables, pero de nada sirve que lo sean si se ven alteradas las propiedades nutricionales y sobre todo sensoriales del alimento. En pocas palabras, el calor afecta sobretodo el sabor y por ende resulta desagradable.

CEA003 comenzó trabajando en esta línea de investigación desde sus estudios de maestría en la UDLA, donde trabajó con el Dr. Welti (figura importante de la disciplina en México, ahora investigador del ITESM) y el Dr. José Ángel Guerrero. Con este último, posterior a incorporarse a la BUAP continúa colaborando en investigación, explorando el uso de rayos ultravioleta, igualmente para disminuir el tratamiento térmico en alimentos. Posteriormente realiza el doctorado también en la UDLA, pero continúa en la misma línea de investigación.

La tecnología que CEA003 desarrolla es utilizada frecuentemente en el tratamiento de agua. Por ejemplo, la empresa JUNGHANNS en México utiliza dispositivos que usan luz ultravioleta, con el propósito de reducir la carga microbiana en el agua. De manera que sus productos (agua embotellada) una vez comercializada sea estable y con buen sabor durante un tiempo específico. Sin embargo, CEA003 realiza estudios enfocados en jugos naturales, en los cuáles, el mismo lo señala, existen pocos estudios realizados. Así, ha diseñado un dispositivo que realiza procesamiento de jugos naturales utilizando rayos ultravioleta de onda corta y microorganismos antimicrobianos, aumentando la vida del jugo de 8 a 20 días, dado que trabaja con jugos naturales; mientras la mayor parte de los productos comerciales son bebidas que asemejan jugo. CEA003 piensa patentar tal dispositivo eventualmente y ofrecerlo en licencia a empresas del ramo.

CEA003 es uno de los investigadores jóvenes de la BUAP que tiene en perspectiva una fuerte interacción con la industria. Aunque ha tenido experiencias de otro tipo con agro-productores, ofreciendo cursos sobre remediación de suelos (composta y lombricomposta), así como uso de inoculantes para producción de hongo seta. Su principal línea de investigación está dedicada a la conservación de los alimentos, más que hacia la agricultura. Siendo joven y habiéndose incorporado recientemente a la universidad (menos de cinco años), tiene aún dificultades para obtener financiamiento para investigación. Sin embargo, se apoya de los proyectos internos (DITCO-BUAP), y en los recursos que obtienen otros investigadores, los cuales a su vez sirven para apoyar proyectos en conjunto. Así, su grupo de investigación en realidad es grande en comparación con otros grupos de investigación en la BUAP (Dra. Paola, el Dr. Irving, la Dra. Edith, el Mtro. Héctor, el Dr. Juan José Luna, y la Dra. Ma. Dolores).

#### CEA004

CEA004 es también un joven investigador que está incursionando en la investigación tecnológica. Ha iniciado una línea de investigación relacionada con la producción de películas comestibles, cuando realizó sus estudios de doctorado. Por un lado, en la UDLA comenzó trabajando en la producción de estas películas, a las que les adicionaban antimicrobianos de origen natural. Por otro lado, también estudiaba microorganismos deterioradores de alimentos (hongos). Una vez que se incorporó a la BUAP se enfocó a estudiar, no hongos comunes, sino fitopatógenos. Sus experimentos principales han incluido la producción de películas para papaya; y ahora ha tenido mejores resultados experimentando con ensaladas verdes y otros

alimentos mínimamente procesados. Es decir aquellos que no sufren demasiadas modificaciones una vez cultivados y consumidos por el hombre.

El asunto de las películas comestibles que produce es la incorporación de diversos antimicrobianos (en forma de sustancias volátiles), que tienen la capacidad de inhibir microorganismos que deterioran la vida de los alimentos, en este caso ensaladas verdes. Las películas son elaboradas a base de almidón y carboximetilcelulosa (compuesto orgánico derivado de la celulosa), y le han adicionado microorganismos antimicrobianos de origen natural como el aceite de orégano mexicano, timol, carvacrol, cinamaldehído y eugenol. Al incorporar dichas sustancias a las películas comestibles, la liberación de las sustancias es prolongada y de esta forma aumentan la vida en anaquel de alimentos como las ensaladas y otros alimentos. Así, lo que está realizando CEA004, es la producción de empaques antimicrobianos.

La investigación de CEA004 se enfoca en la aplicación de conocimientos generales en microbiología. La colaboración principal que realiza es con la UDLA y la Universidad Autónoma de Chihuahua. Con la primera, trabaja con especialistas en el desarrollo de modelos predictivos para evaluar crecimientos microbianos. Con la segunda, colaboran con investigadores expertos en el estudio de antimicrobianos de origen natural (tanto para bacterias como para hongos), y fitopatógenos. La colaboración que realizan les permite incrementar el acervo en investigación básica. Pero el trabajo de investigación aplicada o desarrollo tecnológico, lo realiza modificando la forma en la que trata de incorporar los antimicrobianos a los alimentos. De acuerdo con CEA004, la mayor parte de los extractos de plantas que se pueden utilizar para aprovechar los antimicrobianos son oleosos (de consistencia aceitosa), lo que hace que al tratar de incorporarlo a una fruta como la papaya, además de complicado, afecta su sabor. De ahí que han pensado incorporarlo a un polímetro (una película comestible), de forma que esta capa pueda ir liberando los antimicrobianos.

Es importante señalar que CEA004 también ha trabajado en la elaboración de películas comestibles a base de otros compuestos, utilizando amaranto, quitosano y almidón<sup>83</sup>. Sin embargo, este tipo de película que se ha descrito aquí es la que se encuentra en el proceso de registro de patente. Su caso de alguna forma, representa la mayor parte de los casos de la BUAP que cuentan con un registro de patente. Ha sido una idea que ha evolucionado hacia un prototipo, y pretende crecer hacia su aplicación en la industria.

---

<sup>83</sup> Ver: Avila-Sosa, R., Hernández-Zamoran, E., López-Mendoza, I., Palou, E., Munguía, M. T. J., Nevárez-Moorillón, G. V. and López-Malo, A. (2010), Fungal Inactivation by Mexican Oregano (*Lippia berlandieri* Schauer) Essential Oil Added to Amaranth, Chitosan, or Starch Edible Films. *Journal of Food Science*, 75: M127–M133. doi: 10.1111/j.1750-3841.2010.01524.x

CEA005

CEA005 es originaria de la Ciudad de México, y ha laborado como investigadora para diversas dependencias del sector público y privado. Estudió licenciatura y maestría en la Universidad Autónoma Metropolitana, Doctorado en el CINVESTAV-IPN y Posdoctorado en el Colegio de Posgraduados, campus Puebla. Sus estudios siempre han estado ligados a la ingeniería de alimentos (licenciatura), y en la biotecnología aplicada a la agricultura y los alimentos (posgrados). Sus principales líneas de investigación y docencia incluyen: microbiología general, biología celular, bioquímica aplicada a la biotecnología, microbiología ambiental, estudios de hongos comestibles, frutas y hortalizas, inocuidad y calidad de alimentos, desarrollo sustentable, biorremediación de suelos, alimentos funcionales, y estudios específicos sobre tratamiento de aguas residuales. Ha trabajado como investigadora para la Universidad Autónoma Metropolitana, el Instituto Mexicano del Petróleo, la empresa Colgate-Palmolive, la Universidad Autónoma de Guadalajara, el Instituto Tecnológico de Puebla, y actualmente para la Universidad Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP).

Aunque su paso por el sector privado es en realidad breve (dos años), ha sido una experiencia que ha significado para CEA005 orientar su trabajo siempre a la investigación aplicada, proyectos de investigación y desarrollo, y diversas actividades de colaboración con el sector productivo. CEA005 comenzó a trabajar en Colgate-Palmolive en el año 2000, cuando aún cursaba sus estudios de doctorado en el CINVESTAV. Ella misma relata que existía oportunidad de trabajar en Colgate porque la empresa había abierto la posibilidad de contratar doctores para los departamentos de investigación y desarrollo, no obstante antes habían mantenido la política de contratar solo ingenieros; siendo que en Estados Unidos la misma empresa contrataba doctores para tales departamentos. La empresa tenía el propósito de competir con su filial de Estados Unidos, desarrollando nuevas fórmulas y productos; de manera que pretendían cambiar un poco la dinámica de recibir las fórmulas del extranjero y replicarlas en México para elaborar los productos (en procesos de manufactura). Dentro de la empresa CEA005 comienza de inmediato a trabajar en el desarrollo de nuevos productos, recibiendo solicitudes del departamento de mercadotecnia. CEA005 explica que de este departamento, quien tiene los conocimientos más amplios sobre necesidades de los clientes es quien realiza las solicitudes al departamento de investigación y desarrollo, y posteriormente se hace una valoración sobre la posibilidad real de iniciar el desarrollo de un nuevo producto, de acuerdo con las capacidades tecnológicas de la empresa. Colgate-Palmolive, al igual que otras grandes empresas, trabajan intercambiando información en un sistema de intranet con

acceso a los departamentos de mercadotecnia e investigación y desarrollo. De manera que los procedimientos y las formulas, entre otros aspectos para el desarrollo de sus productos, se plasman en hojas de seguridad y expedientes. Se trata de expedientes bastante completos en los que se describen el rol de los ingredientes activos y demás mezclas. Por ejemplo, el rol del silicón, del ácido EDTA (ácido etildiaminotetraacético), al agente tenso activo, fórmulas a base de agua, etc. El acceso a esta información, dice CEA005, le abre el panorama, pues se involucra realmente en los procesos de innovación de la empresa. CEA005 contrasta el reto de trabajar en nuevos productos, y en sus propias palabras se da cuenta de que “no es la gran ciencia en Estados Unidos”, al decir de ella su tesis implicaba un mayor desafío a los productos que le solicitaban en la empresa. Incluso cuando recibe trabajos de sus pares en Estados Unidos, identifica errores en las composiciones químicas y lo rechaza. Es así que comienza a trabajar en el principal proyecto que realiza en la empresa “el facilitador de planchado”.

CEA005 desarrolla una novedosa molécula repelente a la mugre, que en lenguaje sencillo es un teflón aplicado a la ropa que cubre la tela e impide que se ensucie con los alimentos. CEA005 relata que desarrolló la fórmula en sus ratos libres, y “la veía muy fácil”, dice “si metes dos aniones te van a rechazar, entonces si metes un anion y un cation se pueden compaginar muy bien, le metí una fragancia y entonces cree un teflón”. El asunto es que el teflón se aplica a la ropa, se plancha fácilmente, posteriormente si al comer la persona se salpica de comida, ésta no penetra la tela sino que se queda ahí, con una servilleta se puede limpiar y no queda ningún rastro de comida. Al lavar la ropa el teflón se pierde. CEA005 explica que el teflón es *anfipático*, es decir que tiene una parte polar y no polar (un extremo hidrofílico, que es soluble en agua y uno hidrófobo, que rechaza el agua). La parte polar interacciona con el agua, de manera que al lavar la ropa el teflón se pierde. Pero el mismo líquido interacciona con el calor, de manera que al plancharlo es como se forma el teflón; con el calor se crea esta capa muy delgada y se fija a la ropa. Al trabajar en la fórmula CEA005 cambia la dinámica de trabajo que había llevado años atrás, como estudiante e investigadora en la universidad. Su lógica parecía más simple, dice “...Pero entonces esas lecturas ya no las hacía como dice la fórmula 20% de esto, 5%, 0.1% 2%, 2.1%. Y entonces dices, bueno el EDTA lo utilizan como quelante para incrementar el tiempo de vida en anaquel porque los microorganismos no son polares. Ah bueno, entonces esto no lo nuevo. El silicón es para adherirse a cabello y permite que no haya freeze. Entonces eso me interesa. Y entonces vas haciendo, y una vez que le entendí... Y entonces así fue que le pedí al de laboratorio, quiero una fórmula, así, así y asado, aniónica, con características de repelencia, tanto por ciento, y

entonces ¡a la primera vez me salió!”. Posteriormente, CEA005 cumple con todas las pruebas básicas de todos los productos de Colgate antes de la comercialización: pruebas de anaquel, pruebas microbiológicas, pruebas de interacción con el envase, pruebas de escalamiento, etc. Y presenta su fórmula al jefe de departamento y éste al director general, quien hace el registro de patente y la envía al corporativo general. La formulación entra en segunda prioridad a la lista de espera de todos los inventos de la multinacional. Finalmente, la fórmula comienza a explotarse comercialmente en Europa, dirigiendo el producto al cuidado de telas finas.

El trabajo de CEA005 alrededor de este proyecto deja a ella misma y a la empresa asuntos muy relevantes, para los procesos de innovación tecnológica. En primer término, con este proyecto CEA005 logra en un año cambiar la dinámica de trabajo del área más importante de Colgate-Palmolive, su departamento de investigación y desarrollo; debido a que implementa una metodología científica para desarrollar diseños experimentales para la optimización de fórmulas. Asimismo, logra establecer una base para que el departamento comience a patentar sus fórmulas; hasta antes de ese momento en Colgate-Palmolive México no se había desarrollado ninguna formulación patentable.

CEA005 sufre problemas familiares que le impiden seguir trabajando en Colgate y sale de la ciudad de México. Pasa un lapso de tiempo trabajando en Guadalajara, pero comienza a explorar la posibilidad de trasladarse a Puebla. En el año 2005, cuando llega a Puebla, a las universidades que acude no encuentra lugar porque la biotecnología no se encuentra tan popularizada en la región como ahora. De forma, que no se comprende el trabajo que realiza CEA005. Sin embargo, primero comienza laborando un año en el Instituto Tecnológico de Puebla, hasta que finalmente se incorpora a la UPAEP. Es dentro de esta universidad que encuentra los medios para realizar trabajo de investigación con financiamiento a proyectos de la propia universidad y equipamiento importante. Incluso ella misma consigue financiamiento de fondos públicos, para ampliar el equipamiento del laboratorio. La orientación del trabajo de CEA005 cambia para dirigirse a desarrollos tecnológicos sobre agricultura y alimentos, a la vez que comienza a realizar un postdoctorado en el Colegio de Posgraduados. A la fecha ha solicitado dos patentes relacionadas con sus trabajo en el postdoctorado, y trabaja en una más con alumnos de la UPAEP, relacionada con aportes de un producto de aguamiel.

Figura 62. Solicitudes de Patente ingresadas al IMPI. CEA005	
2009	Nueva bebida funcional con propiedades antioxidantes, elaborada con extracto acuoso de lentinula boryana.
2009	Propiedades funcionales agregadas al tequila, otros mezcales y destilados de agave convencionales, derivadas del extracto de un hongo comestible de uso tradicional en México (lentinula boryana).

CEA005 explica que los hongos con los que ha trabajado son cultivados en los estados de Puebla, Tlaxcala y Veracruz. De alguna forma, está preocupada por ser ella, una mexicana, la que conozca las propiedades de estos hongos, aplicarlas a bebidas funcionales y patentar sus desarrollos.

CEA005 es muy activa en realizar colaboraciones con investigadores de diversas universidades y emprendedores. Con el colegio de posgraduados, mantiene colaboración con el Dr. Daniel Martínez en el área de alimentos funcionales (es un contacto hecho a partir de sus estudios de postdoctorado). Con investigadores de la BUAP ha colaborado en proyectos de investigación conjunta estudiando hongos en Acatzingo, Puebla; específicamente con la Mtra. Teresita Jiménez Salgado y el Dr. Armando Tapia. En biorremediación de suelos continúa colaborando con su ex-asesora del CINVESTAV, la Dra. Refugio Rodríguez Vázquez. En el área de alimentos con el Dr. Oscar Monroy de la UAM Iztapalapa y el Dr. Antonio Totosaus del Instituto Tecnológico de Ecatepec, ciudad de México. Y colabora con pares de la UPAEP: la Dra. Judith Cavazos, en proyectos sociales, la Dra. Genoveva Rosano, en el área ambiental, y la Mtra. María Cristina Miranda en proyectos de tratamiento de aguas financiados por CONAGUA.

Las colaboraciones le permiten varias cosas, evidentemente la retroalimentación en investigación, pero permiten acceder a equipos con los que la universidad no cuenta, y viceversa. Así como el intercambio de estudiantes para realizar estancias, mientras que CEA005 envía estudiantes a otras instituciones para hacer experimentos, ella también los recibe. Lo que se ve un listado de nombres en la publicación de un artículo, es en realidad el resultado de este intercambio de equipos, estudiantes y conocimiento.

Aunque realiza trabajos con el sector productivo, en realidad, la mayor parte del financiamiento para su investigación proviene de la propia universidad, y fondos públicos (principalmente del CONACYT). Con emprendedores y empresas medianas, ha realizado consultorías, y pequeños proyectos sin que denoten realmente en innovación tecnológica, pero que resuelven problemas.



Hay tres características que hacen especial a CEA005. En principio, del grupo de investigadores que hemos entrevistado es la que sin duda tiene más publicación de artículos y libros. En segundo lugar, ha hecho todos sus estudios en México y ella misma menciona que su experiencia internacional es escasa. Finalmente, es la que ha tenido experiencia laborando en una empresa, y es quien menciona no estar interesada en la comercialización de sus invenciones. Esto dejaría la impresión de que es el tipo de docente-investigador que no tiene nada que ver con la vinculación universidad empresa, ni la innovación. Sin embargo, la formación que tiene le permite formar alumnos que terminan, ya sea incorporándose a una empresa o bien generando una *start-up*. Es el tipo de docente que tiene una participación relativamente invisible, pero muy importante en la transferencia tecnológica (que no se ve). La mayor parte de sus invenciones aún están en trámite de patente y su comercialización es incierta, pero la única fórmula que desarrolló estando en la empresa le ha dejado una experiencia invaluable para la aplicación de la biotecnología, lo cual a decir de sus colaboraciones y experiencia en formación de alumnos la destaca en esta disciplina.

### **3.6.5 Uso de subproductos agroindustriales: quitina, quitosano y nejayote**

En este apartado presentamos los casos de dos investigadores que pertenecen a diferentes grupos de investigación y diferentes departamentos, pero sus líneas de investigaciones convergen (aunque no en su totalidad) en aplicaciones sobre un mismo tema: la quitina y el quitosano. USA001 labora en el Centro de Química del Instituto de Ciencias, mientras USA002 labora en la Facultad de Ing. Química. Aunque sus investigaciones han tenido diversos orígenes y ellos no colaboran entre sí en la práctica, sus investigaciones han llegado a estudiar las aplicaciones de este polímero.

La quitina es el polímero natural (amino polisacárido natural) más abundante en el mundo, se estima que anualmente es producido casi en las mismas cantidades que la celulosa. La mayor fuente de quitina son los residuos de mariscos (crustáceos, camarones y cangrejos). El quitosano es el principal derivado de la quitina, y es obtenido mediante procesos químicos sencillos de desacetilación. Las aplicaciones del quitosano se encuentran en la industria de los alimentos, cosméticos, biomedicina y en la elaboración de fármacos. Mientras en países como Estados Unidos, Japón, India, Polonia, Australia y varias flotas pesqueras de la Antártida, el aprovechamiento de estos residuos ha dado pauta a su comercialización a escala industrial; existen grandes fuentes no explotadas de crustáceos principalmente en México, Noruega y Chile. A diferencia de Noruega, donde en la última década se ha comenzado a producir

comercialmente quitina y quitosano, en México no ha sucedido el aprovechamiento de tales fuentes (Kumar, 2000, Rinaudo, 2006).

Los polímeros son materiales sintéticos, pero su biocompatibilidad y biodegradabilidad son mucho más limitadas que los polímeros naturales como la celulosa y la quitina. Uno de los principales puntos de interés comercial por la quitina y el quitosano proviene del hecho de que contienen altos porcentajes de nitrógeno (6.89%), comparado con el sustituto sintético de celulosa (1.25%), lo que hace a la quitina un muy útil agente quelante; es decir que es antagonista de metales pesados y evita la toxicidad de los metales pesados para los seres vivos (Kumar, 2000, Rinaudo, 2006). Otro punto de interés, no necesariamente comercial sino científico-tecnológico, tiene origen en estudios realizados sobre el comportamiento y la caracterización química de la lisozima (enzima presente en los fluidos corporales), de tal forma que en las últimas tres décadas se han reportado una gran variedad de aplicaciones de la quitina y sus derivados. Una de las más interesantes es la sugerencia de que el quitosano podría ser usado para inhibir la fibroplasia en la cicatrización de heridas y promover el crecimiento de tejido, así como la diferenciación en el cultivo de tejidos (Kumar, 2000). Además de ello, las aplicaciones de la quitina y el quitosano son mucho muy amplias en campo de la biomedicina, biotecnología y otros; esto significa que las aplicaciones potenciales merecen tenerse muy en cuenta. A continuación se presentan algunas de las más importantes.

Figura 63. Aplicaciones de la quitina y quitosano	
Aplicaciones actuales	Características
Fotografía	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Resistente a la abrasión, óptica, capacidad de formación de película.</li> </ul>
Cosméticos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades fungicidas y fungistáticas. El quitosano es la única goma catiónica que se transforma en sustancia viscosa al ser neutralizada con ácido.</li> <li>• Mantiene la humectación de la piel.</li> <li>• Se usa en tratamiento de acné.</li> <li>• Mejora la elasticidad del cabello.</li> <li>• Reduce la electricidad estática del cabello.</li> <li>• Es utilizado en el cuidado bucal, en pasta de dientes y gomas de mascar.</li> </ul>
Quitosano como piel artificial	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Características estructurales similares a los glicosaminoglicano (tipo de biomoléculas de función estructural presentes en el tejido conectivo, epitelial y óseo), por lo que puede ser considerado para el desarrollo de sustratos para el remplazo de piel.</li> </ul>
Apósitos basados en quitina y quitosano (con base en varias mezclas).	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Excelente adhesión a la grasa subcutánea.</li> <li>• Efectivo en la regeneración del tejido de la piel en el área de la herida.</li> </ul>
Comida y nutrición	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estudios en nutrición animal han mostrado que pequeñas cantidades de quitosano suministrada en suero provoca cambios positivos en la microflora intestinal de los animales.</li> <li>• El quitosano no es digestible por lo cual es usado como fibra dietética.</li> <li>• Se une a los lípidos, por lo que reduce el colesterol.</li> <li>• Es espesante y estabilizador de salsas.</li> <li>• Es utilizado para el recubrimiento de frutas por sus propiedades fungistáticas y antibacteriales.</li> </ul>
Oftalmología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal para fabricación de lentes de contacto y vendaje ocular</li> <li>• Claridad óptica</li> <li>• Estabilidad mecánica.</li> <li>• Corrección óptica suficiente.</li> <li>• Permeabilidad de gas (especialmente oxígeno).</li> <li>• Compatibilidad inmunológica y humectante</li> <li>• Propiedad antimicrobiana y cicatrización de heridas.</li> </ul>
Captura de metales en agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El quitosano posee una capacidad de selectividad natural para los iones de metales pesados y es útil en el tratamiento de aguas residuales.</li> <li>• El quitosano es usado como floculante para purificación de agua potable y para piscinas.</li> <li>• Elimina polímeros sintéticos por lo que es un polímero ecológico.</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reduce los olores en el agua.</li> </ul>
Decoloración de efluentes de industria textil	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Por su estructura molecular única el quitosano tiene una extremada afinidad con varias clases de colorantes (dispersos, directos, reactivos, ácidos, con azufre y naftol). Es versátil en atraer colorantes básicos y otro tipo de residuos (como las proteínas de vegetales comestibles procesados).</li> </ul>
Acabado de papel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El quitosano proporciona fuerza al papel; combinado con derivados de agua es bastante útil en la formación de aditivos para dar un mejor acabado al papel.</li> </ul>
Sistemas de liberación de fármacos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El quitosano es no-tóxico y fácil bioabsorbente, tiene la habilidad de formarse a manera de gel en bajo pH; además tiene actividades antiácidas y antiúlceras, por lo que previene o disminuye la irritación por fármacos en el estómago. Es ideal para el control de la liberación de fármacos dentro del organismo.</li> </ul>
Biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La quitina tiene dos grupos hidroxilo, mientras el quitosano tiene un grupo amino y dos grupos hidroxilo. Las modificaciones químicas de estos grupos y las reacciones regenerativas dan lugar a novedosos productos macro-moleculares y biofuncionales.</li> </ul>
Materiales estimulantes de células	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se ha comprobado que el tratamiento a base de quitina y sus derivados, en cultivos in Vitro de células de mamíferos, la actividad extracelular de la lisozima se incrementa; con lo cual se estimula la formación de tejido conectado, así como la función de autodefensa contra infecciones microbianas se incrementa a nivel celular. Así, varios tratamientos se han desarrollado para atender heridas en animales y humanos.</li> <li>• El quitosano inhibe el crecimiento de varios microorganismos, actuando como agente antibacterial; entre ellos <i>Escherichia coli</i>, <i>Fusarium</i>, <i>Alternaria</i>, y <i>Helminthosporium</i>.</li> <li>• Los sulfatos de quitina y el quitosano tienen actividad anticoagulante y liberadora de Lipoproteinlipasa; con lo cual puede ser útil como heparinoides para diálisis artificiales de sangre.</li> <li>• El quitosano ataca la grasa en el estómago antes de ser digerida; actuando como encapsulador de grasa. Atrapa la grasa y previene su absorción por el tracto digestivo. La grasa unida a la fibra del quitosano forma una masa que no puede ser absorbida por el cuerpo y es eliminado por éste. La fibra del quitosano es diferente que otras fibras porque posee carga iónica positiva, que le da la capacidad de unirse químicamente con lípidos cargados negativamente, grasas, y ácidos biliares.</li> </ul>
Agricultura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El quitosano actúa como mecanismo de defensa en las plantas. En la estimulación del recubrimiento de semillas para el crecimiento de plantas, protegiéndolas de las heladas, y liberando gradualmente fertilizantes y nutrientes dentro del suelo.</li> </ul>

Fuente: con base en Kumar, 2000 y Rinaudo, 2006.

Otras aplicaciones potenciales del quitosano son señaladas por Rinaudo (2006), especialmente en el campo de la biomedicina: entre ellas las suturas quirúrgicas, implantes dentales, piel

artificial, reconstrucción de hueso, lentes de contacto corneales, liberador de fármacos para animales y humanos, y como material encapsulador.

## USA001

USA001 estudio ingeniería química en la BUAP, hizo maestría y doctorado en la UNAM, estudiando biotecnología y ciencias bioquímicas respectivamente. Además de hacer un postdoctorado en química en la Universidad de Dortmund de Alemania. Su carrera ha estado prácticamente orientada a la investigación básica, siendo profesor-investigador en el Instituto Mexicano del Petróleo, el Instituto Politécnico Nacional, la Universidad Autónoma Metropolitana, y finalmente en la BUAP.

Uno de los principales desarrollos tecnológicos de USA001 se relaciona con el aprovechamiento del Nejayote; un efluente (residuo) de la industria más tradicional en México: el maíz, su procesamiento, transformación y consumo. USA001 ha desarrollado un polímero mezclando el Nejayote con quitosano para obtener un producto biotecnológico con características y aplicaciones industriales. Mediante catálisis enzimática, USA001 ha trabajado para elaborar este polímero mezclado, aprovechando un residuo que es vertido directamente al drenaje. Las tortillas en México (principal insumo para hacer los tacos y otros platillos mexicanos), son producidas a través de la masa de maíz, pero la elaboración de la masa implica el ablandamiento del maíz a través del proceso de “nixtamalización”. Se calcula que en un 65% las tortillas en México son elaboradas a través de la nixtamalización, mientras que el 35% restante corresponde al uso de harina elaborada en la industria, principalmente por las empresas Maseca (25%), Minsa (8%), Harimasa (1%), Cargill (0.50%), Macsa (0.40%), y Blancas (0.20)<sup>84</sup>. Ahora bien, en tortillerías grandes y pequeñas así como en hogares, sobre todo de las áreas rurales, este proceso se lleva a cabo en grandes cantidades aún de la manera más tradicional: se pone a hervir agua con cal agregando el maíz. Cuando ya se ha ablandado suficientemente para ser manejable y elaborar la masa, se retira el maíz y el líquido restante se tira a las alcantarillas. Este líquido que es el Nejayote contiene agua con cal y los restos de moléculas orgánicas que se liberan en el momento que se abre el maíz. El nejayote, si bien no es tóxico, es altamente contaminante, pues posee alta demanda química de oxígeno. De hecho, muy por encima de los límites permitidos por las normas mexicanas para la concentración de materia orgánica en líquidos. USA001 señala que mientras la norma permite

---

<sup>84</sup> Con base en información de la Secretaría de Economía y el Consejo Regulador de la Masa. Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Tortilla\\_de\\_ma%C3%ADz](https://es.wikipedia.org/wiki/Tortilla_de_ma%C3%ADz), consultada 30 de marzo de 2016.

200 partes por millón, el nejayote contiene entre siete mil a treinta mil partes por millón. La materia orgánica del Nejayote es proteína, almidón, calcio y fotoquímicos; todos ellos son productos que pueden ser aprovechados; asimismo, existen otros compuestos presentes como los fenólicos, que se argumenta tienen actividad anticancerígena. Todo ello hace que el Nejayote pueda adquirir un valor comercial que puede aprovecharse, elaborando productos biotecnológicos.

De esta forma, USA001 ha estudiado las propiedades del Nejayote y ha elaborado un proceso para mezclarlo con el quitosano, para formar un nuevo polímero. Lo que ha hecho USA001 es trabajar sobre un proceso enzimático, haciendo la biocatálisis del efluente (oxidación); mientras que esta oxidación la llevan a cabo a través del quitosano. USA001 explica que los fenoles al oxidarse se vuelven muy radicales y muy reactivos, pero el quitosano reacciona con los fenoles que ya están oxidados y se genera entonces un biopolímero, llamado injertado. El quitosano injertado, con ácido telúrico y otros compuestos similares al ácido telúrico, provoca que todos los fenoles que se oxidaron por acción de la enzima se adhieran a este biopolímero.

A través de pruebas de caracterización a este nuevo biopolímero, se han determinado sus capacidades antioxidantes, viscosidad, degradabilidad, estabilidad y capacidad antimicrobiana. De tal forma, que están estudiando sus diversas aplicaciones: como recubrimiento de alimentos para aumentar su tiempo de vida (por la capacidad antimicrobiana y antioxidante), en cremas antiinflamatorias, como ingrediente para espesar alimentos como la mayonesa, entre otros.

Pero la producción de este biopolímero por parte de USA001 tiene su origen en su especialización por las enzimas (igual que en el caso de USAB001). Se ha especializado en estudiar aquellas enzimas del tipo oxidativas, aplicadas al tratamiento “ambiental” de contaminantes orgánicos. Éstas pueden llevar a cabo la oxidación de hidrocarburos, compuestos de azufre, de nitrógeno, plaguicidas, y colorantes. USA001 explica que el mecanismo de acción de las enzimas es arrancar un electrón a las moléculas y hacerlas radicales, de tal forma que posteriormente reaccionan y forman bimeros, o bien reacción con el agua y producen compuestos cetónicos. La cuestión importante para nosotros es que estos compuestos oxidados reducen miles de veces su toxicidad. Ahora bien, los sustratos naturales de las enzimas son compuestos fenólicos, y éstos a su vez tienen dos caras: algunos benéficos para la salud (como los antioxidantes), y otros bastante tóxicos (como los derivados de la refinación del petróleo). En su paso por el Instituto Mexicano del Petróleo, USA001 junto con otros investigadores, llevaban a cabo la oxidación de los fenoles con el propósito de que se

polimerizaran, se precipitaran y el efluente quedara libre de fenoles; sin embargo, las precipitaciones son lentas ya que es un proceso bio-catalítico. Se les ocurrió entonces utilizar un polímero reactivo (como la celulosa o el quitosano) para lograr que la precipitación fuera más rápida; no obstante al final, un polímero unido a compuestos tóxicos sigue siendo un desecho. Es por ello que USA001, al estudiar los compuestos que tuvieran fenoles no tóxicos, aplicó la misma idea para tratar el Nejayote. Asimismo, el proyecto de USA001 se ha apoyado de estudiantes de licenciatura, primero para explorar si las enzimas con las que trabajaban podían atacar los compuestos del Nejayote; que en palabras de USA001 es una mezcla compleja, pues sí están presentes compuestos fenólicos pero existen otros compuestos que pueden inhibir sus enzimas. Por otra parte, ha colaborado con la CEA002 para realizar la caracterización del compuesto por calorímetro y explorar su uso como preservador de alimentos. Con el Dr. Ricardo Munguía están estudiando cómo cambia la capacidad antimicrobiana del compuesto una vez que es convertido en biopolímero; ello con la idea de utilizarlo como recubrimiento de semillas. Actualmente las semillas se almacenan con presencia de fungicidas para evitar la formación de hongos, pero estos son finalmente tóxicos. La idea aquí es utilizar un producto ambientalmente más amigable. Igualmente, existen otras colaboraciones para caracterizar el biopolímero con mayor profundidad, con la Dra. Georgina Sandoval del CIATEJ (Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco), y el Dr. Juan Carlos Méndez de la Universidad de Guadalajara.

La única referencia de empresas que estén comercializando biopolímeros en México, en conocimiento de USA001 es la empresa Coyote Foods, Biopolymer And Biotechnology S De RI (ubicada en Coahuila), es una empresa que produce quitosano a través de las cáscaras de jaiba y camarón; del tipo de polímeros injertados que esta produciendo USA001 no existen hasta ahora empresas en México que estén explorando su uso.

La aplicación del desarrollo tecnológico de USA001 en la práctica tiene dos dimensiones, a decir de su propia perspectiva. Por una parte, el tratamiento del Nejayote representa un problema ambiental que debe ser atendido. Empresas como MASECA tienen plantas de tratamiento para ello, pero al final, la producción de la tortilla (como hemos señalado) se da en su mayoría en los pequeños molinos no industriales y los micronegocios que producen tortillas casi del tipo artesanal. De tal forma, que son millones de metros cúbicos de Nejayote que se vierten al drenaje público. Una posibilidad sobre la que trabajan es la producción de la enzima, mezclada con quitosano en forma de polvo, de tal forma que pueda ser añadida antes de vertirse al drenaje. La segunda posibilidad es trabajar con las empresas del tipo MASECA donde se generan grandes cantidades de Nejayote, y antes de que

éste pase a su planta de tratamiento, realizar el proceso enzimático para retirar el producto biotecnológico, el biopolímero. Con ello, sus plantas de tratamiento serían menores, el producto a tratar disminuiría, pues se trataría entonces de un efluente menos contaminado, y al mismo tiempo el resultado sería la producción del biopolímero que puede ser utilizado como recubrimiento de semillas, de alimentos, entre otros. Siendo el quitosano por sí mismo un material con amplias aplicaciones, el biopolímero producido por USA001 se suma a sus beneficios y aplicaciones.

Figura 64. Solicitudes de Patente ingresadas al IMPI. USA001	
2012	Cuantificación biocatalítica de azufre en diesel (en colaboración con UAM).
2013	Obtención de un producto biotecnológico a partir del Nejayote de maíz mediante catálisis enzimática.
2014	Método espectrofotométrico biocatalítico para detectar y cuantificar plaguicidas organofosforados en matrices de alimentos y agua urbana (en colaboración con UAM).

El trabajo de investigación de USA001 tiene un componente más básico que aplicado, su trayectoria misma así es; es de los investigadores que menos contacto con la industria ha tenido. Da la impresión de que su principal invención tiene pocas posibilidades de aplicación en la industria. Sin embargo, es un caso que nos muestra cómo se construyen las ideas en la ciencia y la tecnología, él se basó de los experimentos realizados en el Instituto Mexicano del Petróleo, que es el centro más especializado en el país en el desarrollo de tecnología para la industria. Asimismo, trabaja con otros investigadores que realizan más desarrollos tecnológicos; es a través de ellos que se pueden encontrar las aplicaciones finales de su biopolímero (como recubrimiento de semillas, alimentos u otros). Aquí se puede mostrar, el tránsito de la investigación básica hacia la investigación aplicada; la cuál tiene puentes similares a estos y se da en el conjunto de conocimientos que circulan en las colaboraciones entre investigadores.

## USA002

USA002 es profesora-investigadora especialista en polímeros. Estudió Química Industrial en licenciatura, y maestría y doctorado en Ciencias de Materiales en el Instituto de Física. Todos sus estudios los ha realizado en la BUAP. El trabajo de USA002 está más orientado a la docencia que a la investigación. Sin embargo, es una de las pocas investigadoras que ya había solicitado un registro de patente antes de que la universidad estableciera la oficina de



transferencia tecnológica. Su desarrollo tecnológico se refiere a la obtención de quitosano a partir de residuos de camarón. En colaboración con Heriberto Hernández Cocolletzi, investigador de la misma Facultad de Ingeniería Química, USA002 solicitó en 2010 la patente titulada “Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón”. A pesar de ello, el trabajo ya había sido publicado un año antes<sup>85</sup>. Los exoesqueletos de crustáceos son la principal fuente de quitina. USA002 y su grupo argumentan que los principales factores que afectan la calidad del quitosano al final, es la fuente de la que se obtiene y los procesos no controlados de desacetilación. Por lo cuál proponen una metodología para obtener el quitosano de los exoesqueletos de camarón obtenidos directamente de los restaurantes de mariscos. Se explica que la obtención del quitosano la han obtenido llevando a cabo procesos de desproteínización, desmineralización, y desacetilación de los exoesqueletos en polvo. Posteriormente, han realizado pruebas de caracterización de tal quitosano, con lo cual concluyen que su metodología es capaz de obtener quitosano con un grado de purificación aceptable. En su artículo reportan que lo han comparado con el quitosano producido por la empresa Sigma-Aldrich<sup>86</sup>, empresa multinacional con gran actividad en investigación aplicada en diversas disciplinas (química, biotecnología, materiales, y agroalimentación), y con gran presencia en México. El quitosano de USA002 y compañía, ellos mismos lo reportan, es aceptable no tanto como para uso farmacéutico o médico, pero si en aplicaciones ambientales.

USA002 explica que su desarrollo tecnológico ha tenido origen en sus estudios sobre la búsqueda de materiales biodegradables. Ella percibe que la mayor parte de polímeros son creados por las empresas del sector automotriz, y tenía conocimiento de que la FIAT en Italia desarrolla tableros para autos aprovechando las propiedades mecánicas de las fibras de palmas de coco. Como fuentes de inspiración, USA002 y el equipo de investigación, trabajan sobre la obtención del quitosano aprovechando el hecho de que Puebla, aunque no siendo una ciudad de costa tiene mucha cercanía con el puerto de Veracruz y genera toneladas importantes de residuos de mariscos y camarón particularmente. La quitina está presente en diversas especies animales y vegetales, pero el decidir de qué especie se obtenga para USA002 es importante, porque han elegido una de las especies que ya no forma parte de cadenas alimenticias. Han estudiado la literatura sobre el quitosano, y en especial aquella dedicada al estudio de los exoesqueletos de camarón.

---

<sup>85</sup> Ver: Cocolletzi, H.H., Almanza, E., Agustín, O.F., Nava, E.L.V. & Cassellis, E.R., 2009, Obtención y caracterización de quitosano a partir de exoesqueletos de camarón, *Superficies y vacío*, 22(3), pp. 57-60.

<sup>86</sup> Ver: <http://www.sigmaaldrich.com/mexico.html>

El quitosano que han obtenido lo han aplicado para resolver problemas locales al interior de la universidad; como su aplicación en el tratamiento de aguas residuales de laboratorios, separando materiales pesados. En particular, han desarrollado membranas que les ayudan a filtrar partículas de tamaño manométrico y con ello “sanear” el agua de materiales pesados.

Una aplicación más que han perfeccionado es la elaboración de membranas plásticas para recubrir alimentos. El uso de este tipo de membranas es importante para sustituir las que comercialmente están en el mercado, ya que no son biodegradables y no tienen ninguna otra aplicación posterior a la protección de los alimentos. El equipo trabaja analizando las capacidades antibacterianas, antimicrobianas y antioxidantes con la intención de generar membranas comestibles. Es importante señalar, que aunque CEA004 también trabaja sobre la creación de películas comestibles, estos investigadores están en diversos departamentos y no colaboran entre sí. La expresión de USA002 sobre que desean crear una película comestible sugiere que habla de algo totalmente nuevo cuando dice “...y ahora lo que estamos estudiando en realidad es la capacidad antibacteriana, antimicrobiana y antioxidante. ¡Porque lo que queremos es que esa membrana sea comestible! ¡Sí, de hecho hemos descubierto que lo saludable del camarón es justamente el exoesqueleto, no el cuerpo!”. USA002 aún tiene el propósito de llevar este proyecto hacia la comercialización a través de la creación de una empresa. Pero reporta que los primeros pasos han sido complicados desde la propia recolección de residuos de camarón, ya que los restaurantes locales no han tenido la confianza para regalarles los residuos. Operativamente es un problema porque al no tener ninguna alianza formal con ningún restaurante, circulan por varios establecimientos tratando de obtener el material y trabajar rápido con él, pues siendo orgánico se descompone. Los dos asuntos más importantes, la recolección del residuo y la distribución de las películas aún la planean. Sin embargo, seguros están que lograrán conformarlo como un negocio.

USA002 también realiza colaboraciones con investigadores de la propia universidad para estudiar las características de los polímeros y sus aplicaciones. Menciona colaboraciones importantes con la Dra. María Guadalupe Tenorio Arvide, con la que estudian el uso de las películas de USA002 para evitar que se produzcan aflatoxinas en los cereales, sobre todo en el maíz. Siendo que el quitosano tiene capacidades antimicóticas. Con la Mtra. Edna Lizet Viveros de la Universidad Politécnica de Puebla también en estudios de microbiología. Asimismo, colabora con el Dr. Efraín Rubio del Centro Universitario de Vinculación para la caracterización de diversos materiales. Y principalmente, colabora con el Dr. Heriberto

Hernández Cocolletzi; ella misma menciona que Hernández desarrolla varios modelos de simulación con gran éxito, por ejemplo, aquellos sobre absorción de metales a nivel teórico.

USA002 es también una investigadora que tiene pocos vínculos con la empresa. Ella misma señala que comienza a tener algunos acercamientos con empresas como Ocoyococ (ubicada en el Estado de México); pues esta empresa se dedica a la elaboración de láminas de acrílico, y están interesados en desarrollar materiales biodegradables. Ha colaborado con ellos a través de los proyectos financiados por CONACYT a las empresas para el apoyo a la innovación. Sin embargo, aún no tienen resultados del trabajo que han desarrollado en conjunto.

### **3.6.6 Zootecnia, vacunas, bioseguridad y control de micotoxinas**

En este apartado presentamos el caso de la empresa más importante en biotecnología en Puebla. Se trata, en realidad, de un grupo de cuatro empresas que conforman el grupo IDISA (acrónimo de Investigación, Desarrollo Integral y Salud Animal). Actualmente este grupo representa el corporativo mexicano más importante en cuanto al desarrollo de productos que utilizan biotecnología a favor de la salud y nutrición animal; principalmente para en el sector de la producción avícola y porcina. Las cuatro empresas se denominan: IASA (Investigación Aplicada, S.A. de C.V.), la cuál se dedica principalmente a elaborar vacunas, fármacos y otros medicamentos para ganado avícola, porcino y vacuno. IMSA (Incubadora Mexicana, S.A. de C.V.), que se dedica a producir pollitas reproductoras ideales para producción de huevo, también llamada pie de cría para aves ponedoras de alto rendimiento. ALPES (Aves Libres de Patógenos Específicos, S.A. de C.V.), que produce huevo (embrión) libre de patógenos para producción de vacunas. Y NUTEK S.A. de C.V.; que se dedica a producir aditivos anti-micotoxinas.

#### **ALPES e IMSA**

El antecedente de este grupo de empresas se remonta a la granja de aves establecida por Socorro Romero en 1950, una granja de aproximadamente mil aves instalada en Tehuacán<sup>87</sup>. Asociada con uno de sus hermanos, Socorro logró que la granja creciera rápidamente,

---

<sup>87</sup> Segunda ciudad más importante económicamente y en extensión del Estado de Puebla, con 319,375 habitantes (fuente: <http://www.coteigep.puebla.gob.mx/est231.php?muni=21156>, consultado 15 de marzo de 2016).

controlando gran parte de la producción de huevo para el mercado mexicano. En sus inicios la granja alcanzó rápidamente a contar con cien mil aves.

Posteriormente, la empresa enfrentaba un problema para abastecerse de piensos<sup>88</sup>, ya que representaba el costo mayor de sus finanzas. Socorro acude a su hermano Miguel Romero, egresado recientemente de un doctorado en química de la Universidad de Harvard. El propósito de la empresa era disminuir la dependencia que ya tenía de los proveedores de pienso, así como mejorar la composición de los alimentos para sus aves. Miguel Romero, entonces, se da cuenta de la gran necesidad que existía en el país de servicios sobre salud y nutrición animal y conforma una empresa propia, dedicada principalmente a elaborar vacunas para aves de corral. En forma paralela se conforman los laboratorios de las dos empresas que actualmente llevan el nombre de ALPES e IASA. De tal forma que en 1963 oficialmente se conforma el Grupo Romero (actualmente IDISA), propiedad de la familia Romero de Tehuacán.

En aquel tiempo las vacunas para este tipo de aves eran abastecidas a los productores avícolas por empresas multinacionales, pero no llegaban a cubrir las necesidades específicas de los países latinoamericanos. Miguel Romero comienza realizando investigaciones para desarrollar vacunas específicas para las granjas mexicanas, con investigadores de la Cornell University de Nueva York y la UNAM, el proyecto no termina con buenos resultados, ya que se presentan varias infecciones en el centro de investigación de la ciudad de México; de manera que las dos universidades deciden abandonar el proyecto. Sin embargo, Miguel Romero continúa la investigación por cuenta propia desde su empresa. En 1974 establece formalmente la empresa ALPES, que comienza a elaborar huevos LPE (libres de patógenos específicos). Para ello, fue importante la asistencia técnica que recibe Miguel Romero de la empresa SPAFAS<sup>89</sup> (empresa pequeña en aquel entonces instalada en Connecticut), así como la compra de una partida de aves de raza. SPAFAS transfiere conocimiento a ALPES para crear un entorno de bioseguridad, de manera que le sea posible criar gallinas productoras de huevo LPE (es decir un entorno libre de bacterias, virus y otros contaminantes). De acuerdo con Wesley (2012<sup>90</sup>) la transferencia de conocimiento se da entre ambas empresas simplemente como resultado de un acuerdo informal, del tipo “apretón de manos”. Sin embargo, es producto de una alianza que SPAFAS había vislumbrado conveniente años atrás, para ampliar su mercado hacia México y otros países de Latinoamérica y el mundo. SPAFAS

---

<sup>88</sup> Alimento de animales compuesto por materias primas vegetales y animales, que son elaborados con el objeto de ser alimento nutritivo y sano.

<sup>89</sup> Acrónimo de Specific Antigen-Free Eggs and Avian Services.

<sup>90</sup> En Schaaf, J.-L., Kelly, M. & Tanganelli, D., 2012, Gestión de alianzas estratégicas: construyendo alianzas que funcionen, Pirámide, Madrid, España.

pretendía, y consiguió, que ALPES fuera una de sus franquicias. En los últimos años de la década de los 70s, ALPES tenía la exclusividad en México para distribuir huevos y embriones importados de SPAFAS<sup>91</sup>.

La importancia del tipo de producto que ALPES ya era capaz de desarrollar en los años 70s, recae en el hecho de que se ha asociado que las infecciones, en aves de corral, de patógenos como la salmonela o el campylobacter había causado problemas en la población en varias partes del mundo. Problema ahora muy conocido, pero en aquel entonces, desarrollar vacunas para proteger a las aves de tales infecciones resultaba un nicho de mercado enorme. Y lo sigue siendo, ya que se continua relacionando enfermedades de aves, como la gripe aviar, transmisibles a casos humanos. Evidentemente, el preservar la salud de los pollos contra la gripe aviar, por ejemplo, resulta en sí mismo importante, ya que los métodos de prevención actuales consideran sacrificar aquellas aves que se sospeche estén infectadas, lo cuál significa pérdidas económicas para cualquier empresa avícola. Aunque ya existen vacunas desarrolladas por científicos en Rusia, Hong Kong, y tres laboratorios en Estados Unidos (Sanofi Pasteur, Glaxo Smith Kline y Novartis), además de que la propia empresa ALPES ha desarrollado vacunas y análisis para enfrentar la enfermedad, el sector de la salud animal y su relación con la salud humana continúa siendo un nicho de mercado muy significativo<sup>92</sup>. De hecho, en la perspectiva de las cuatro empresas que conforman IDISA, la investigación que vislumbran tiene que ver con tales padecimientos: la salud animal relacionada con aquella humana.

## IASA

En 1963, IASA nace también con la intención de proveer soluciones a los problemas de la granja establecida por Socorro Romero; evidentemente el crecimiento de la empresa pasando de mil a cien mil aves ponedoras, implicó numerosos problemas sobre todo relacionados con el control de las enfermedades de las aves y su reproducción. Se establecen dos laboratorios de IASA, uno que comienza realizando análisis bromatológicos (composición química, física, toxicológica de los alimentos), y otro dedicado al diagnóstico y patología animal en general. IASA comienza a dotar servicios a las granjas de Socorro Romero, pero amplía su capacidad monitoreando los problemas que enfrentan los productores pecuarios de la región y el país; de manera que posterior a largos procesos de investigación en sus laboratorios, desarrolla

---

<sup>91</sup> En 1992, SPAFAS fue formalmente adquirido por Charles River Laboratories; actualmente se conoce como Charles River Avian Vaccine Services (fuente: [http://www.criver.com/files/pdfs/avian/av\\_r\\_technical\\_guidelines\\_spf\\_eggs.aspx](http://www.criver.com/files/pdfs/avian/av_r_technical_guidelines_spf_eggs.aspx) , consultado el 16 de marzo de 2016).

<sup>92</sup> Fuente: [https://es.wikipedia.org/wiki/Gripe\\_aviar](https://es.wikipedia.org/wiki/Gripe_aviar), consultado el 16 de marzo de 2016.

productos biológicos y farmacéuticos que dan atención a los productores no sólo de huevos y gallinas, sino de ganado porcino y vacuno. Asimismo, de acuerdo con Villavicencio et al (2014<sup>93</sup>), en las primeras tres décadas de IASA su espectro de productos y servicios funcionaron muy bien para atender las necesidades al interior del grupo Romero; pero a partir de los ochentas crece la competitividad de las empresas internacionales. Con ello, el sector pecuario mexicano tiene mayor acceso a la tecnología extranjera, lo que implica mayores retos para el grupo Romero; se plantean acrecentar su mercado hacia todo el sector pecuario. Actualmente, su catálogo cuenta con más de 96 productos comerciales, entre productos biológicos (vacunas), desinfectantes, farmacéuticos y premezclas. Así como servicios de laboratorio en bacteriología y micología, hematología, parasitología, patología, perfiles serológicos, virología y serología<sup>94</sup>.

Uno de los principales factores que Villavicencio et al (2014), mencionan para el crecimiento de IASA es el relacionado con la atención a la enfermedad aviar. IASA recibió hígados de los pollos muertos, proporcionados por algunos de los productores con los que trabajaban. De manera que en laboratorio comenzaron a desarrollar una especie de autovacuna que funcionó correctamente para los productores; tanto que el proyecto culminó con la producción industrial de una vacuna para la hepatitis, por cuerpos de inclusión. El problema era importante para los productores mexicanos, pero en general, la enfermedad no se había presentado de forma generalizada, por lo que a varios productores de vacunas de las empresas multinacionales no les interesó desarrollar una vacuna similar. Sin embargo, al atender el problema de los productores de la región significó para IASA un éxito que ayudó en mucho a dedicarse prioritariamente a la biotecnología, y no a la producción de alimentos para aves como en un inicio, y al parecer la fórmula les funciona muy bien hasta la fecha. Ofrecen atención personalizada a las necesidades de los productores mexicanos, y de esta forma son capaces de identificar padecimientos muy específicos del ganado mexicano. Los laboratorios internacionales no siempre se interesan en resolver tales problemas y por ello, les ganan la partida. De acuerdo con Villavicencio et al (2014) la posición competitiva de IASA se puede resumir de la siguiente forma “...IASA se ha convertido en líder de ventas en segmentos específicos del sector agropecuario nacional, y ha logrado posicionarse entre los tres primeros laboratorios nacionales y entre los diez mundiales, respecto de la oferta de soluciones para enfermedades aviares y de otros animales. En la actualidad, ocupa el segundo

---

<sup>93</sup> Villavicencio, D., Amaro, M., Bañuelos, E., Chiapa, A., Morales, A., & Souza, L. (2014). Innovación con huevos: IASA. In *Yo innovo, él innova, todos innovamos: 15 proyectos apoyados por el FIT*. CENGAGE Learning.

<sup>94</sup> Fuente: <http://www.iasa.com.mx>, consultado el 17 de marzo de 2016.

lugar en el mercado de medicamentos para influenza aviar, el cuarto en el de la enfermedad de Newcastle, el segundo en el de bronquitis infecciosa y el primero en el de hepatitis. En el mercado porcícola, ocupa el segundo lugar en el de la enfermedad PRRS (síndrome respiratorio y reproductivo porcino), el segundo en el de la enfermedad de Glasser, el tercero en el de pleuroneumonía contagiosa porcina y el primer lugar en el de problemas causados por micotoxinas”.

Otro aspecto importante para el crecimiento de IASA es su participación en el concurso por el Premio Nacional de Tecnología e Innovación<sup>95</sup>, ya que significa capacitación para personal de la empresa en gestión de tecnología para ampliar sus procesos de innovación y competitividad. De por sí las cuatro empresas que conforman el grupo IDISA son firmas con base tecnológica, nacieron y han evolucionado haciendo investigación aplicada. Sin embargo, la participación en el premio ha sido importante porque a través de ello ampliaron sus estrategias para aumentar su base tecnológica. En 2010 era la primera ocasión que participaban y ganaron el premio<sup>96</sup>, desarrollando su propio modelo de gestión, que incluye vigilancia y alertas tecnológicas, creación de indicadores estratégicos y de operación, y definición de áreas de enfoque. Con ello han desarrollado una metodología que les permite conocer las necesidades de los clientes en forma más sistemática y con mayor certidumbre. De igual forma, han ampliado su colaboración con universidades y centros de investigación públicos, principalmente a través de su participación en los diversos fondos públicos para el fomento de la innovación tecnológica. De acuerdo con Villavicencio et al (2014), en 2004 IASA participó por primera ocasión en este tipo de fondos, obteniendo financiamiento por parte de la Secretaría de Economía y el CONACYT; con ello elaboraron un producto llamado Supracox que previene y controla parasitosis intestinales en aves. A su vez, esta es la primera patente de la empresa. La buena experiencia de su participación en los fondos para la innovación incentivó la colaboración con universidades; principalmente con el Centro de Investigaciones en Biotecnología Aplicada (CIBA) del Instituto Politécnico Nacional<sup>97</sup>. De igual modo, mantienen vínculos de este tipo con investigadores de la UNAM, el CINVESTAV, el propio Departamento de Agricultura de Estados Unidos y la Universidad de Illinois; así como con otras empresas del ramo: Laboratorios Silanes S.A. de C.V., Lapisa S.A. de C.V. y Boehringer Ingelheim. A continuación se encuentran los proyectos financiados por el Fondo de Innovación Tecnológica y del Programa de Estímulos a la Innovación.

---

95

<sup>96</sup> Fuente: [http://pnt.org.mx/wp-content/uploads/docs/XII/2010\\_IASA.pdf](http://pnt.org.mx/wp-content/uploads/docs/XII/2010_IASA.pdf), consultada el 19 de marzo de 2016

<sup>97</sup> Este centro se encuentra ubicado en Tlaxcala, muy cercano a la ciudad de Puebla.

Figura 65. Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación financiados por fondos públicos a IASA.

Año	Proyecto	Monto	Fondo
2004	Desarrollo de una alternativa biotecnológica efectiva para el control del parásito Eimeria en el pollo de engorda.	3,493,413.00	Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT
2005	Desarrollo de un proceso innovador para la extracción de lisozima y otros componentes de la clara de huevo, aplicable en la industria alimenticia y farmacéutica.	3,016,925.60	Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT
2007	Desarrollo biotecnológico de un producto innovador para el control de la mastitis a partir de la obtención de inmunoglobulinas de la yema de huevo.	3,109,867.27	Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT
2010	Desarrollo de un proceso biotecnológico para la generación y purificación de inmunoglobulinas contra el rotavirus humano, a partir de la yema de huevo.	2,727,939.00	Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT
2010	Desarrollo de productos biotecnológicos usando lisozima de clara de huevo como agente antimicrobiano para su comercialización en la industria alimenticia.	1,690,084.32	Programa de Estímulos a la Innovación. INNOVAPYME
2013	Identificación y clasificación de cepas del virus de Influenza Aviar en México, aplicando métodos de biología molecular para generar vacuna mejorada.	924,300.00	Programa de Estímulos a la Innovación. INNOTECH

Fuente: Elaboración propia con base en la información recibida a través del sistema INFOMEX en marzo 2014.

Además de estos proyectos, Villavicencio et al (2014), mencionan dos más financiados por el fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social SSA/IMSS/ISSSTE-CONACYT: 1) Elaboración de una vacuna recombinante polivalente contra variedades mexicanas del virus de influenza aviar, utilizando como vector el virus Newcastle. 2) Elaboración y evaluación de una vacuna contra la influenza A, en colaboración con Bioclon-Silanes en 2009.

Es importante señalar que IASA también recibió el Premio Nacional de Exportación como empresa exportadora mediana industrial en 2011. Éste es el máximo reconocimiento que otorga el Gobierno Federal a empresas y organizaciones que han destacado en sus actividades exportadoras<sup>98</sup>. En el caso de IASA son 20 países a los que exporta sus productos incluida América, Europa, Asia y África.

<sup>98</sup> Fuente: [http://www.iasa.com.mx/spa/publicaciones.php?t=0&f=%27%27&p=%27%27&\\_page\\_pg=1&id=21](http://www.iasa.com.mx/spa/publicaciones.php?t=0&f=%27%27&p=%27%27&_page_pg=1&id=21), consultada el 19 de marzo de 2016.



## NUTEK

En realidad, la empresa especializada en análisis integral y producción de aditivos para el control de micotoxinas es NUTEK, S.A. de C.V. En términos administrativos su áreas de enfoque son micotoxinas y bioseguridad. Se trata de la empresa más joven del grupo IDISA (15 años) y es la que desarrolla la más amplia gama de productos absorbentes de micotoxinas para atención a aves de postura, pollo de engorda y cerdos. En los laboratorios de NUTEK se trabaja con cepas de hongos: *Apergillus*, *Penicilium* y *Fusarium*. El trabajo de NUTEK tiene de fondo aplicaciones de química y biotecnología. En términos comerciales han desarrollado más de 22 productos entre absorbentes, detergente y desinfectantes. De manera, que la empresa ofrece un programa completo de limpieza y desinfección para el sector pecuario nacional e internacional (en Sudamérica, Norteamérica y Europa), con limpiadores ácidos, neutros, alcalinos, espumantes y no espumantes. Además de que han incursionado en el sector de la agricultura desarrollando fertilizantes orgánicos e inorgánicos, certificados por la empresa BIOagriCert S.R.L. de Reno, Italia<sup>99</sup>.

Nutek, al igual que las demás empresas del grupo IDISA, ha nacido y crecido dando apoyo primeramente a las empresas del grupo. Principalmente con IASA mantiene una colaboración constante, ya que desarrollan proyectos en conjunto, en los que NUTEK realiza los experimentos iniciales de sus productos e IASA los comercializa. Todo ello, apoyados en una intranet, con hojas de seguridad, fichas técnicas y acceso para el personal de las dos empresas. Ambas empresas tienen contacto directo con clientes en los que detectan necesidades específicas, pero IASA tiene más canales de ventas establecidos. Ya se mencionaba que en general, el grupo IDISA es el corporativo que ocupa el primer lugar en desarrollo de soluciones para el análisis y control de micotoxinas. Aunque sea una empresa joven, ZVB001, estima que el 90 por ciento de los productos que exporta IASA han sido desarrollados por Nutek, mientras el 10 por ciento son sus vacunas.

Cabe mencionar que las micotoxinas son metabolitos secundarios tóxicos producidos por hongos, como lo son *Apergillus*, *Penicilium* y *Fusarium*, los cuales pueden contaminar los alimentos de los animales y, siendo resistentes a la descomposición y destrucción durante la digestión, pueden causar problemas de salud humana al ser ingeridos en productos lácteos, la propia carne de pollo, cerdo o res, y diversos granos como maíz, trigo, cacahuates, frutos secos, semilla de algodón, entre otros. Entre los principales métodos para evitar la producción

---

<sup>99</sup> Fuente: <http://www.nutek.com.mx>, consultado el 17 de marzo de 2016.

de micotoxina se encuentran los aditivos basados en arcillas, como las bentonitas y zeolitas, y productos químicos basados en enzimas como la esterasa y apoxidasa, al igual que levaduras como la *Trichosporon mycotoxinovorans* o bacterias como la *Eubacterium BBSH 797*. Los tratamientos térmicos, separación física, lavado, molido, extracción con disolventes e irradiación, también se encuentran en el catálogo de soluciones<sup>100</sup>. Por su parte, Nutek ha dado prioridad para desarrollar aditivos antimicotoxinas basados en aluminosilicatos y en organoaluminosilicatos. Es decir, aditivos basados en arcillas y productos químicos.

Nutec también ha llevado a cabo proyectos de investigación en colaboración con universidades mexicanas, principalmente con el CIBA y la UNAM. Con el primero desarrollaron el proyecto financiado por FINNOVA, denominado “Desarrollo de un inóculo microbiológico para su aplicación en ensilados de maíz forrajero”. Al tener vinculación con IASA, el proyecto surge a iniciativa del CIBA, en realidad, es Sergio Trejo quien propone a ZVB001 el desarrollo de este proyecto y uno más relacionado con “decolizadores”. Estos proyectos se relacionan con una de las líneas de trabajo nuevas de Nutek, ya que en un tiempo se ocuparon de la producción de compostas para biorremediación de suelos a partir de desechos de las granjas pecuarias. La sugerencia de Trejo era trabajar con bacterias que pudieran ayudar a degradar colorantes que se ocupan en la producción de mezclilla. Cabe resaltar que es muy conocido este problema regionalmente. El área de Tehuacán tradicionalmente es manufacturera y los contaminantes de la industria de la mezclilla han llegado a afectar los campos agrícolas. En el caso del primer proyecto, desarrollado con Guillermo Cruz, se trataba de elaborar un inóculo que evite la formación de microorganismos dañinos para el animal, esto en la elaboración de ensilados de maíz (alimento empacado para ganado). En la elaboración de ensilados, los microorganismos naturales que se encuentran en el ambiente comienzan a trabajar y van transformando el maíz en nutrientes, pero la mezcla mixta entre microorganismos patógenos y no patógenos hace que el ensilado no tenga la calidad suficiente como para aportar los suficientes nutrientes al ganado. De ahí, el desarrollo de aditivos bactericos (inóculos) para contrarrestar a los patógenos, y aumentar la fibra del ensilado.

La colaboración con el CIBA fue importante porque ellos tienen mayor experiencia y equipamiento especial en biotecnología (equipo HPLC, material biológico, autoclaves, incubadoras). Por su parte el CIBA también se beneficia porque interactúa con Nutek, que es especialista en el desarrollo de micotoxinas, de manera que esta colaboración ha dado pauta para que alumnos del CIBA ocupen equipo de la empresa y desarrollen colaboraciones en los

---

<sup>100</sup> Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/Micotoxina>, consultada el 19 de marzo de 2016

proyectos de la misma. Ambos proyectos aún están en proceso; se tienen varios análisis pero su escalamiento a nivel industrial aún está pendiente. Una de las razones que menciona ZVB001 es que el potencial comercial tanto de los decolorizadores como del inóculo para ensilado de maíz, es menor a los demás productos desarrollados por Nutek. En el primero, no contaban con un canal comercial establecido, es decir, se trata de un producto que debían sacar casi de cero al mercado. En el segundo, aunque tenían ya canales establecidos de venta (porque trabajan con varios ganaderos en Torreón, Chihuahua, Jalisco, Edo. de México, entre otros, quienes ya usan inóculos en ensilados importados), la tasa de retorno de la inversión no era significativa. El trabajo de Nutek es amplio en lo que respecta al desarrollo de absorbente de micotoxinas, de manera que los ensilados es sólo uno de los alimentos para animales con los que trabajan, otros son alimentos procesados de origen vegetal, gluten, sorgo, entre otros, dependiendo de la especie (ave, cerdo o res) se trabaja con diversos alimentos acondicionando el absorbente de micotoxinas.

En el caso de los detergentes y desinfectantes, se trata de apoyar ambientes de bioseguridad en granjas y demás instalaciones de procesadoras de carne y otros alimentos (enlatados, embutidos, y productos lácteos). En términos simples, ZVB002 explica que, por ejemplo, en áreas de trabajo donde hay temperaturas bajo cero se requiere desarrollar un desinfectante que limpie pero no se congele; o bien en un área de desangrado, se requiere un detergente que degrade la sangre, no se trata de cualquier detergente.

En términos generales, la empresa desarrolla aproximadamente cuatro productos al año. Y también se ha apoyado de los fondos públicos para la innovación, a fin de ampliar sus investigaciones. Sin embargo, en términos de inversión para la investigación, aproximadamente el 80 por ciento del financiamiento ha sido de la propia empresa, y el 20 por ciento restante de la participación en fondos públicos. Las colaboraciones con las universidades han sido importantes para aprovechar estos fondos, así como para la utilización de equipamiento con el que no cuenta la empresa. Otro asunto importante que se atiende con la colaboración con universidades, es el hecho de que antes de comercializar un detergente o desinfectante, por ejemplo, se deben cumplir con las normas y requerimientos de organismos como la Secretaría de Salud y la SAGARPA, se debe contar con “la técnica”, es decir la descripción detallada de los ingredientes activos y la metodología para su tratamiento y elaboración. Las normas solicitan una tercería para registrar el producto, por lo que la empresa debe buscarla, y ya sea que tal tercería elabore “la técnica” o es la empresa quien debe proporcionársela al laboratorio que actúa como tercería; de manera que el laboratorio valide el producto y pueda entonces registrarse ante la SA o la SAGARPA. Al no contar con

todos los equipos para desarrollar tales pruebas de concentración de ingrediente activo se acude a las universidades.

Figura 66. Proyectos de Investigación, Desarrollo e Innovación financiados por fondos públicos a NUTEK.

Año	Proyecto	Monto	Fondo
2005	Generación de tierras y productos biológicos decolorizadores para el tratamiento de efluentes y aguas residuales de la industria textil.	1,424,000.00	Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT
2011	Desarrollo de un producto patentable de absorbente de Vomitoxina a partir de la síntesis de compuestos orgánicos específicos para lograr una efectividad de absorción de hasta el 80% en el sector pecuario.	2,918,000.00	Fondo de Innovación Tecnológica. Secretaría de Economía-CONACYT
2011	Desarrollo de un inóculo microbiológico para su aplicación en ensilados de maíz forrajero.	1,050,000.00	FINNOVA. Secretaría de Economía-CONACYT
2012	"Desarrollo de polímeros de impresión molecular (PIMs) como absorbentes de micotoxinas para uso en el sector pecuario".	2,647,361.20	Programa de Estímulos a la Innovación. INNOVAPYME

Fuente: Elaboración propia con base en la información recibida a través del sistema INFOMEX en marzo 2014.

La colaboración con las universidades nace de contactos ya establecidos por investigadores como ZVB001 y el propio Ing. Alejandro Romero. En los dos casos, la colaboración del CIBA y la UNAM, primero con IASA, se ha aprovechado para también trabajar con Nutek. Mientras que los contactos hechos por ZVB001 durante sus estudios de maestría y doctorado también prevalecen para colaborar actualmente. Es importante destacar, que esta empresa no había establecido colaboración ni contacto con la BUAP (la universidad más importante del Estado de Puebla) antes de la entrevista que realizamos. ZVB001 había comentado que la colaboración con la BUAP no se había realizado simplemente por que no conocían personalmente a ningún investigador. Posterior a la entrevista el propio Lara ha acudido al Centro Universitario de Vinculación de la BUAP.

Nutek también utiliza la participación en congresos nacionales e internacionales (IUPAC<sup>101</sup>, la sociedad latinoamericana de micotoxicología -por ejemplo-), ferias y la publicación de artículos de divulgación, como herramientas para dar un soporte técnico a sus productos. Evidentemente publican, incluso en su sitio web, los artículos de las investigaciones elaboradas por su personal durante sus estudios o desarrolladas en la misma empresa, así como aquellos que explican los beneficios y algunos aspectos técnicos de sus

<sup>101</sup> <http://www.iupac.org/>

productos, no el cómo elaborarlos. Asimismo, publican aspectos de experimentos con animales y pruebas de producto. Al igual que para IASA y las demás empresas del grupo, esta divulgación de la información técnica, especialmente en las ferias son uno de los medios más eficaces que utiliza IDISA para dar a conocer sus productos y servicios, estar en contacto con sus clientes, dar promoción comercial, observar a la competencia, y corroborar tendencias del mercado. En el caso de IASA participan por ejemplo en la Expo Internacional Avícola de Atlanta, y la Exposición Porcina Mundial en Iowa, EUA. Mientras que Nutek ha participado en los congresos de la Sociedad Latinoamericana de Micotoxicología, y la International Mycotoxin conference en Beijing, entre otros. Los clientes que han ganado en Sudamérica, Estados Unidos y Europa, en gran parte los han ganado participando en los congresos y divulgando sus artículos en los medios que utilizan tales clientes (revistas para productores pecuarios, sitios de Internet de comunidades agropecuarias como engormix.com, etc.).

En las perspectivas de la empresa se encuentra ampliar sus líneas de investigación sobre todo en biotecnología, con la instalación de líneas de producción de inóculos, y bacterias lácticas para ayudar al control de micotoxinas, una línea de síntesis química (orgánica) para obtención de compuestos también anti-micotoxinas; que de hecho ya han comenzado a trabajar en ella.

## Capítulo IV. Los casos de Bolonia

### 4.1 Bolonia

La ciudad de Bolonia es capital de la región de Emilia-Romagna<sup>102</sup> que comprende un territorio de 22,452.78 km<sup>2</sup>; 7.4 por ciento del territorio del país. Geográficamente se puede decir que es el centro del norte italiano, pues delimita y conecta a todas las regiones más desarrolladas del país: Lombardía, Toscana, Veneto, Marche, Liguria y Piemonte. En el desarrollo socioeconómico e industrial de Italia también debe mencionarse la región de Lazio y Campagna, pues la primera alberga a Roma, la capital, y la segunda es un punto vibrante de comercio internacional debido al puerto de Nápoles. El 47 por ciento de la región de Emilia-Romagna está constituido de planicie, el 27 por ciento de colinas, y el 25 de zonas montañosas (Unioncamere Emilia-Romagna, 2015)<sup>103</sup>.

La región toma su nombre de la Via Emilia, que se extiende por todo lo largo de la región y es la antigua avenida diplomática romana construida por Marco Emilio Lépido hacia el segundo siglo antes de Cristo. En el curso de los siglos alrededor de esta avenida se han desarrollado las ciudades más importantes de la región, con excepción de Ravenna, la antigua capital romana de occidente, y Ferrara antigua ciudad imperial de la familia Este y patrimonio de la UNESCO. Las provincias de Emilia Romagna son nueve: Bolonia, capital de la región, Parma, Modena, Reggio Emilia, Ravenna, Rimini, Ferrara, Forlì-Cesena, y Piacenza. En el orden en que se han presentado aquí, se concentra la mayor parte de la población regional, con municipios que superan los 100 mil habitantes. El municipio mayormente poblado es Bolonia con 386,663 residentes. Sin embargo, en toda la zona metropolitana que comprende Bolonia se calcula que residen más de un millón de habitantes. Mientras que en la región completa, los datos de 2015 indicaban 4,448,146 habitantes (7.3 por ciento del total nacional). La esperanza de vida es de 80.8 años, las tasas de natalidad resultan bajas (8.0) y las tasas de envejecimiento superiores a la media nacional (37.5 por ciento)<sup>104</sup>. La región de la Lombardía y Lazio son las que han registrado el mayor número de población extranjera (1,149,011 y

---

<sup>102</sup> La división política de Italia se organiza por regiones. Las cuales sirven administrativamente para gobernar los territorios que comprenden al país; representan el equivalente a los estados en México.

<sup>103</sup> La descripción que se presenta sobre Bolonia y Emilia Romagna se basa en la información recabada por la unión de cámaras de comercio de la región en 2015 (Unioncamere Emilia-Romagna, 2015).

<sup>104</sup> En comparación con Puebla la tasa de natalidad en Bolonia son bajas. Tan solo en 2014 Puebla era el segundo estado con mayor tasa de natalidad con 20.9 nacimientos por cada mil habitantes; dos puntos por arriba de la media nacional (18.7). Por otra parte, la tasa de envejecimiento que se muestra está calculada en relación a la población superior a los 64 años y la población en edad activa de 15 a 64 años.

645,159 habitantes respectivamente), pero en la región de Emilia Romagna se presenta la mayor incidencia sobre la población residente; los datos de 2015 indican una población extranjera de 533,479 habitantes.

La temperatura climática de la región es bastante variable durante el año. Excepto por las áreas costeras donde se tienen temperaturas similares al mar mediterráneo correspondientes a Ferrara, Ravenna, Forlì-Cesena y Rimini, en las provincias de la Llanura Padana, incluida Bolonia, los veranos son altamente sofocantes (más de 35° C), mientras la nieve es frecuente durante el invierno. Se alcanzan temperaturas alrededor de cero (en ocasiones de -20° C) con días llenos de niebla y nieve que no se disuelve ni siquiera en las horas centrales del día<sup>105</sup>.

El reporte sobre la economía de la región, de la unión de cámaras de Emilia Romagna (Unioncamere Emilia-Romagna, 2015), asegura que la presencia de las numerosas facultades universitarias, institutos de investigación y laboratorios especializados garantizan un importante apoyo a las empresas y alimenta al mercado del empleo con trabajadores con alto nivel de calificación. En el ciclo escolar de 2013-2014, en la región existían 81,384 inscritos en el primer ciclo de la universidad, denominado en Italia, *laurea* de primer nivel<sup>106</sup>. 25,286 inscritos en cursos de maestría (de dos años) y 28,970 inscritos en cursos de especialidad. La tasa de cobertura corresponde a la región al 35.5 por ciento<sup>107</sup> (un poco inferior a la media nacional de 38.0 por ciento). Los datos del ciclo escolar 2014-2015, mostraban la mayor parte de los inscritos de la siguiente forma: Bologna (76,890 estudiantes), Parma (23,207), Ferrara (15,500), Módena y Reggio Emilia (19,673).

La fuerza de trabajo en Emilia Romagna se ocupa mayormente en el sector de los servicios (1,224,000 trabajadores), que representa al 63,8 por ciento del total de empleo en la región. Las actividades industriales, exceptuando al sector de la construcción, emplean a cerca de 522,000 trabajadores, equivalente al 27,2 por ciento del empleo (la media nacional es del 20.1 por ciento.). Mientras que la industria de la construcción emplea a cerca de 107,000 trabajadores (5.6 por ciento del total). El nivel de ocupación es de los más altos en el país, 66.7 por ciento, con respecto a la población entre 15 y 64 años (la media nacional es de 65.6 por ciento). Sin embargo, con respecto a los sistemas mayormente articulados (conformados a especie de clusters), se encuentra el sistema de Carpi, Mirandola y Reggio Emilia, todos

---

<sup>105</sup> Las temperaturas habituales de Puebla durante prácticamente la mayor parte del año, corresponden al verano en Bolonia: la media máxima es de 25-28° C y mínimas de 10-15° C.

<sup>106</sup> Equivalente al nivel de licenciatura en México.

<sup>107</sup> Corresponde a los inscritos en cualquiera de las provincias de Emilia Romagna, incluyendo la Universidad de Bologna que concentra a la mayor población estudiantil, por 100 jóvenes de 19-25 años residentes en la misma región.

clasificados dentro del sistema *made in Italy*. El primero se extiende en la ciudad de Carpi y varios municipios de Módena y Soliera. Se especializa en la producción de textiles y prendas de vestir, y registra la mayor tasa de ocupación (53.1 por ciento). El segundo, involucra igualmente varios municipios de la provincia de Módena, se especializa en la fabricación de maquinas, y tiene la segunda tasa de ocupación en la región (52,7 por ciento). El tercer sistema en términos de tasa de ocupación (52.5 por ciento) reagrupa a 19 municipios de Reggio Emilia y también se especializa en la producción de maquinas.

En general, la producción regional de Emilia Romagna es de las más altas a nivel nacional. Tan solo en 2014, el producto interno bruto por habitante ascendía a los 32,486.87 euros (cuarto lugar nacional después del Valle d'Aosta, Trentino Alto Adige y la Lombardía). Índice más alto que la media nacional correspondiente a los 26,548.49 euros. También en 2014, en Emilia Romagna se había producido el 9.0 por ciento del PIB nacional, con una población equivalente al 7.3 por ciento de toda Italia.

Un aspecto de Emilia Romagna que contrasta de manera evidente con Puebla son los niveles de pobreza y marginación. Los cuales, si bien existen, son de menor proporción. De acuerdo con los datos de 2014, las familias pobres de Emilia Romagna representaban el 4.2 por ciento del total de las familias residentes, mientras que la media nacional es de 10.3 por ciento. Solo dos regiones registran índices menores de pobreza contenida en el país, la Lombardía (4.0 por ciento) y el Trentino Alto-Adige (3.8 por ciento). En lo que respecta a la población en grave estado de privación material corresponde al 7.3 de la población regional, delante de la media nacional (11.6 por ciento).

Un asunto no menos importante, que marca gran diferencia con el contexto mexicano, es el tratamiento de los desechos orgánicos e inorgánicos urbanos que existe en Italia. La recolección diferenciada de residuos, como se denomina en Italia, recupera proporciones muy importantes. En Emilia Romagna, durante 2014 se habían recuperado más de un millón y medio de toneladas, lo que representa el 55.2 por ciento de la producción de residuos urbanos respecto al 24.7 por ciento correspondiente al 2001 (se estima que alrededor del país se recupera el 45.2 por ciento). Específicamente, en el tratamiento de residuos, según los datos de 2014, se encontraban en operación 22 plantas de tratamiento (279 en el país), que habían tratado 663,554 toneladas de residuos (95 por ciento de la cantidad autorizada). Mientras que existen siete plantas activas de tratamiento mecánico-biológico, que han tratado más de 527,000 toneladas (49 por ciento de las autorizadas). Las plantas de digestión anaeróbica de residuos son 3 (de las 29 activas en el país); en 2014 han tratado 191,204 toneladas (60 por



ciento de las autorizadas). También en 2014 han operado 8 incineradores, para un tratamiento aproximado de 945,000 toneladas de residuos (650,000 de procedencia urbana).

## **4.2 Procesos de industrialización**

Hay quien afirma que la región de Emilia Romagna alcanzó su etapa de mayor riqueza después de la segunda guerra mundial, cuando los distritos industriales de la zona alcanzaron su “madurez”. Tradicionalmente, la economía de la región estaba basada fuertemente en la agricultura; pero la industria ligada a los textiles, la producción de máquinas y motores, vino a cambiar la estructura económica de la zona. En efecto, el sistema regional tuvo un desarrollo inicial basado en la explotación de recursos locales hasta la aparición de la manufactura (Bardi & Bertini, 2005).

Los distritos industriales de Emilia Romagna tienen antecedentes en la producción textil que comenzó en Bolonia hacia el siglo XVI. Poni (1990), afirma que en tal época la ciudad de Bolonia contaba con la más alta concentración de población urbana en Europa, con más de 60 mil habitantes (después de Lyon) si se excluyen a las capitales de los Estados. Un alto porcentaje de tal población vivía de la producción de seda. El desarrollo de esta industria se dio en medio de innovaciones tecnológicas importantes, pues la mecanización fue una característica muy particular del sistema de fábrica que surgió en la región; y a su vez significó un avance de la naciente industria boloñesa con anticipación a la revolución industrial. Una máquina emblemática fue el molino de seda, que se convirtió en la innovación tecnológica de más alto nivel en el contexto europeo, hasta prácticamente la mitad del siglo XVIII. Bologna logró tener el monopolio de la tecnología casi absoluto hasta aproximadamente los últimos años del siglo XVI, y después aunque no completamente, por unos setenta años más. En tanto, la importancia de la industria textil que nace en Bologna en tal época representaba una importante fuente de trabajo para la población, no solo masculina sino también femenina. La desocupación femenina era percibida como un fenómeno negativo en la época, porque obligaba a las mujeres a prostituirse por el hambre lo cual traía problemas de orden civil y social para la ciudad. Asimismo, la producción era tal que sólo un pequeño porcentaje de velos de seda era vendido en el mercado de la ciudad para el consumo local; la mayor parte de la producción era comercializada en bastas zonas como el área central italiana, así como Alemania, Francia, Inglaterra, Oriente, y otras. Después de una época de alta bonanza para Bolonia viene un periodo de desindustrialización, pues toman mayor fuerza las mejoras de los molinos de seda en otras regiones: Piemonte y Lyon (Francia), las cuales

toman la rienda de la industria de la seda y la moda de Europa. Pero tal proceso de de-industrialización coincide con el inicio de la revolución industrial, lo cual no deja de ser desconcertante. Sin embargo el hecho de que, con el molino de seda haya nacido en Bolonia la primera forma del sistema de fábrica a finales del siglo XVI, también resulta desconcertante.

Existen por supuesto en épocas posteriores a la era de seda en Bolonia, otro tipo de industrias que tienen aún hoy influencia en los actuales distritos industriales de Emilia Romagna. Se trata de la industria mecánica, la cual ha jugado un papel central en la industrialización y desarrollo económico contemporáneo de Emilia Romagna. Al inicio del siglo XX la agricultura era el principal sector productivo de la región, mientras la manufactura representaba una actividad aún muy limitada. De acuerdo con el estudio de Serafini (2011<sup>108</sup>), en 1903 los talleres mecánicos de la región representaban sólo el 3 por ciento de las compañías industriales, y empleaban sólo al 3.7 por ciento. Al contrario, la cadena de suministro de alimentos ligada fuertemente con la agricultura en tales rubros alcanzaba el 44 y 8.7 por ciento, respectivamente. Sin embargo, durante las dos primeras décadas del mismo siglo la industria mecánica consolidó las características que había desarrollado en prácticamente la mitad del siglo anterior, a partir de las demandas emanadas de la agricultura, la milicia y el ferrocarril público (que a su vez fueron los elementos necesarios para fortalecer el naciente Reino Italiano hacia 1861). De manera que a inicios del siglo XX, la industria mecánica se desarrolló a partir de los talleres instalados en la Vía Emilia, que va de Bologna a Piacenza, a través de Parma, Reggio Emilia y Módena. En la época del fascismo, hacia principios de la década de 1920 hasta 1945, la industria mecánica no era aún el sector económico más importante, pero había mostrado un desarrollo importante. La industria mecánica creció finalmente, después de la segunda guerra mundial, gracias a la intervención del Estado y el interés mostrado por las grandes compañías nacionales que comenzaron a realizar inversiones en la industria regional. De manera que sucedieron dos cambios trascendentales: el surgimiento de nuevas compañías y la conformación de clusters o distritos especializados que comenzaron a desarrollarse.

Con la finalización de la segunda guerra mundial, las grandes compañías que habían crecido gracias a las órdenes militares tuvieron que reorganizar sus procesos productivos y despedir un gran número de empleados. La salida de los trabajadores de las grandes compañías dio lugar a la difusión de conocimiento técnico en la región; pues gran parte de

---

<sup>108</sup> Tesis consultada con el permiso del autor: Serafini, M., (2011). Technological Innovation in Emilia-Romagna: Knowledge, Practice, Strategies. University of Bologna. PhD Thesis.

ellos establecieron pequeñas firmas especializadas en atender la demanda de las grandes. De tal forma, que una cadena importante de abastecimiento tecnológico comenzó a gestarse, lo que representó un importante paso hacia la creación de los distritos industriales locales. Hacia principios de la década de 1950 la producción mecánica se había convertido en el sistema industrial más importante de Emilia Romagna. Posteriormente, durante la segunda mitad del siglo XX, la producción mecánica, relacionada con la manufactura de motores, máquinas de packaging, maquinaria agrícola, bombas, máquinas de embalaje, entre muchas otras, alcanzaron su mayor crecimiento y especialización. Siendo los distritos que hasta nuestro días prevalecen como la industria especializada de la región.

### **4.3 Estructura del sistema de Ciencia y Tecnología y Educación Superior**

Bolonia es una de las ciudades más antiguas del mundo, y alberga igualmente a la universidad que popularmente se considera la más antigua del mundo occidental. Tiene orígenes hacia 1088 y es considerada de muchas formas el *Alma Mater* de Italia. La riqueza cultural, así como el acervo científico, tecnológico y humanístico que existen en Bolonia representan uno de los patrimonios más preciados que tiene la humanidad. Incluso existen referencias que indican que el propio idioma castellano fue codificado en Bolonia hacia 1492. Por mencionar sólo algunos ejemplos, en Bolonia se conservan manuscritos de científicos italianos, especialmente originarios de Bolonia, como Augusto Righi (físico) Federico Enriques (matemático), Giacomo Ciamician (químico), Luigi Galvani (médico, físico y biólogo), así como una lista amplia de personajes que transformaron el pensamiento científico del mundo. En el área tecnológica, Bolonia fue la primer casa de Guglielmo Marconi, gran precursor de aplicaciones tecnológicas del electromagnetismo e inventor del telégrafo inalámbrico. En tiempos modernos, la Universidad de Bolonia fue casa de Umberto Eco, precursor célebre de la semiótica, fundador y director de la Escuela Superior de Estudios Humanísticos. Por otra parte, el llamado proceso de Bolonia, ha tenido influencia decisiva para incrementar la movilidad e integración estudiantil de las universidades al interior de la comunidad europea y el resto del mundo.

En tiempos modernos, esta universidad es una de las más grandes universidades públicas de Italia. Es un centro de estudios que congrega la mayor matrícula de la región y la más amplia diversidad de estudiantes extranjeros; ya se han señalado los datos de su matrícula. Sin embargo, en los datos recabados por Speziale (2012), indican que en 2013 la matrícula general ascendía a los 83,000 estudiantes, 2,942 profesores, 3,147 miembros de la

planta administrativa, 2,073 profesores por contrato, y 2,000 trabajadores dedicados exclusivamente a la investigación<sup>109</sup>. La estructura de la universidad se compone por 23 facultades, 70 departamentos, 27 centros interdepartamentales, 220 cursos de licenciatura, 34 cursos internacionales, 70 maestrías, 42 cursos de especialización, 51 programas de doctorado y 52 cursos de entrenamiento vocacional. Desde el año 2000, la universidad adoptó una estructura de multi-campus para ampliar tanto la oferta educativa como las actividades de investigación. Actualmente y con cierto grado de autonomía se tienen cuatro campus: Cesena, Forlì, Ravenna y Rimini, además de una sede en Buenos Aires, que ofrece programas interdisciplinarios. Asimismo, la estructura de departamentos se adoptó en la universidad (adicional a la de facultades) con la intención de vincular de forma más estrecha las actividades de docencia e investigación. Formalmente, en el año 2011 el Consejo de la Universidad aprobó la reforma estructural que llevó a la fusión de departamentos (de 70 a 33), así como el fin de las facultades, el nacimiento de algunas escuelas y otros cambios organizacionales.

En el plano de la investigación científica y tecnológica, se asegura que Emilia Romagna es una región donde una buena parte de las personas que se dedican a estas actividades se encuentran fuera de la academia. Los datos de la Unión de Cámaras de Comercio, correspondientes a 2013, mostraban que el 62.7 por ciento de los investigadores trabajaban en el ámbito de la empresa (la media nacional corresponde al 31.2 por ciento). En general, la región alberga a 29,543 personas dedicadas a labores de investigación de tiempo completo. Se trata de un incremento notable en comparación con los años noventas, donde los datos de 1994 indicaban que existían un poco más de 6,500 investigadores. Se debe señalar que en la región de Emilia Romagna se destina en Investigación y Desarrollo más de 2 mil millones de euros, equivalentes al 1.64 por ciento del PIB (la media nacional corresponde al 1.31 por ciento). Existe también un incremento en la inversión, aunque resulte modesto, con respecto de 1994 (0.90 por ciento). La inversión exclusivamente realizada por las empresas contribuye con más de 1 mil millones de euros (66.6 por ciento), contra el 28.3 por ciento de la media nacional (Unioncamere Emilia-Romagna, 2015).

Adicional a ello, en materia de fomento a la innovación y la transferencia tecnológica, es importante mencionar que en 2001 se firmó un acuerdo regional, entre las principales instituciones que componen el sistema de ciencia y tecnología en la región de Emilia Romagna. Compuesto por las universidades de Bolonia, Módena y Reggio Emilia, Ferrara, y

---

<sup>109</sup> Aunque existan categorías diferenciadas para profesores e investigadores, en general, a diferencia del caso poblano, en Bolonia es evidente una menor diferenciación entre docencia e investigación. En gran parte debido a que la proporción de docentes con grado de doctor es mayor.

Parma, así como los centros de investigación regionales dependientes del Consejo Nacional de Investigación (CNR<sup>110</sup>) y de la Agencia Nacional de Energía, y Medio Ambiente (ENEA<sup>111</sup>). Mediante el acuerdo firmado entre estas instituciones, en conjunto con el gobierno de la región de Emilia Romagna, y la agencia ERVET S.p.A<sup>112</sup>, se tuvo como propósito participar conjuntamente en la creación del consorcio ASTER<sup>113</sup> a fin de promover actividades compartidas dirigidas a tres rubros: 1) la creación y apoyo de una red regional de transferencia de tecnología; 2) la promoción de proyectos de investigación y contratos, así como transferencia de tecnología, que sean del interés de la región de Emilia Romagna, desarrollados en coordinación entre las universidades y centros de investigación de la región; y 3) el apoyo de acciones para valorizar los resultados de investigación, incluyendo la creación de empresas (Serafini, 2010).

El consorcio ASTER actualmente es muy activo en la difusión de información sobre innovación tecnológica para las empresas, centros de investigación y universidades, así como el financiamiento directo a proyectos. Involucra, además de las instituciones mencionadas, al Instituto Nacional de Física Nuclear sección Bolonia, así como al sistema de cámaras de comercio regionales. A partir de la creación del consorcio ASTER y durante los años siguientes, al interior de la Universidad de Bolonia se creó una estructura de centros (al interior de las instalaciones de unidades académicas ya establecidas), con la intención de llevar a la práctica actividades de investigación industrial en diversas áreas. Nos referimos a los denominados Centros Interdepartamentales de Investigación Industrial (CIRI), que del mismo modo nacen en el marco del proyecto Tecnópolis, siendo un propósito adicional a las políticas regionales de los años 2000. En el caso específico de los CIRI, el proyecto es parte del plan operativo de la región, financiado por el Fondo Europeo de Desarrollo Regional 2007-2013, como consolidación de la red regional de alta tecnología<sup>114</sup>. Hasta 2014 se habían conformado y tenían funcionamiento CIRI en áreas de agroalimentación, energía y ambiente. Además, se tenía en perspectiva el funcionamiento de otros centros en las áreas de construcción, tecnología de la información, comunicación y diseño, mecánica y materiales, y ciencias de la vida.

En general, la región de Emilia Romagna es una de las zonas del país donde más se fomenta la innovación tecnológica. Los datos de patentes de 2014 mostraban 321 solicitudes

---

<sup>110</sup> Ver: <http://www.bo.cnr.it>

<sup>111</sup> Ver: <http://www.bologna.enea.it>

<sup>112</sup> Agencia sin fines de lucro creada para apoyar al gobierno de la región en el fomento al desarrollo económico regional.

<sup>113</sup> Ver: <http://www.aster.it>

<sup>114</sup> Ver a manera de ejemplo el sitio web del CIRI en el sector de la agroalimentación: <http://www.agroalimentare.unibo.it>

de patente de invención por millón de habitantes (la media nacional es de 154)<sup>115</sup>. Mientras, los datos específicos de las patentes solicitadas en la European Patent Office (EPO) mostraban en el mismo año 143 patentes por millón de habitantes (mientras la media nacional es de 59). En general, durante 2014 el 15 por ciento de las solicitudes de patente de invención del país provenía de Emilia Romagna, entretanto en los demás ámbitos (modelos de utilidad, ornamentales, etc.) correspondía al 10 por ciento. Mientras que en las patentes publicadas por la EPO, en 2013 las patentes provenientes de la región representaban el 15 por ciento (Unioncamere Emilia-Romagna, 2015).

En el caso específico de la Universidad de Bolonia, en 2004 fue creada la Oficina de Transferencia de Conocimiento. Es una unidad que se instala al interior del departamento administrativo denominado Área de Investigación y Transferencia Tecnológica. La oficina inicia muy enfocada en la gestión de patentes, y a la par del inicio de su gestión se incrementa el número de solicitudes de patente de los investigadores de la UNIBO; pasando de una o dos durante los ochentas y noventas, a registrarse 14 solicitudes en 2001, y posteriormente 10.8 solicitudes en promedio hasta 2013. Además de la gestión de patentes, la oficina ofrece apoyo en la gestión de los contratos de investigación colaborativa o comisionada, que se establecen en la universidad, sobre todo en la gestión de las cláusulas referentes a la propiedad intelectual, cuando el patrocinador es una empresa o en los proyectos financiados por fondos de la comunidad europea.

Figura 67. Solicitudes de patente de la UNIBO por área, periodo 1970-2013.	
Área industrial (IPC <sup>116</sup> )	Solicitudes de Patente
14. Tecnologías para la agricultura y la alimentación (agri-food A)	8
15. Tecnologías para la salud y otras necesidades humanas	49
16. Higiene	1
17. Automóviles y aeronáutica	18
18. Biotecnología (excepto agri-food)	12
19. Biotecnología (agri-food B)	5
20. Otros compuestos químicos (fármacos, polímeros, química orgánica, etc.).	23
21. Textiles y papel	1
22. Arquitectura y construcción	1
23. Ingeniería mecánica, energía y medio ambiente	5
24. Electrónica y telecomunicaciones	32
25. Electrónica (agri-food C)	3
26. Electricidad	11
Total	169
Fuente: elaboración propia con base en información del sitio web patiris. Consultado el 24 de Enero de 2014; haciendo una búsqueda simple: Ricerca/Applicant: Università degli Studi di BOLOGNA <a href="http://patiris.uibm.gov.it/home">http://patiris.uibm.gov.it/home</a>	

<sup>115</sup> La solicitud de patentes a nivel nacional se presenta en la Oficina Italiana de Patentes y Marcas del Ministerio de Desarrollo Económico, ver: <http://www.uibm.gov.it>

<sup>116</sup> International Patent Classification

Durante sus inicios, la oficina tenía mucho interés en gestionar patentes para ofrecerlas en licencia. Sin embargo, a finales de los años 2000 el interés cambió para darle prioridad a la creación de *spin-offs*. El primer reglamento de la universidad sobre la creación de *spin-off* se implementa en la universidad en el año 2001. A pesar de ello, la primer versión permite una fase de experimentación que no resulta muy gratificante. En el año 2012, se actualiza la mayor parte de la reglamentación referente a valorizar los resultados de la investigación científico-tecnológica de la universidad, en rubros tales como los modelos de contrato y las cláusulas estándar de consultoría e investigación comisionada, y la creación de *spin-offs* (sobre todo provenientes de proyectos de jóvenes investigadores). Esto ha permitido entre otras cosas, que sea más accesible el depósito de patentes en co-titularidad con empresas, cuando el resultado emana de un proyecto de investigación colaborativa. En tal sentido, se reconoce la propiedad intelectual (que aporta en gran medida el investigador de la universidad) y se garantiza la explotación comercial de la invención por la empresa que ha patrocinado el proyecto.

Es difícil hacer una valoración de los resultados que estas medidas han provocado, pues el acceso a la información del número de contratos gestionados o el número de *spin-off* creadas también es complicado de conseguir. Sin embargo, el reporte de la red para la valorización de la investigación universitario (Netval), indicaba que a nivel nacional durante 2011 se tenía una media de 1.3 acuerdos de licencia y/o opción por cada universidad italiana (73.5 por ciento realizadas con empresas italianas, 17.6 por ciento con empresas de países europeos y 8.8 por ciento con países extra-europeos). En cuanto a licencias y/o opciones activas en el portafolio, el número resulta mayor: 292 acuerdos, que representan 5.9 contratos en portafolio por universidad (Bax et al, 2013)<sup>117</sup>.

Con relación a la creación de *spin-offs*, el reporte Netval informa que el 87.1 por ciento (1,082 empresas *spin-off*) activas en el territorio nacional se han constituido en el último decenio. Aquí se incluyen *spin-off* emanadas de las universidades (87.3 por ciento), así como de centros públicos de investigación (12.7 por ciento). Al finales de 2012, las empresas activas se localizaban sobre todo en la Lombardía (11.4 por ciento), Toscana (10.9), Emilia Romagna (10.8), Piemonte (9.4), Lazio (7.7) y Puglia (7.4). En cuanto al sector de operación, destacan las dedicadas a las tecnologías de información y comunicación (ICT), más de un tercio se ubican en tal sector (27.8 por ciento), life science (16.3), energía y medio ambiente (15.9), servicios de innovación (14.7), biomedicina (8.4), electrónica (7.5), nanotecnología y

---

<sup>117</sup> El reporte de Netval informa la participación de 61 universidades generalistas, y 6 universidades en el ámbito científico-tecnológico.

nuevos materiales (3.5) automatización industrial (3.4), conservación de bienes culturales (1.8), y sector aeroespacial (0.6). Entre las universidades de donde más han surgido las *spin-offs* destaca la universidad de Turín (5.7 por ciento), la Universidad de Padua (4), la Universidad de Bolonia (3.7), la Universidad de Udine y Pisa (3), el Politécnico de Milán, la Universidad Politécnica de las Marcas, La Escuela Superior de Santa Ana de Pisa, la Universidad de Perugia y la Universidad de Roma “Tor Vergata” (2.9 por ciento). Sin embargo, en el conteo general de *spin-offs* resulta el 8.9 por ciento de empresas que emanan del Consejo Nacional de Investigación (CNR) pero éste comprende a su vez un número importante de centros de investigación distribuidos al interior del país (Bax et al, 2013).

Por otra parte, en el ámbito nacional las primeras oficinas de transferencia tecnológica son creadas durante los noventas, hay un incremento importante entre el 2001 y el 2008, aunque la mayor parte de éstas se instalan entre el 2004 y 2006. Casi todas como resultado de políticas regionales para incentivar los servicios de transferencia tecnológica con coordinación de los gobiernos de la regiones. Actualmente casi todas las universidades y entes públicos de investigación disponen de una estructura formalizada de Transferencia Tecnológica (Bax et al, 2013).

#### **4.4 Políticas públicas sobre ciencia, tecnología e innovación.**

Si bien la región de Emilia Romagna actualmente es una de las regiones con mayor desarrollo industrial del país, debe señalarse que en el contexto nacional, Italia se ha caracterizado por tener una inversión limitada en actividades de investigación científica e innovación. Aunque paradójicamente hay quien señala que al mismo tiempo su crecimiento económico ha sido destacado (Nuvolari y Vasta, 2015). Italia es una nación que, en comparación con otras economías, tiene limitaciones en dotación de energía y recursos naturales. Sin embargo, algunas estimaciones indican que a nivel nacional, el PIB per cápita creció con un promedio de 1.89 por ciento durante el periodo de 1870-2008; cuando en economías como las de Alemania y Francia el promedio alcanzó 1.77 y 1.8 respectivamente. Se debe tomar en cuenta que en tales países se presume existen mayores capacidades de adaptación del conocimiento científico y tecnológico ligado al desarrollo económico.

Novolari y Vasta (2015), han argumentado que Italia parece ser un caso donde se percibe un débil sistema de innovación nacional, y que esta debilidad ha forzado al país a adoptar rutas peculiares hacia el crecimiento económico moderno, caracterizadas por salarios bajos y un uso intenso de mano de obra no calificada (o poco sofisticada).



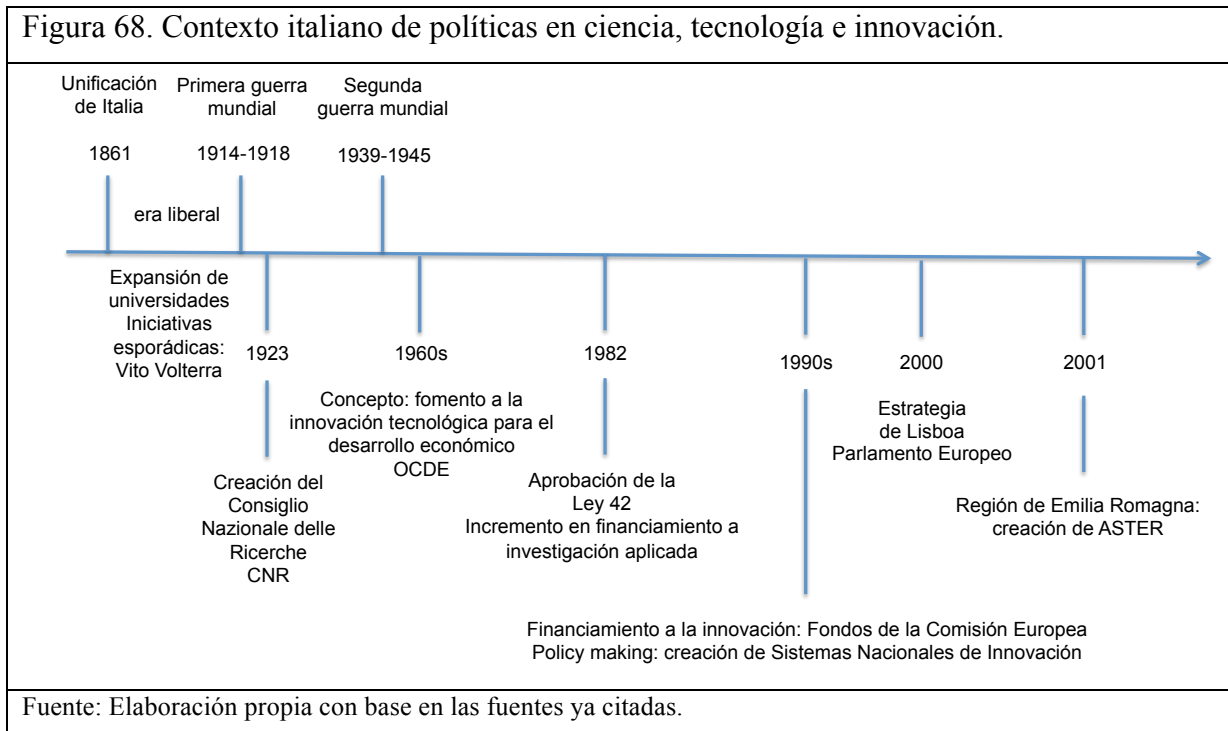
Las conclusiones de Nuvolari y Vasta (2015) indican que la economía italiana ha sido peculiar, caracterizada por pocas inversiones tanto en materia de investigación y desarrollo, como en el propio desarrollo del sistema educativo nacional. En comparación con los países líderes, tiene limitadas capacidades de generar innovaciones y ser competitivo en las industrias basadas en la alta tecnología; pero esta debilidad estructural tiene raíces históricas profundas.

Desde la unificación de Italia en 1861 hasta principios de la primera guerra mundial, realmente no existió ninguna integración del sistema de investigación científica con aplicaciones industriales. El crecimiento de investigación científica en el país se dio a la par de la expansión del sistema de universidades, e iniciativas esporádicas de personajes como Vito Volterra, renombrado matemático y físico italiano<sup>118</sup>. Después de la primera guerra mundial sucede una reestructuración del sistema de investigación científica que da pie a la creación del Consejo Nacional de Investigación (CNR) en 1923. Es una de las principales reformas institucionales que el régimen fascista adoptó con el propósito de mejorar el desempeño del país en materia de ciencia, e incrementar sus conexiones con la industria, especialmente en la búsqueda de incrementar las aplicaciones militares. Sin embargo, hay una coincidencia en las conclusiones de los historiadores en considerar que la reforma se llevó a cabo con recursos realmente limitados, y bajo un clima de propagandismo en lugar del soporte a proyectos de investigación de gran envergadura. De igual modo, se señala que el periodo de 1950 a 1963 representó para el CNR una experiencia llena de mucha tensión, pues se tenía una excesiva fragmentación de recursos y una inhabilidad política para concentrarse en proyectos realmente trascendentes. Ejemplo de ello es el tibio soporte que se dio a la investigación relacionada con los sistemas de energía nuclear. Después de la crisis petrolera (durante los setentas), el sistema italiano se caracterizó por falta de recursos y un panorama de confusión relacionada a la interacción del CNR con las universidades italianas (Novolari y Vasta, 2015).

---

<sup>118</sup> Nuvolari y Vasta (2015) citan a Maiocchi (1980) para mostrar que durante la era liberal en Italia eran comunes declaraciones al seno del parlamento parecidas a esta “En Italia debemos trabajar más y estudiar menos. Debemos primero convertirnos en una nación rica y poderosa y después llegaremos a ser una nación culta y de mente en la ciencia”. Se considera que la era de la liberación en Italia se da entre el periodo de 1861 a 1913.

Figura 68. Contexto italiano de políticas en ciencia, tecnología e innovación.



Fuente: Elaboración propia con base en las fuentes ya citadas.

Novolari y Vasta (2015), señalan que la idea de la creación de sistemas nacionales de innovación cobró fuerza en el diseño de políticas a nivel nacional y supranacional durante los años noventas, especialmente en instituciones como la OCDE y la Comisión Europea. Sin embargo, Godin (2009) ya había argumentado que la idea comenzó a promoverse como el modelo de la OCDE desde finales de la segunda guerra mundial (durante los primeros años de la guerra fría). Aunque la creación de sistemas nacionales de innovación no fuese explícitamente el objetivo de las políticas de desarrollo económico durante los sesentas, al interior de los países de la OCDE si cobró fuerza la idea de que el fomento de la innovación tecnológica está ligada al crecimiento económico, y por tanto debía ser el eje de desarrollo. De acuerdo con Godin, este modelo a su vez influenció la aparición de la literatura que surgió posteriormente referida a los sistemas nacionales de innovación.

Con más o menos matices es el modelo que prevalece hasta nuestros días en el diseño de políticas de desarrollo económico. La figura 69 muestra las tendencias identificadas por la propia OCDE en el diseño de políticas nacionales para la creación de *clusters* y sistemas regionales de innovación. La mayor parte de los componentes describen la “evolución” de la

perspectiva tradicional hacia un mayor énfasis en la integración comercial, colaboración y crecimiento.

Figura 69. Tendencias de política en apoyo de *clusters* y sistemas regionales de innovación.

Área	Enfoque tradicional	Nuevo enfoque
Política regional	Redistribución, de guiar a reducir regiones.	Creación de regiones competitivas a través de la vinculación de los actores locales y sus activos.
Ciencia y Tecnología	Financiamiento individual, proyectos de un solo sector en investigación básica.	Financiamiento a investigación colaborativa, que involucre redes con la industria y vínculos con la comercialización.
Educación Superior	Atención en el papel de las IES hacia la docencia y la investigación básica.	Promoción de vínculos más estrechos con la industria y la investigación colaborativa; mayor especialización de las IES.
Industria	Subsidio a empresas; distinción a campeones nacionales.	Apoyo a necesidades comunes de grupos de empresas y absorción de tecnología (especialmente a PYMES; promoción de mayor inversión extranjera directa (IED).

Fuente: OECD (2007), *Competitive Regional Clusters: National Policy Approches*, OECD Publishing, Paris with modifications.

Aun con lo anteriormente expuesto, y como hemos visto, la adopción del modelo ha seguido diversas rutas al interior de los países de la OCDE. Italia, ya se ha mencionado, tuvo una adopción “tardía” de tales propósitos, y la influencia del CNR en el desarrollo científico y tecnológico nacional no resultó tan trascendental durante los años cincuentas, sesentas y setentas<sup>119</sup>. Es importante señalar que, posterior a la aprobación de la Ley 46 en 1982, se da una reorientación de la política pública hacia la ciencia y la tecnología, dando prioridad al incremento en el gasto público, dirigido a la investigación aplicada y la vinculación con la industria (Orsenigo, 1989). Posteriormente, el diseño de políticas dirigidas hacia la construcción intencional de sistemas de innovación nacional cobró popularidad durante los noventas, y se intensificó con la creación de los fondos de la Comisión Europea en tal época, y más recientemente con la estrategia de Lisboa a inicios de los años 2000, dirigida a

<sup>119</sup> Aunque resulte un tanto obvio, debe recordarse que posterior a la segunda guerra mundial, Italia sufrió estragos en la reorganización gubernamental como consecuencia de haber sido parte del bloque derrotado; el impulso a la investigación científica y la innovación tecnológica no tomaron prioridad sino hasta después de los setentas.

modernizar la economía de los países de la comunidad europea para transformar el conocimiento científico-tecnológico en la principal herramienta de la industria.

En el plano regional, el gobierno de la región de Emilia Romagna firmó el acuerdo con las universidades de la región, los centros de investigación del CNR y la ENEA, a fin de impulsar aún más la innovación tecnológica, conformar redes de alta tecnología y aumentar el financiamiento regional en acciones de investigación, desarrollo e innovación. Como ya hemos mencionado, el principal instrumento para coordinar tales actividades fue la creación de la agencia ASTER.

Al inicio de este apartado mencionábamos la afirmación de Nuvolari y Vasta (2015) quienes refieren que, si bien Italia ha tenido un crecimiento económico considerable por más de un siglo y medio, éste no necesariamente se ha debido a la innovación tecnológica. Por una parte, el país ha tenido limitada inversión en investigación y desarrollo, e incluso en el desarrollo de todo el sistema educativo nacional. La investigación aplicada ligada a la industria, y las primeras ideas encaminadas a la creación de un sistema nacional de innovación, no fue prioridad del gobierno hasta antes de 1982; aunque desde inicios de los sesentas la producción científica comenzó a ser importante y tuvo un desempeño notable. Sin embargo, de acuerdo a Nuvolari y Vasta, en la creación de un Sistema Nacional de Innovación la mayor debilidad fue la carencia de instituciones que crearan los puentes para realizar transferencia tecnológica efectiva. Se señala también que el desempeño del sistema científico y tecnológico italiano tuvo significativamente avances a partir de los noventas; probablemente debido a que se estimuló la internacionalización de sistema académico, al igual que la ciencia como tal. Aun con ello, si se toma en cuenta a la nación entera, el desempeño de Italia como sistema nacional de innovación, de acuerdo a Nuvolari y Vasta, es una especie de fantasma que vive en el ático. Todos hablan de él, pero nadie puede demostrar su existencia; y hace apariciones impactantes seguidas de ausencias prolongadas. De acuerdo con los autores, el crecimiento económico italiano se debe más a accidentes afortunados que al fruto de la planeación. A pesar de ello, debe decirse que si se analiza a la nación en su conjunto es posible encontrar este tipo de apreciaciones, pero si se analiza el desempeño regional se puede encontrar mayor consistencia en el desarrollo socioeconómico. Ejemplos de ello, es el desempeño de la región que nos ocupa.

## 4.5 Panorama Empresarial

Las actividades productivas de Emilia Romagna se concentran básicamente en la industria que opera en el sector de manufactura, la industria de la construcción y en menor medida en la industria relacionada con la energía, la agricultura, silvicultura y pesca, así como la fabricación de productos alimenticios y bebidas.

En el caso de la industria manufacturera, los datos de 2014 señalan que tal industria produjo una plusvalía de 38,079.00 millones de euros a precios constantes (equivalente al 29,3 por ciento de la región). Empleando a más de 629 mil trabajadores (10.5 por ciento del total nacional). Cerca de 522 mil se emplean en el sector estrictamente industrial (extracción, manufactura y energía) y 107 mil en la construcción (Unioncamere Emilia-Romagna, 2015<sup>120</sup>).

El 39 por ciento de las empresas industriales activas en la región operan en el sector de manufactura, mientras casi el 60 por ciento corresponden al sector de la construcción. Asimismo, la industria de la extracción, constituida esencialmente de canteras, se compone por 169 empresas activas, mientras que el sector energético, gracias al establecimiento de nuevas empresas dedicadas a la producción de energía renovable, se compone por 1,382 empresas.

De forma más específica, se puede señalar que el sector manufacturero se constituye en un 41 por ciento de empresas dedicadas al sector de la metalmecánica (muy importante en la región, ya que representa una proporción mayor de la industria al valor nacional de 32.3 por ciento). Un 10 por ciento de las empresas manufactureras se dedican a la producción de alimentos y bebidas; mientras que el 15.8 por ciento corresponden a los productos relacionados con la moda.

El modelo empresarial de Emilia Romagna se compone por un amplio y variado tejido de pequeñas y medianas empresas industriales y artesanales, en el que se pueden contar una red basta de unidades. En 2013, los datos indican que el 79.5 por ciento de las unidades locales de la industria de la extracción, manufactura y energía no superaba los 9 trabajadores. Mientras en la construcción la porcentual se incrementa al 96 por ciento. Por otra parte, en el mismo año existen datos que indican que el 62 por ciento de la plusvalía a precios de base proviene de empresas con más de 49 empleados.

---

<sup>120</sup> La descripción del panorama empresarial de Emilia Romagna se basa en la información recabada por la unión de cámaras de comercio de la región en 2015.

En lo que concierne a los distritos industriales, o parques industriales, en total existen 13 en la región. Los que se especializan en la mecánica: Fiorenzuola d'Arda, Guastalla, Reggio Emilia, Mirandola, Vignola, Faenza y Novafeltria. Los especializados en la alimentación: Langhirano y Lugo. Bienes para la casa: Pavullo en Frignano y Forlì. Además de Castel San Giovanni especializado en metalurgia, y Carpi en el sector textil. En total, dichas áreas industriales se componen por 98,247 unidades locales y emplean a 449,716 trabajadores.

Las sociedades cooperativas se continúan desarrollando y están bien arraigadas en la región, incluso constituyen una peculiaridad de ésta. Las plusvalías generadas por las cooperativas regionales correspondían en 2013 a cerca de 10,101 millones de euros, equivalente al 7.8 por ciento del total regional. A finales de 2015, existían 5,151 sociedades activas, equivalentes al 6.5 por ciento del total nacional. Concentradas principalmente en las áreas de almacenamiento, actividades de apoyo al transporte, construcción de edificios, cultivación agrícola, productos animales, y asistencia social no residencial. Cerca del 70 por ciento de tales sociedades emplean a menos de 50 trabajadores. Mientras, solo 62 sociedades se componen por más de 500 trabajadores.

La agricultura es parte importante de las actividades socioeconómicas de la región. La superficie agraria utilizable suma poco más de un millón de hectáreas. Lo que significa el 8.1 por ciento del total nacional y el 46.2 por ciento del territorio regional; la media en Italia es de 42.1 por ciento. De acuerdo a la Dirección General de Agricultura, Caza y Pesca de la Región de Emilia Romagna, en el 2015 el valor de la producción agrícola de esta región alcanzaba más de 4 mil millones de euros, que en términos generales corresponden a un aumento del 1.9 por ciento respecto del año anterior. Dicho incremento se debe principalmente a la producción vegetal (de hierbas y árboles) con más del 5.6 por ciento. En tanto que la producción zootécnica tuvo reducciones (del -2.2 por ciento), particularmente en la carne de cerdo y el huevo.

El sector agrícola de la región es sofisticado, tiene una alta tradición y está muy ligado a la industria de la transformación. Sin embargo, en épocas recientes presenta crisis considerables. Un indicador de ello lo representa la disminución en materia de mecanización agrícola. Aunque representa una infraestructura fundamental de soporte a la producción, ha sufrido disminuciones considerables en las últimas décadas. En 2015 las máquinas, motores y remolques sumaban 341,858 unidades, mientras que en el 2000 sumaban 424,000, y en 1993 superaban las 470,000 unidades. Esta reducción está relacionada con la caída de las empresas agrícolas y los trabajadores dedicados a tal sector; los cuáles en 2015 eran 51,022, pero 2001

sumaban 68,945. Cerca de la mitad del parque mecánico está representado por tractores, para los cuales existe una disminución que va de las 197,705 unidades en el año 2000 a las 173,082 en 2014.

En el sector agroalimentario es necesario hacer mención especial a la producción de dos productos típicos, que no sólo representan una buena parte de las ganancias generadas en este sector, sino que se identifican con las tradiciones socioculturales de la región. Entre los principales, se encuentra el Parmigiano Reggiano, queso típico de Emilia Romagna que tiene denominación de origen protegida (DOP), y en 2015 registraba una producción de 3,302,653 unidades, siendo las principales provincias productoras Parma, Reggio Emilia, Módena y Bolonia (además de Mantova en la Lombardía). Mientras tanto, el Grana Padano es otro queso típico producido exclusivamente en la provincia de Piacenza; en 2014 se habían producido 534,306 unidades.

El panorama empresarial de la región se complementa con el sector artesanal y de comercio interno. El primero tiene un peso no menor, produciendo cerca de 16 mil millones y medio de euros en 2013 (12.8 por ciento de la plusvalía total). Compuesto por 131,720 empresas en 2015, principalmente se dividen en empresas pequeñas dedicadas a la reparación y asistencia de computadoras y bienes del hogar, trabajadores de la construcción especializados, y otros servicios para el cuidado de las personas. En el sector comercial, los datos de 2015 indican la existencia de 93,671 negocios dedicados al comercio a detalle, a granel y la reparación de automóviles y motocicletas.

En materia de comercio exterior, Emilia Romagna es la tercera región exportadora de Italia. Durante 2015, en la región se habían exportado más de 55 mil millones de euros, lo que equivale al 13.4 por ciento de la nación. La primer región exportadora es la Lombardía (26.9 por ciento) y Veneto (13.9 por ciento).

En Emilia Romagna mayormente se exportan productos metalmecánicos, en el 2015 han representado cerca del 56 por ciento del total regional. Dentro de este sector, la maquinaria y equipamiento tecnológicamente avanzados, representan la mayor parte de los productos. Asimismo, resulta relevante el porcentaje de exportaciones que corresponde a “maquinaria de empleo general” que comprenden a la gama del *packaging* (11.1 por ciento). En segundo lugar, los productos relacionados con la moda (10.9 por ciento), los del sector agroalimentario (10.5 por ciento), y los del trabajo de minerales no metálicos, incluidos la cerámica (7.5 por ciento). En general, las exportaciones de la región son una mezcla entre productos de alta tecnología, productos típicos, alimentarios y del *italian style*.

Principalmente se exporta hacia el interior de Europa, donde se había absorbido en 2015 el 62.7 por ciento de la mercancía. En segundo lugar de destino se encuentran Asia y América con 15.8 y 15.6 por ciento respectivamente. Divido por países, el primer socio comercial resulta Alemania, donde se ha adquirido el 12.3 de la mercancía, seguido por Estados Unidos y Francia (10.9 y 10.3 por ciento).

En resumen, a fines de 2015, las empresas activas en Emilia Romagna eran 410,280 (8.0 por ciento del total nacional), mayormente concentradas en el sector comercial, la reparación de automóviles y motocicletas (22.8 por ciento), construcción (16.6 por ciento), agrícola (14.6 por ciento), y manufacturero (10.9 por ciento). Este último sector está compuesto principalmente por las empresas dedicadas a la metalmecánica, que representan a su vez el 41.1 por ciento de las empresas de manufactura. Las empresas femeniles son más de 85,000, y las juveniles 34,000; mientras que las empresas extranjeras son 44,582.

La mayor concentración de empresas activas (59.1 por ciento) se localiza en el eje central de la Via Emilia, constituido por las provincias de Parma, Reggio Emilia, Módena y Bolonia, las últimas tres áreas se les denomina el “área fuerte”, caracterizada por generar la mayor plusvalía y la alta tendencia al comercio exterior.



## 4.6 Casos

### 4.6.1 Fruticultura

El primer caso que analizamos de Bolonia se refiere al grupo de investigación conformado por FRC001, FRC002 y FRC003<sup>121</sup>, quienes se dedican al estudio de la fisiología de los árboles frutales; en particular son especialistas en lo que denominan fruticultura de precisión (o en general horticultura de precisión). El trabajo del grupo ha dado soporte a la creación de una *start-up* llamada *Horticultural Knowledge (HK)*<sup>122</sup> en 2011. Este negocio ofrece servicios de consultoría a productores de fruta independientes y diversas cooperativas italianas. El servicio consiste en ofrecer información en tiempo real sobre el crecimiento de los frutos, de forma que se puedan realizar previsiones sobre la producción al final de la estación; información sobre la producción total y la distribución de las clases de fruto. Actualmente, trabajan sobre el cultivo de manzana y pera. La información que obtienen, permite al productor realizar intervenciones para corregir el crecimiento de los frutos antes del final de la cosecha, y de esta forma aumentar sus posibilidades de ganancia. FRC002 menciona como ejemplo el hecho de que en el mercado italiano las manzanas son bien pagadas si tienen más de 75 milímetros, obviamente si al final de la cosecha la mayor parte de la producción consiste en manzanas con menor medida a ésta, las ganancias serán menores. Aún si con la intervención que haga el productor no logra obtener frutos mayores a esta medida, la información proporcionada por *HK* le sirve para realizar decisiones para dirigir su cosecha a mercados distintos. Por ejemplo, sabiendo que las manzanas pequeñas son mejor comercializadas en Inglaterra, y las grandes en España.

Se trata entonces del desarrollo de diversas técnicas para monitorear el crecimiento de los frutos, la actividad de fotosíntesis, transpiración, etc. Los instrumentos que utilizan principalmente se refieren a un calibrador que memoriza las mediciones, y ha sido diseñado por ellos mismos, así como un sitio web donde gestionan la información de cada cosecha. Así, el trabajo de la empresa consiste en trabajar en conjunto con los productores, enseñarles a realizar las mediciones y posteriormente a interpretar los datos obtenidos. Esto también permite prever la cosecha de varios productores, asunto que es de especial interés para las cooperativas porque pueden segmentar el mercado, y comercializar de distintas formas la producción de sus agremiados.

---

<sup>121</sup> La información que presentamos se basa en las entrevistas con FRC001 y FRC002.

<sup>122</sup> [www.hkconsulting.it](http://www.hkconsulting.it)

La tecnología empleada por *HK* en sí se trata de algoritmos, modelos matemáticos sobre el crecimiento de cada especie de fruto (por ejemplo, la manzana roja crece de forma diversa que la amarilla). Este conocimiento o *know-how* se ha desarrollado en estudios realizados por FRC001 desde la década de los 90s del siglo pasado, aunque la *start-up* se conforma formalmente como sociedad-empresa en 2011. Lo que ha hecho el grupo de investigación es caracterizar cómo crece cada especie en forma diversa, y por tanto realizar técnicas de evaluación sobre la fisiología de los árboles frutales en parámetros que corresponden a la nutrición de la planta, el aporte de agua, la irradiación (exposición a la luz solar), entre otros aspectos. Por ejemplo, la dimensión de los frutos está muy relacionada a cuántos frutos contiene; entonces, entre menos frutos existen en una planta, es más probable que los frutos sean más grandes. Sin embargo, si se dejan muchos frutos en la planta al final se obtendrán frutos pequeños, y si se dejan pocos frutos serán grandes pero se tendrá poca fruta en conjunto. Así, quien cultiva debe ser hábil para mantener un equilibrio en la cosecha, e intervenir dejando más o menos frutos en la planta dependiendo de la dimensión que desea obtener y la forma en la que puede comercializar. Es un tipo de soporte a toda la práctica de cultivación.

Como se mencionaba, la idea que hizo nacer *HK* es un conjunto de conocimientos desarrollados por FRC001 que han madurado en el tiempo. De hecho, FRC001 proviene de una familia de agricultores. Desde joven trabajó en una empresa familiar que cultivaba fruta, vid y granos, de tal forma que se habituó a asumir responsabilidades de administración de la producción desde pequeño, en muchas ocasiones en ausencia de su padre. Posteriormente, al estudiar en la Universidad de Bologna, comenzó a incorporar sus conocimientos a la práctica de la agricultura en la empresa. El primer antecedente del tipo de trabajo que desarrolla la *start-up* es el tipo de asesoría (consultoría) que FRC001 comenzó a ofrecer a diferentes técnicos, consultores de cooperativas agrícolas y fruticultores de la provincia de Ferrara en la misma Emilia Romagna. Desde un inicio se trató de una colaboración entre un profesor de la universidad y productores agrícolas por la cual FRC001 estableció que debían pagar, al menos una cuota baja pero debía existir. Los productores no debían acostumbrarse a obtenerlo gratis. En especial con las cooperativas, después del primer año en la que se mostraron resultados positivos en cuanto al empleo de la tecnología de FRC001, los productores incluso financiaron los estudios de doctorado de FRC002. Antes de los 90s en Italia y a nivel internacional, el concepto de horticultura de precisión se había desarrollado muy poco; posteriormente, el concepto se configuró de manera más amplia alrededor del mundo, como una rama de la agricultura de precisión [precision farming or precision agriculture].

Una de las formas especiales en las que el conocimiento de este grupo de investigación es transferido, se refiere al intenso uso de la divulgación científica. En primer lugar, un aspecto importante que tiene como antecedente la *start-up* es la publicación que hicieron FRC001 y compañía de sus técnicas agrícolas, en revistas dirigidas a fruticultores y técnicos italianos. Desde luego, también han hecho publicaciones en revistas académicas, pero antes de establecer la *start-up* su conocimiento ya llegaba a los productores. El mismo FRC001 menciona que el doctorado que estudió FRC002 también ayudó a crear un contexto, un marco, en el que sus técnicas de cultivación se afianzaron y comenzaron a extenderse localmente, difundiendo la idea de que existía una forma de cultivar en modo preciso y podían hacerlo con modelos a bajo costo. En segundo término, el modo de actuar de la *start-up* utiliza las reuniones informales con productores como herramienta principal para interactuar con ellos. En trabajo coordinado con las cooperativas, principalmente las presentaciones y *workshops* con un gran número de agricultores son el trabajo cotidiano de la empresa. Las cooperativas, además de comercializar masivamente la producción de los fruticultores, les ofrecen servicios técnicos. Por lo cual no sólo están conformadas por fruticultores, propiamente, sino por dirigentes, consultores y técnicos. En tanto, los aspectos de patología vegetal son cubiertos por otros especialistas convocados por las cooperativas, no son cubiertos por *HK*, ya que el trabajo de la empresa es la agricultura de precisión. Uno de los aspectos con los que ha tenido que lidiar la empresa para incorporarse al mercado, es justamente el entendimiento de los productores sobre cuál es su trabajo. Es decir, han tenido que entender que lo que ofrece la empresa es diferente porque no se trata del combate a enfermedades de las plantas; siendo éste el tipo de conocimiento que tradicionalmente se espera provenga de la universidad. Es decir, de alguna forma las cooperativas y productores en general, están acostumbrados a las técnicas de intervención de “especialistas” para solucionar problemas de cultivación, no para planear y monitorear el crecimiento de frutos. Por lo cual la divulgación en aquellas revistas no académicas y los *workshops*, aunque no parecieran ser tan relevantes son esenciales para la transferencia del conocimiento en este caso.

En el proceso de conformación y crecimiento de la empresa también ha sido importante el financiamiento obtenido por el grupo en los proyectos Spinner 2013; el programa de la región de Emilia Romagna que funciona como incubador de ideas con alto contenido tecnológico. Esto les permitió ampliar de forma significativa la interacción con las cooperativas, haciendo experimentaciones sobre sus técnicas de cultivación. Actualmente, *HK* interactúa con prácticamente todas las cooperativas importantes del norte de Italia. El mayor

número de productores de manzana se encuentran en las regiones de Trentino y Alto Adige, donde se encuentran las dos marcas más importantes de manzana del país: Melina [www.melinda.it] y Marlene [www.marlene.it]. Igualmente trabajan con las cooperativas de Emilia Romagna, Veneto, Piemonte, Lombardía. En general, entre las cooperativas figuran las más importantes en el mercado de la manzana y pera en Italia: Apofruit, Apoconerpo, Consorzio Modi Europa, Patfrut, Intesa, Consorzio Melapiù, etc.

#### **4.6.2 Agricultura orgánica y agro-homeopatía**

Tal como en el campo de la medicina humana existe un ramo de medicina alternativa, un grupo de investigación de Bolonia se ha dedicado durante los últimos veinte años a acrecentar el conocimiento sobre métodos alternativos para el tratamiento de enfermedades de las plantas: la agro-homeopatía. La doctora AOA001, que en realidad ha desarrollado su carrera como investigadora en la Universidad de Bolonia por más de cuarenta años, durante los 80s comenzó a realizar experimentos que demostraban reacciones significativas de las plantas ante medicamentos homeopáticos. Durante los primeros veinte años de su carrera, AOA001 era especialista en patología vegetal, el estudio de las enfermedades de las plantas. Su método de trabajo en forma simple consistía en detectar qué patógeno agredía una determinada planta, el aislamiento de tal patógeno, y la producción de anticuerpos para su diagnóstico y posible tratamiento. En palabras de AOA001, todo este cúmulo de trabajo lo realizaba en el marco de la ciencia “oficial”. Sin embargo, a un cierto punto de su carrera ha cambiado la dirección, especializándose en métodos alternativos. La agro-homeopatía se ha ubicado como una rama de la agricultura eco-sustentable, biológica, y biodinámica. A pesar de que los artículos de AOA001 y su grupo de colaboradoras<sup>123</sup> se pueden encontrar en revistas especializadas distribuidas por Elsevier/ScienceDirect, AOA001 afirma que el tipo de trabajo que realiza en realidad corresponde a un enfoque bastante particular y alternativo.

Como se sabe, el escepticismo sobre la homeopatía es amplio alrededor del mundo. Sobretudo porque continúa sin determinarse los mecanismos de acción con los cuales los medicinales homeopáticos actúan. Quienes están en contra de la homeopatía a menudo replican que se trata de sustancias sin ninguna eficacia. Y las personas que los utilizan, se sienten mejor e incluso llegan a curarse simplemente porque tienen fe en los medicamentos.

---

<sup>123</sup> Puede resultar un dato peculiar que el núcleo de trabajo sean tres mujeres.

En otras palabras, su resultado es un tipo de efecto placebo; una idea bastante fuerte generada en la mente de las personas que llega a tener efecto en el funcionamiento de su cuerpo.

AOA001 no era interesada en la homeopatía, pero durante los años ochentas un grupo de médicos homeópatas de Milán le solicitan realizar un modelo vegetal para evaluar si en verdad este tipo de medicamentos tienen una acción curativa o no. La idea de hacer esta evaluación era interesante para los médicos y la propia AOA001, por el hecho de que los medicamentos aplicados a una planta podía ser una prueba irrefutable de su eficacia. Si lo que cura a las personas es la idea y no el medicamento en sí mismo, la planta no puede curarse por medio de una idea. La planta no puede presentar menos síntomas porque tiene fe en el medicamento. En efecto, los experimentos de AOA001 han demostrado que efectivamente los medicamentos homeopáticos, aún siendo altamente diluidos, tienen una acción altamente positiva en las plantas. El enfoque de AOA001 cambió desde entonces y con el tiempo han buscado incorporar la aplicación de estos medicamentos en la misma agricultura. Es decir, lograr curar las plantas en los propios cultivos. En principio han realizado estudios en invernadero, afinando métodos aplicativos en campo, y han obtenido resultados muy interesantes. De esta forma, el equipo se ha especializado en este enfoque nuevo que no utiliza ninguna sustancia química, sino estos medicamentos naturales altamente diluidos para la protección de las plantas.

Los trabajos de AOA001 con la aplicación de la homeopatía en vegetales, le ha permitido abrir varias líneas de trabajo y desarrollar proyectos de investigación que involucran la colaboración con empresas por diversos motivos aplicativos. En este aspecto, se pueden distinguir dos líneas importantes: por un lado, han desarrollado métodos de evaluación de la vitalidad de productos agro-alimenticios, o lo que llaman análisis cristalográficos de productos; por otro lado, han desarrollado diversos métodos para la aplicación de la homeopatía en agricultura; entre ellos han realizado estudios de dinamización de ondas electromagnéticas (ondas acústicas y radiaciones luminosas) en agua para uso en agricultura. De igual forma, sus investigaciones sobre la aplicación de homeopatía en agricultura ha sido financiada en su mayor parte por empresas. Evidentemente, el primer sector que está interesado en defender la eficacia de los medicamentos es quien los produce. Así, el grupo de AOA001 ha recibido financiamiento por empresas como la Boiron<sup>124</sup>, empresa multinacional líder en la producción de productos homeopáticos. En realidad,

---

<sup>124</sup> [www.boiron.com](http://www.boiron.com)

aproximadamente el 80 por ciento del financiamiento que ha recibido AOA001 para proyectos de investigación proviene de la industria.

La evaluación que hace el grupo sobre la vitalidad de diversos productos, según la propia AOA001, es de tipo cualitativo. Es una aproximación alternativa a los métodos de análisis químicos de los propios productos, aunque no necesariamente es sustitutiva de éstos. Es decir, los análisis químicos, normalmente, dan cuenta sobre los azúcares, proteínas, grasas y demás ingredientes de los alimentos. Es un análisis importante para informar a los consumidores sobre el tipo de elementos que llevan a su cuerpo. Al menos, esa es la justificación de la existencia de las etiquetas informativas en un sin fin de productos que se encuentran en los supermercados. Sin embargo, en el sector de la agroalimentación, en procesos que involucran certificación de productos, los análisis químicos son importantes para determinar la existencia o no de elementos químicos que no deben contener los alimentos. Específicamente, en la certificación de productos orgánicos (bio) el análisis es mucho más severo para determinar que no se han usado elementos químicos en todo el proceso; desde la cultivación de las materias primas hasta la propia confección del producto, su conservación y empacamiento. Un término que constantemente aparece en el lenguaje de los especialistas en este campo es encontrar la *traccia (pista)* de los elementos químicos. Sin embargo, el análisis químico tradicional, no dice nada con respecto a la vitalidad del producto en sí mismo. Dedicarse a la agricultura biológica, le ha permitido al grupo de AOA001 desarrollar un tipo de evaluación basada en el análisis de imágenes cristalográficas. En términos escuetos, la metodología de análisis consiste en tomar una semilla (i.e. de trigo, otros---) someterlo a baño en una probeta, tomar las gotas de agua que se forman de estas semillas, depositarlas en una diapositiva, hacerla evaporar en una estufa, y finalmente analizarla en un microscopio especial a campo oscuro. La parte importante para nosotros es el tipo de imágenes que logran extraer, y que tienen una gran graduación de complejidad. En algunos casos, las imágenes son solo puntos, sin que lleguen a distinguirse cristales. En otros casos se pueden distinguir formas semejantes a cruces. En algunos más, se pueden apreciar formas que asemejan propiamente a diamantes, octágonos, o un tipo de racimos; lo que ellas denominan cristales<sup>125</sup>. Ahora bien, lo que el equipo ha observado es que las semillas que dan menos formas cristalinas son aquellas menos vitales, o aquellas que han sido resultado de mejoramiento genético deliberado. En cambio, han determinado que las variedades antiguas,

---

<sup>125</sup> Diversos ejemplos de estas imágenes se pueden apreciar en Kokornaczyka *et al* (2014).

que entre otras cosas son mejor recomendadas para la alimentación, son generalmente las que ofrecen imágenes más ramificadas; *bellissime* como dice AOA001. Una de sus colaboradoras es capaz ahora de distinguir entre semillas antiguas y modernas simplemente apreciando las imágenes, sin saber previamente que tipo de semillas está analizando. Han encontrado ejemplos similares trabajando con semillas que han sido cultivadas con fertilizantes químicos y aquellas cultivadas orgánicamente. Uno de sus experimentos sobre una semilla de trigo antigua ha relevado que cuando la semilla es cultivada con agricultura biológica ofrece una forma armónica de cristal. Pero en el momento que el terreno se sometía a la fertilización química, utilizando el mismo tipo de semilla, la imagen perdía aquella armonía. Y más aún, entre más alto era el grado de fertilización, más se pierde la armonía de los cristales de la semilla. Es decir, la semilla pierde vitalidad. Es cierto que la planta puede producir más trigo, pero a cambio pierde su vitalidad cada vez en mayor grado, es menos natural. En el fondo, es un asunto lógico, entre más se somete la agricultura a fertilización química hay más intervención de elementos ajenos a la naturaleza del terreno; pero lo que ofrecen los experimentos de AOA001 es la oportunidad de “ver con los propios ojos” la descomposición de la vitalidad o la naturaleza de nuestros alimentos.

AOA001 repara que este tipo de evaluación no excluye o debe sustituir al análisis químico tradicional, sino que debe ser complementario. A la par de informar al consumidor sobre los elementos químicos que contienen los productos, debiera existir un reporte sobre la vitalidad del producto. Y de hecho, ya lo están llevando a cabo. En términos prácticos, este tipo de evaluación la efectúan para diferentes productos con diferentes empresas y productores agrícolas, sean semillas o productos confeccionados (por ejemplo vino y harina). Han firmado contratos para realizar investigación comisionada con Bioagricoop<sup>126</sup>, empresa cooperativa que se dedica a realizar certificación de productos orgánicos, a la par del análisis químico que realiza bioagricoop, el grupo de AOA001 realiza con ellos el análisis de tipo cristalográfico. Con Naturasi<sup>127</sup>, otro grupo grande que vende solo productos biológicos, han firmado un convenio para estudiar sus productos; entre otros el trigo que comercializan, pero también el terreno (con otro tipo de análisis pero de igual forma del tipo cualitativo). Con una empresa local llamada *Due Torri*, han puesto en operación incluso sondeos de opinión, para ver la reacción de los consumidores con respecto al reporte sobre la vitalidad del producto. Y han encontrado una reacción positiva, preferencial, hacia los productos que muestran una imagen armónica, y menos preferencia sobre aquellos que muestran solo puntos o imágenes

---

<sup>126</sup> <http://www.bioagricoop.org>

<sup>127</sup> EcorNaturaSi s.p.a. [www.naturasi.it/](http://www.naturasi.it/)

no estéticas. Es decir, a las personas que no tienen ningún conocimiento sobre química, y en realidad no les interesa ver la tabla de ingredientes del producto, el reporte que encuentran en la etiqueta del producto no le dice nada. Sin embargo, el ver simplemente una imagen tiene mucho mayor impacto, es mucho más convincente. Y lo hace preferir aquel producto en donde observa una imagen armónica.

Dos estudios interesantes que este grupo de investigación ha llevado a cabo en el campo de la agro-homeopatía, tienen que ver con la dinamización de ondas sonoras y luminosas en agua para su uso en agricultura<sup>128</sup>. Una fase importante de los tratamientos homeopáticos en agricultura tiene que ver con la dinamización; una forma de “conmoción mecánica” del preparado homeopático por un tiempo determinado. Ya se ha escuchado hablar de estudios de física cuántica, que tratan de entender cómo cambia la estructura de la molécula del agua ante la presencia de ondas electromagnéticas. La mayor hipótesis continúa siendo que durante la dinamización del agua, la molécula (H<sub>2</sub>O) parece que se estructura en modo diverso. En lugar de tener su disposición clásica se forman un tipo de racimos de la molécula, y por ende, confieren al preparado propiedades diversas al agua normal. De acuerdo a AOA001, este efecto se puede obtener bien con una conmoción mecánica o sometiendo el preparado a una exposición de ondas electromagnéticas; ondas acústicas. De igual forma, el equipo ha realizado estudios sometiendo el agua a radiaciones luminosas, tratando de apreciar el cambio de la estructura de la molécula. Es decir, utilizando diversos tipos de ondas electromagnéticas, acústicas, del tipo mecánico, radiaciones luminosas, el resultado es el mismo, aprecian un cambio en la estructura de la molécula. Pero este cambio es el que da un efecto biológico, orgánico. En otras palabras, el sometimiento del preparado a ondas de este tipo le confiere un aporte energético, lo que hace que estructuren los racimos de la molécula y por ende exista un cambio en la estructura sobremolecular del agua. En el tipo de análisis que realizan, AOA001 y compañía, argumentan que los preparados homeopáticos aportan un cambio incluso en la expresión de los genes de la planta. Es decir, genes que a causa de *stress* oxidativo se sobre-expresan, si las plantas son tratadas con tratamientos homeopáticos, los genes que se encontraban sobre-estresados regresan a una condición normal. Al final, el financiamiento que han recibido de Electronic System tenía el objetivo de usar el agua tratada en sistemas de riego.

---

<sup>128</sup> El primero proviene del proyecto “Dinamizzazione acustica dell'acqua per l'ottenimento di trattamenti fitoiatrici ammessi in agricoltura biologica” (Dinamización acústica del agua para la obtención de tratamientos fitosanitarios permitidos en agricultura biológica), financiado por la Región *Marche* y la empresa Electronic System s.r.l., 2007. El segundo proviene de otro proyecto financiado por la empresa Biosystem, que producía lámparas neon, con tecnología patentada porque parecían emitir radiaciones diversas a las lámparas tradicionales.



### 4.6.3 Restauración y manejo de suelos

Aquí nos encontramos con un grupo de investigación que combina investigadores que se dedican exclusivamente a la investigación básica e investigadores que realizan investigación básica y aplicada en colaboración con la industria. El núcleo base lo componen, principalmente, Claudio Ciavatta, RMSB001, RMSB002, RMSB003, entre otros<sup>129</sup>. En realidad es un grupo que no siempre trabaja en conjunto, investigadores como RMSB003 trabajan de manera independiente y en algunos casos ha colaborado con el resto del equipo. Sin embargo, el objeto de estudio que abordan es el mismo: la fertilidad del suelo. El ámbito disciplinar que está detrás de sus actividades es la química aplicada a la agricultura, o como ellos la llaman, química agraria. Son del tipo de investigadores que trabajan con base en la bioquímica en la búsqueda de alternativas para restaurar los suelos y lograr equilibrio del ecosistema.

En principio nos encontramos con el tipo de paradojas que vive la agricultura desde su mayor periodo de industrialización: importa la fertilidad del suelo, su calidad para que pueda ser productivo, pero al mismo tiempo su conservación. Tal vez, la mejor aportación del enfoque que este tipo de investigadores defienden sea que el suelo debe considerarse como un organismo vivo, y por tanto el estudio de los microorganismos (bacterias, hongos, etc.) se ha colocado por delante de los estudios tradicionales sobre el ciclo de los elementos esenciales para la producción y equilibrio de los ecosistemas como lo es el carbono, el nitrógeno, el fósforo, el potasio; sin que dejen de ser importantes desde luego. Asimismo, se ha puesto por delante para estudiar el empleo de productos químicos en agricultura (pesticidas, herbicidas, fertilizantes químicos). Así, lo que importa en los estudios de este grupo de investigadores es la sustancia orgánica del suelo. Sin embargo, como lo explica RMSB003, la sustancia orgánica representa una categoría de moléculas diversas, desde estructuras definidas (proteínas, lípidos, carbohidratos) a estructuras que no se pueden definir en categorías moleculares como son las sustancias húmedas; estas macromoléculas presentes en el suelo son producto de procesos de transformación y arraigamiento molecular que sucede en el suelo y es influenciado por la actividad de los microorganismos presentes, y las reacciones químicas provocadas por catalizadores minerales. De esta forma, los estudios que realizan caracterizan la estructura y transformación de estas moléculas y macromoléculas.

---

<sup>129</sup> La información que presentamos se basa en las entrevistas elaboradas a RMSB001, RMSB002 y RMSB003. Claudio Ciavatta es el investigador más experimentado del grupo y quien ha establecido desde los ochentas los mayores contactos con empresas.

RMSB001 menciona que uno de los problemas mayormente ligado a la calidad del suelo en general, y al suelo agrícola en particular, especialmente suelos agrícolas con clima caluroso como el del mediterráneo, está ligado al ciclo del carbono. Casi todos estos suelos tiene una estructura particular y sufren del empobrecimiento de sustancia orgánica. Es un problema evidenciado desde el final de la segunda guerra mundial. A nivel global, tanto en países desarrollados como en aquellos con menor desarrollo, comienza un tipo de agricultura y sociedad diversa. Antes de la segunda guerra mundial, la sociedad se basaba en un mundo agrícola autosustentable; es decir, los productores agrícolas producían, en parte vendían sus productos, pero la mayor parte de sus productos eran consumidos en la propia empresa agrícola, lo que generaba un tipo de ciclo cerrado: la empresa producía, en tal producción se generaban residuos orgánicos y estos regresaban al suelo. Aunque no fueran todos, gran cantidad de los residuos orgánicos al regresar al suelo permitían mantener en equilibrio el ecosistema: suelo-planta-agua-atmósfera. El proceso de industrialización de la segunda guerra mundial en adelante, implicó una explotación mucho más intensa del campo que cambió la forma de producción en forma radical; la incorporación de productos químicos en agricultura y la mecanización aumentan los rendimientos productivos y las pequeñas empresas agrícolas comienzan a gestionarse a nivel industrial. Es decir, la empresa agrícola produce para vender al mercado de la ciudad, no produce sólo para su propio sostenimiento. En términos simples, lo que es tomado del suelo es vendido en la ciudad; así, los residuos orgánicos no regresan al suelo porque se generan en la ciudad, la cual debe eliminarlos de forma distinta. A través de purificadores, incinerándolos en el mejor de los casos, en otros casos no se conoce su destino. Sin embargo, el asunto importante es que se interrumpe un ciclo virtuoso fundamental: los residuos de la actividad del hombre no regresan al suelo como debiera ser, y terminan en cualquier otra parte. Por tanto, todos los productos de transformación de estos residuos si no pasan por el suelo terminan en el aire o en el agua, de ahí los grandes problemas de contaminación. Por otra parte, en agricultura el suelo se empobrece siempre más y más, pero ahora se llega a los puntos críticos si se toma como parámetro principal el contenido en sustancia orgánica del suelo, que aunque no sea el único indicador de la salud del suelo, se está llegando a niveles que no son particularmente tolerables. Se necesita encontrar el modo de regresar al suelo parte de los residuos. Pareciera sencillo, pero si se piensa de dónde provienen los residuos se cae en la cuenta de que la separación entre agricultura y zootecnia se ha vuelto cada vez más grande. Anterior a la industrialización mayor de la agricultura, los residuos orgánicos provenían de la crianza de los animales; la pequeña empresa agrícola realizaba las dos cosas: producción de granos, verduras, frutas y la crianza de animales. Hoy,

las dos actividades son especializadas, quien hace la crianza se dedica sólo a ello, al igual que quien cultiva. En varios casos, quien produce alimentos de origen vegetal no realiza crianza de animales porque no es industrialmente una ventaja. Por tanto, se tienen zonas pequeñas donde se concentran los animales y otras donde no existen. Evidentemente en estas zonas la cantidad de residuos que regresan al suelo es inexistente, o bien existe la posibilidad de disponer de residuos para reincorporarlos al suelo agrícola pero se encuentran en zonas distantes, por lo que nadie está dispuesto a realizarlo dado que también implica gastos económicos. Es un gasto que nadie está dispuesto a pagar. La otra posibilidad es utilizar los residuos generados en la ciudad, los residuos de la agroindustria. Entonces, se usa el reciclaje de las biomásas (mejor conocidos como biosólidos en México). Y este es el objetivo principal de uno de los proyectos que RMSB001 ha conducido con la empresa HERA<sup>130</sup>.

El grupo HERA es una empresa italiana dedicada al tratamiento de agua, servicios ambientales y de energía. Es el resultado de una fusión realizada en 2002, de once empresas municipales de la región de Emilia Romagna; aunque es una empresa regional sus actividades se expanden a la región de *le Marche* y el *nord-est* italiano. HERA gestiona la mayor parte de las plantas purificadoras de agua de origen urbano, no industrial. Como resultado de su trabajo, de las plantas se obtiene agua purificada, a un cierto nivel, y otros residuos que constituyen el fango de origen urbano. En el núcleo europeo se producen cerca de 9 millones de toneladas de fango urbano. Este fango contiene una cantidad muy importante de carbón orgánico y otros elementos nutritivos, principalmente nitrógeno y fósforo. Un problema ambiental constante consiste en qué hacer con este fango. Una vía para solucionarlo son los procesos de digestión anaeróbica para la producción de metano (biogás). Investigadores como RMSB003 se han dedicado a realizar procesos de este tipo, y con otros colegas incluso desarrollaron la idea de una *start-up* para comercializarlo, sin embargo el proyecto no prosperó, aún con el financiamiento de la región; no obstante, la producción de biogás continúa perfeccionándose. De cualquier forma, aún con la posible producción de biogás la mayor parte del fango permanece, puede ir al relleno sanitario o puede ser incinerado. En el norte de Europa es incinerado, pero en países como Alemania el contenido de carbono orgánico no es un problema grave por razones de su propio suelo y su clima. En Italia, en cambio, se tiene la necesidad de recuperar las biomásas para la agricultura. Así, el trabajo que realiza RMSB001 consiste en evaluar la calidad de las biomásas, desde el punto de vista

---

<sup>130</sup> [www.gruppohera.it](http://www.gruppohera.it)

agronómico, determinar si estas biomásas son aptas para regresar al suelo agrícola sin crear problemas, y por ende utilizar las biomásas de la mejor forma.

Reutilizar biomásas en agricultura tiene varios problemas. El fango que sale de las purificadoras, de acuerdo con la legislación, es un residuo. Parte del fango se puede utilizar, llevarlo al suelo agrícola así como sale de las purificadoras, en los límites de la legislación para la reutilización de residuos; evidentemente es estricta en términos de la cantidad y el periodo de tiempo para el empleo del fango sobre un mismo suelo; también es necesaria su evaluación para determinar si los fangos son peligrosos o no. De acuerdo con el grupo de investigación, los fangos urbanos (no industriales) no lo son, sin embargo el reto principal del grupo es encontrar el modo de que estos fangos no sean residuos; es necesario para ellos lograr sacarlos de la categoría de residuos para transformarlos en un producto diferente. Es claro que actualmente, un residuo como éste se puede utilizar en pocas cantidades, pero si se transforma en ammendante no (tipo de fertilizante que mejora las características físicas del suelo). En términos de innovación tecnológica, los procesos de transformación del fango para que sea un fertilizante, que son utilizados por el grupo de investigación, no han implicado descubrimientos científicos particularmente relevantes. Al final, se relacionan con el proceso de composta ampliamente conocido. Pero el trabajo que es necesario hacer, el trabajo especializado que hace el grupo, es la evaluación del fango para determinar cuál es apto para someterse a procesos de composta y entonces se pueda transformar el residuo en un fertilizante con las características agronómicas especificadas, y en tal punto, sea posible su aplicación en el suelo agrícola. Se decía que un residuo se puede utilizar en pocas cantidades, y siendo un fertilizante se puede ampliar su uso. Esto se relaciona con la transformación sustancial que sufre el tipo de carbono y demás elementos nutritivos presentes en el fango, cuando son aplicados al campo. Por ejemplo, mientras que siendo residuo el fango se puede utilizar en una medida de cinco toneladas por hectárea, por un periodo no mayor a tres años, el carbono orgánico se transforma rápidamente y se reincorpora en la atmósfera en forma de dióxido de carbono, por tanto en el suelo queda poco. En cambio, siendo un fertilizante se puede usar en una medida de veinte toneladas por hectárea por un numero indefinido de años, con diversos aportes de los elementos nutritivos. Durante este proceso de transformación del fango en composta, los elementos nutritivos y en especial el tipo de carbono, asumen una forma química diferente en lo que concierne a las características del suelo; en términos simples el carbono se estabiliza, se convierte en un elemento importante, preciado, en lo que concierne al mejoramiento de las características químicas, físicas y biológicas del suelo.

De esta forma, el trabajo de RMSB001 con HERA se basa en la idea de lograr la transformación de un residuo en un recurso, lo que conlleva a obtener ventajas relevantes en varios ámbitos. En primer lugar, permite enriquecer el suelo de sustancias orgánicas con elementos nutritivos, y con ello reducir el empleo de fertilizantes químicos. Cuando se aplican nutrientes como el fósforo y el nitrógeno presentes en el composta, no se deben agregar utilizando fertilizantes químicos que provienen de la industria, los cuales a su vez utilizan recursos no renovables para producirlo. Es sabido que la energía necesaria para producir fertilizante químico proviene de la incineración de petróleo. Usando fósforo y nitrógeno proveniente de composta, no se usa un recurso no renovable porque se está reciclando un residuo. Aunque parezca trillado hablar de ello, se trata de un discurso que no debe abandonarse, en cuanto que concierne a la salvaguardia del ambiente y el uso de recursos no renovables; además de la salvaguardia de la fertilidad del suelo.

En trabajos análogos, particularmente RMSB001 y RMSB002 han colaborado con empresas que se dedican a producir piel y fertilizantes resultantes<sup>131</sup>. De este proceso se originan fangos muy ricos en proteínas y diversos nutrientes orgánicos, pues derivan de la piel animal. El nutriente que más interesa en agricultura es el nitrógeno, debido a que representa el principal elemento para la fertilidad del suelo, y en especial, este tipo de fango lo contiene. En tal sentido, quemar el fango o darle cualquier otro uso que no sea su reciclaje es inadecuado. Su uso en agricultura es posible, al igual que los fangos urbanos en lugar de utilizar fertilizantes químicos. Por otra parte, este tipo de fango es más apreciado porque se pueden obtener aminoácidos que encuentran aplicación en cosméticos o fármacos. Un reto importante para el empleo de este residuo, o como lo prefieren llamar sub-producto, es el manejo de los metales que contiene. El contenido de cromo es considerable y su presencia implica precauciones mayores para utilizarlo en agricultura, medicamentos o cosméticos. De hecho, una de las colaboraciones del grupo con la empresa ILSA nació con la intención de buscar métodos para reducir el cromo; sin embargo, aunque ha sido posible su reducción aún no existen métodos para eliminarlo totalmente. Incluso la empresa actualmente tiene un proyecto financiado por la Unión Europea, que busca eliminar el cromo del proceso de producción de la piel y por ende del fango o sub-producto resultante.

Al final, el tipo de trabajo que realiza este grupo de investigación conserva el discurso de la agricultura sustentable. El menor uso de fertilizantes químicos y el mayor uso de fertilizantes orgánicos o “naturales”. RMSB001 nos recuerda que el ciclo interrumpido de los

---

<sup>131</sup> Principalmente con las empresas italianas SICIT e ILSA, respectivamente.

elementos esenciales para la producción agrícola al final obliga a productores, investigadores, y organismos gubernamentales a reconocer su urgencia. Es sabido que los elementos esenciales para la producción agrícola son principalmente el nitrógeno, el fósforo y el potasio; y que la fertilización con fósforo además de indispensable es prácticamente insustituible. Pero mientras el nitrógeno representa menos problemas en términos de su utilización en agricultura, el asunto con el fósforo es completamente diferente. Por una parte, el nitrógeno atmosférico representa una fuente “interminable” porque su ciclo es relativamente rápido. A inicios del siglo pasado se creó un proceso industrial que permite movilizar el nitrógeno atmosférico para producir fertilizante con nitrógeno; y cerca del 80 por ciento del aire que respiramos está compuesto de éste. En tanto, el nitrógeno regresa a la atmósfera en forma de gas (N<sub>2</sub>). Sin embargo, en el caso del fósforo éste representa una fuente no renovable porque proviene de las rocas fosfóricas; fosfatos de calcio formados en las eras geológicas. Se trata de fosfatos de calcio que derivan del exoesqueleto de animales prehistóricos que con el tiempo se almacenaron formando depósitos organógenos. Por tanto, es necesario pensar en las rocas fosfóricas como yacimientos de petróleo, en tanto que también son una fuente no renovable. Y efectivamente, así como es calculado para el petróleo, se prevé que entre el 2030 y el 2050 se alcanzará el pico del fosfato; lo que significa que globalmente se alcanzará el máximo de la extracción de las rocas fosfóricas, lo cual producirá una disminución en su extracción, y el aumento en su costo. Según RMSB001, Estados Unidos ha frenado la venta de fósforo al exterior, siendo un país donde se encuentran los más grandes yacimientos de estas rocas, las consideran reservas estratégicas. La otra reserva importante se encuentra en África, con quien ya han hecho acuerdos comerciales, mientras en el caso de Europa lo deben importar, al igual que otros países, entre ellos los latinoamericanos, que no cuentan con grandes reservas. En este panorama, y dado la dependencia que se prevé de este elemento, antes de llegar al punto crítico es necesario reutilizar el fosfato que se pierde. La explicación que nos ofrece RMSB001 al respecto, en palabras simples nos sirve para concebir que son necesarios varios procesos de innovación también para este asunto. Como se mencionaba anteriormente, el ciclo del nitrógeno utilizado en agricultura es relativamente rápido. Lo que no sucede con el fósforo, ya que después de ser extraído de las rocas e inmerso en el ciclo productivo, su regreso al suelo bajo forma de fosfatos implica eras geológicas; millones de años. Así, el único ciclo que se puede pensar para aprovechar el fosfato “desperdiciado” involucra a los residuos orgánicos. En forma simplificada, el problema se presenta de la siguiente manera: el fosfato se extrae de las minas y se mete al ciclo productivo en forma de fertilizante, el fertilizante va al suelo en el cual se cultivan plantas. Una parte del fosfato, en tanto, va a las

plantas que a su vez son consumidas por el hombre, y posteriormente terminan en los residuos que cierran un ciclo. Durante este largo proceso se desperdicia una cantidad relevante de fosfato, de manera que en los residuos orgánicos existe una gran cantidad de fosfato que no está regresando al suelo; y que puede ser devuelto al mismo bajo la idea del reciclado de biomásas. El equipo de investigación tiene en perspectiva proyectos con HERA u otras compañías, con el propósito de identificar las diversas tipologías de fosfato que están presentes en los residuos orgánicos. De manera que se pueda determinar cuánto de este fosfato puede ser reutilizable o disponible para la nutrición de plantas; y posteriormente llegar a una segunda fase en donde se pueda valorizar el fosfato y los productos que contengan fosfato, en modo que se pueda reciclar inmediatamente al suelo en vez de que se disperse finalmente en el agua.

Por otra parte, un discurso similar sucede con el potasio porque también proviene de las minas, y éstas se agotan. Para RMSB001 el problema de fondo es que la sociedad se ha estructurado de manera tal que el suelo está excluido de los procesos de reciclado de residuos. Todo lo que llega a la ciudad termina en los incineradores o purificadores. En tal caso, los elementos nutritivos que derivan de los tratamientos de residuos no regresan al suelo, sino que terminan en la atmósfera o directamente en el agua. Es claro que si se excluye al suelo los elementos se acumulan en el agua y la atmósfera, creando contaminación y al mismo tiempo empobrecimiento del suelo. De no interrumpirse los ciclos productivos agrícolas como se encuentran, será necesario siempre mayor cantidad de fertilizantes químicos y por ende la utilización de recursos no renovables para su producción, como el petróleo, el fosfato, o el potasio. Existen otros elementos que también requieren consideración, sin embargo, RMSB001 enfatiza que el *focus* principal debe ser el fosfato.

#### **4.6.4 Agricultura de maíz e inoculantes**

El caso de AMIB001 es particular porque se trata del investigador con el mayor número de solicitudes de patente de la Facultad de Agraria (4 patentes compartidas con empresas). Si se considera toda el área de biotecnología y agroalimentación en la UNIBO, sería el segundo investigador con el mayor número de patentes después del grupo de USAB001 de la Facultad de Química Industrial (quien ha registrado 11). Sin embargo, a diferencia de USAB001, AMIB001 ha recibido financiamiento exclusivamente de la industria para sus investigaciones.

El grupo de AMIB001 se compone por estudiantes de licenciatura y doctorado. Aunque en el fondo la disciplina de la que se ocupa es similar al grupo anterior (bioquímica),

la especialización de su trabajo se orienta a la microbiología y el empleo de técnicas de control biológico. Es decir, también se ocupa de restauración de suelos y patología vegetal, pero trabaja en forma independiente de todo el conjunto de profesores de la facultad. Además del grupo de jóvenes de quien se ayuda, su colaboración en investigación se da principalmente con investigadores del departamento de agricultura de los Estados Unidos (USDA) en donde realizó una estancia de investigación, y otros investigadores que trabajan en las empresas que le han financiado.

Desde que era estudiante de licenciatura AMIB001 ya trabajaba como técnico desarrollando productos aplicados a la agricultura con empresas locales. Él mismo narra que lograba obtener contratos limitados con algunas empresas para subsistir antes y después de realizar el doctorado. Sin embargo, lo que considera como un largo periodo de precario después del doctorado le dio la posibilidad de trabajar con varias empresas, estimulando su creatividad más por necesidad que por gusto. Temáticamente, la tesis de su doctorado emplea como argumento la dispersión ambiental de los herbicidas; estudiando los efectos negativos del uso de herbicidas principalmente en el suelo y el agua. Para AMIB001, se trataba del tipo de trabajos que académicamente son aceptables, se argumentan, se publican, pero en términos del desarrollo de una tecnología es un tipo de trabajo limitante; en el sentido de que se analizan solamente los defectos de un producto. Al mismo tiempo el concepto de control biológico comenzaba a tomar forma y difundirse a nivel internacional; estas técnicas fueron desarrolladas por investigadores del USDA en Misisipi durante los noventas. En tanto, AMIB001, estudiando herbicidas sintéticos (químicos) se cuestionaba si sería capaz de inventar algo alternativo. Así, comienza a especializarse en microbiología aplicada.

Un momento crucial en la carrera de AMIB001 es la forma en la que se especializó en microbiología, ya que lo hizo realizando estancias en laboratorios de California, la universidad de Minnesota, y en el departamento de agricultura (USDA) en Misisipi. Especialmente, el viaje a Misisipi le abrió un panorama desconocido para él hasta entonces, porque se trata de una de las zonas agrícolas más fértiles en el mundo; sitio prevalentemente en llanura con altas temperaturas pero gran cantidad de agua. Es ahí donde desarrolla la idea de lo que está detrás de su primer patente: gránulos de bioplástico, composición para biocontrol. Se trata de una formulación a base de bioplástico que incorpora microorganismos inoculados que sirven para la defensa de *Aspergillus Flavus*, uno de los principales hongos que atacan al maíz y producen aflatoxina. Establece contactos de amistad con un investigador especialista en patología vegetal que se ocupa del estudio de este hongo, y aunque este personaje le regala un viejo libro de patología, AMIB001 no pensaba en llegar a apasionarse



de la materia, pero después de dar una visita guiada a los laboratorios del USDA, en palabras de AMIB001, los ojos se le abrieron. Trabaja entonces en forma independiente documentando información, de forma que su idea de usar gránulos de bioplástico toma forma, uno o dos meses después de la visita a los laboratorios. Así, desde el año 2006 no pasa día en el que AMIB001 no dedique al menos cinco horas de su jornada a estudiar el bioplástico. Una de las ventajas que ofrece la formulación de AMIB001 es que logra un producto más uniforme, los gránulos se elaboran a base de almidón para inocular un hongo “benéfico” y esparcirlo en el terreno. Desde el punto de vista tecnológico es más avanzado porque en este tipo de gránulos se conserva el hongo inoculado por mayor tiempo.

Pero para entender el producto de AMIB001 debemos saber que el *Aspergillus Flavus* es un hongo que crece fácilmente en diversos ambientes, crece por doquier, evidentemente en los cultivos existe. Incluso en los hospitales su presencia es un peligro en una sala quirúrgica, cuando los pacientes están más débiles el hongo puede crear problemas que conduzcan a la muerte, ya que puede entrar por vías respiratorias. Estos problemas se relacionan con las aflatoxinas, las moléculas o metabolitos secundarios que produce el hongo. El asunto clave es que existe un consenso científico acerca de que las aflatoxinas son cancerígenas. Ahora bien, siendo un hongo *ubiquitario*, a diferencia de otros patógenos es difícil combatirlo, y el uso de los agrofarmacos sintéticos que existen no es suficiente. La única posibilidad que se tenía era utilizar las tradicionales técnicas agronómicas de rotación; por ejemplo no debe cultivarse nunca maíz sobre maíz, sino alternarlo con otros cultivos. Aún así, este tipo de técnicas no es suficiente. Durante los noventa, algunos investigadores del USDA desarrollaron la técnica del control biológico o combate biológico, como alternativa para combatir el *Aspergillus Flavus*. Partiendo del concepto de que no todas las cepas de *Aspergillus Flavus* producen aflatoxinas, los investigadores producían en el laboratorio una cantidad elevada de inóculo de *Aspergillus Flavus* no aflatoxénico y lo probaban en campo, con el propósito de que predominara sobre del *Aspergillus Flavus* aflatoxénico. Ahora esta técnica de control biológico es bastante común entre los especialistas, pero para lograr esto, para vincular el hongo bueno del campo usaban semillas de cereal desactivadas. Es decir, esparcían en el campo semillas de cereal inoculadas con *Aspergillus Flavus* no aflatoxénico, después este hongo crece y recubre al *Aspergillus Flavus* aflatoxénico. La técnica puede utilizarse para algodón, maíz, cacahuate, etc. A finales de los noventa, los mismos investigadores modificaron la técnica de inoculación, utilizando la máquina que se usan en las plantas japonesas para producir Koji, que es una bebida a base de un fermentado de soya. Los investigadores del USDA utilizaban esta máquina para revestir las semillas de cereal con una

sustancia que contenía las esporas del hongo *Aspergillus*. De hecho, una pequeña empresa comenzó a producir este nuevo producto hasta que pocos años después la propia Syngenta<sup>132</sup> adquirió toda la empresa. Conociendo esta experiencia, AMIB001 piensa en la idea de remplazar las semillas de cereal con algo más tecnológico; precisamente si los cereales están contruidos principalmente de almidón él, utilizando gránulos de bioplástico a base de almidón, realizaba prácticamente el mismo trabajo. Pero ofreciendo al agricultor un producto más elevado desde el punto de vista tecnológico, más puro (no usaba más semillas de cereal), más uniforme y que conserva por mayor tiempo al hongo inoculado. Asimismo, el concepto puede aplicarse a muchos otros hongos utilizados en las técnicas de control biológico.

Posteriormente, AMIB001 presenta su trabajo a su colega del USDA, quien a su vez provenía del mundo industrial ya que era dirigente de una empresa canadiense, especializada en microbiología aplicada a la agricultura. De manera que solicitan la patente en conjunto y aún se encuentran explorando las mejores posibilidades de comercialización. Para AMIB001 este tipo de productos son los que prevalecerán en el futuro, pues representan un sector de punta.

Un asunto difícil de manejar para AMIB001 son las implicaciones que tiene el trabajar siempre con financiamiento de empresas. Las cuatro patentes con las que cuenta son producto de investigaciones financiadas con fondos privados. Principalmente ha colaborado con Syngenta, HERA spa., RIFF 98 Società Cooperativa, y recientemente ha comenzado a tener contacto con Bayer. Pero el trabajar con empresas implica la firma de contratos de investigación comisionada, llevados a cabo en los términos legales que la UNIBO prevé; en términos prácticos la difusión del trabajo que realiza es limitada porque los contratos contemplan cláusulas de *secret agreement*. En tal caso, él mismo no puede abiertamente ofrecer seminarios como el resto de profesores, e incluso los jóvenes que trabajan con él no pueden hablar abiertamente del trabajo que están realizando. De manera que en palabras del propio AMIB001 significa trabajar en lo oscuro. No sólo él, sino todo el grupo de colaboradores se encuentran de cierto modo aislados del conjunto de profesores y demás estudiantes de la facultad. No es que existan fricciones, sino más bien que el tipo de carrera que ha hecho AMIB001 es diferente al profesor tradicional de la Facultad de Agraria. Para AMIB001, de alguna forma quien realiza investigación comisionada e investigación en modo tradicional (con fondos públicos) se miran mal mutuamente. En el caso de AMIB001, ya que desde estudiante es una persona que ha trabajado vinculado totalmente con empresas, y por

---

<sup>132</sup>En biotecnología, Syngenta es prácticamente la empresa más grande productora de agroquímicos y semillas. [www.syngenta.com](http://www.syngenta.com)

tanto ha desarrollado la habilidad de financiarse por empresas en lugar de competir por fondos públicos. Además, él mismo describe que la dinámica de la investigación con empresas le provoca sentirse en una especie de jaula, sobre todo por las limitaciones del *secret agreement*. Por lo cual lo que le viene a la mente es trabajar en otra investigación que finalizará en patente y pasar de la jaula X a la jaula Y. Al final, él considera que este modo de trabajo lo mantendrá durante toda su carrera, incluso no excluye la posibilidad de que terminará trabajando en el mundo industrial en el futuro, con alguna de las empresas con las que ya ha colaborado.

#### **4.6.5 Mecanización agrícola**

La mayor parte de los casos que revisamos corresponden a investigadores que tienen como formación de base la química y la biología, así como subespecialidades que están ligadas a procesos de ingeniería: bioquímica, biotecnología, etc. Sin embargo, otros investigadores como MAB001 se han especializado en la mecanización agrícola. MAB001, quien se formó en realidad en ciencias agrícolas, ha trabajado en varios procesos de innovación con el apoyo y retroalimentación de empresas. El principal trabajo que ha desarrollado al respecto es la construcción de máquinas para intervenir en diferentes fases del proceso agrícola. Específicamente, a lo largo de sus carrera MAB001 ha dedicado sus actividades de docencia e investigación al tratamiento de terrenos, la distribución de productos antiparasitarios, la distribución de fertilizantes, la automatización de máquinas agrícolas, y de manera muy importante a la actividad viticultora, es decir, la producción de la uva y su transformación. Siempre en los aspectos relacionados a la mecanización del trabajo. Las investigaciones de MAB001, que han sido desarrolladas involucrando a sus estudiantes de doctorado y han sido financiadas en parte por empresas, han dado lugar a las cuatro invenciones que aquí mencionamos.

La primera se refiere a una máquina que permite la distribución de artrópodos u otros microorganismos, útiles para el control biológico. El problema principal que resuelve la máquina es dar un tratamiento adecuado a los microorganismos, ya que son bastante delicados y pueden dañarse fácilmente. De hecho, actualmente quienes los utilizan los dispersan sobre el campo en forma manual. En el ámbito europeo han existido proyectos en los que han propuesto diversas máquinas, pero no existe aún una mecanización total para este proceso. En un principio, MAB001 comenzó a trabajar con una empresa llamada BIOPLANET (<http://bioplanet.it/it/>) ubicada en Cesena para desarrollar la máquina. Se trata de las pocas

empresas italianas, en aquella época la única, que produce estos microorganismos. En términos prácticos la máquina permitía ahorrar el trabajo de la mano de obra, pero tecnológicamente implicaba desarrollar un aparato capaz de dispersar meticulosamente los microorganismos sin dañar su integridad física. Así, la idea tomó forma cuando MAB001 se puso a dialogar con los trabajadores de la BIOPLANET, quienes le explicaron las problemáticas del comportamiento de los microorganismos. Se trata de microorganismos que deben mantenerse en un ambiente húmedo, en general, y deben ser esparcidos usando como sustrato la vermiculita, mineral que a su vez tiene dimensiones milimétricas. Conociendo estas problemáticas, MAB001 y su equipo, se dieron a la tarea de realizar distintas pruebas para encontrar un sistema de dispersión que pudiera regular no sólo el lanzamiento de los microorganismos en campo, sino la cantidad de microorganismos lanzados. De manera que, antes de que surgiera el sistema que adoptaron al final (bastante simple en palabras de MAB001), el equipo realizó un sinnúmero de pruebas sin ninguna validez.

No obstante se había logrado una invención útil, su implementación industrial presentó complicaciones determinantes. Uno de los problemas principales que frenó el uso de la máquina de MAB001 no fue la eficacia de la máquina en sí, sino el dilema que enfrentan los productores de continuar o no con las técnicas de control biológico, ya que si bien la técnica implica menor uso de productos químicos, en general su adopción implica un costo mayor. Así, aunque en 2001 se obtuvo la patente de la máquina con el apoyo de la UNIBO, su implementación se vio frenada al igual que la comercialización de los microorganismos para el control biológico, por lo que la empresa BIOPLANET abandonó su uso. Después de casi diez años, una empresa diferente mostró interés, la VIBI SPRAYERS srl que se encuentra en Ferrara ([www.vibisprayers.com](http://www.vibisprayers.com)). MAB001 continuó desarrollando la máquina con esta empresa, quien al final la adquirió. Se obtuvo finalmente una construcción más refinada de la máquina, la obtención de un premio a la innovación en la feria EIMA<sup>133</sup>, y la publicación de artículos internacionales con muy buen reconocimiento, pero al final, una comercialización limitada por parte de la VIBI SPRAYERS.

En el año 2000 MAB001 se hizo cargo de los cursos de *Laurea* (licenciatura) relacionados con la viticultura, por lo que sus actividades de investigación dieron un giro al estudio de las máquinas para el viñedo y la producción del vino en bodega. En especial, el interés de MAB001 y los estudiantes de doctorado que trabajaban con él, se centró en las máquinas cosechadoras de uva. Se dieron cuenta de que varias de estas máquinas, aún siendo

---

<sup>133</sup> EIMA es una feria internacional con gran tradición en Italia que se lleva a cabo cada dos años en Bolonia desde 1969, y donde se exhiben máquinas para la agricultura y la jardinería. Es organizada por la Federación Nacional de Constructores de Maquinas para la Agricultura, y actualmente reúne a más de 1800 empresas expositoras; aproximadamente 600 de ellas extranjeras.

sofisticadas, complejas y costosas, no disponían de ningún sistema de verificación del trabajo realizado. A diferencia de la cosechadora de uva, las máquinas que cosechan granos cuentan con un sistema de control que avisa al operador si está perdiendo granos a un cierto punto, y si el producto está limpio o no, de manera que el operador de la máquina cuenta con un control constante de la cosecha, al momento que la va realizando. En la cosecha de la uva el operador sólo se basa en su experiencia para calcular el producto que va perdiendo; operativamente no es un cálculo fácil porque va manejando la máquina y sólo ve el producto que le falta por recolectar, pasa la máquina y el resultado lo obtiene al final; de esta forma, sólo puede darse cuenta del producto que va perdiendo si frena la máquina. Ahora bien, existen dos tipos de pérdidas en la cosecha de la uva: la primera es visible y refiere a los granos no recolectados por la máquina, la segunda en cambio es más engañosa pero más importante, porque es la del mosto libre (el primer líquido de la uva antes de fermentar). El mosto puede permanecer adherido a la vegetación o bien salir de los aparatos utilizados en la cosecha, cuando se opera la cosechadora una cantidad de mosto se pierde en el campo. Posteriormente, la uva se limpia parcialmente antes de ir a las tolvas, aspirando las hojas que se han unido a la uva, es el primer paso para la preparación del mosto ya planificado. Se trata entonces de una pérdida importante, porque puede alcanzar hasta el cinco por ciento de todo el producto recolectado; económicamente puede representar cientos de euros en cada kilo. En cálculos de MAB001, para un productor la pérdida se puede equiparar a un valor igual o superior al costo del alquiler de la máquina cosechadora, y no cuenta con ningún instrumento para evaluarla. De cualquier forma, es una pérdida para tomarse en consideración. A través de un instrumento que mide la humedad del flujo de aire que sale de los ventiladores del sistema de limpieza de la máquina cosechadora, el dispositivo de MAB001 permitía determinar si la pérdida era alta, media o baja. De manera que si la humedad es elevada indica que existe mosto, y al contrario si la humedad es baja quiere decir que no existe mosto, o se tiene poca cantidad. Así, el operador puede contar con una estima mucho más precisa de la pérdida que tiene, mientras que opera la máquina en modo de evitar producir mosto.

El aparato electrónico de MAB001 fue patentado también con el apoyo de la UNIBO, y existieron diversos intentos de comercialización con las principales empresas que construyen este tipo de maquinaria a nivel internacional (Grégoire, Pellenc, Braud). Sin embargo, los intentos no fructificaron. MAB001 menciona que al momento de presentar la máquina los empresarios tenían mucho entusiasmo pero posteriormente se perdía. En su opinión, tal vez el título de la patente debía ser diverso, porque a ninguno le gusta aceptar que

la propia máquina tiene pérdidas. Aun así, la patente fue otorgada en licencia por algunos años a una empresa local, sin que llegase a representar una grande aplicación de la máquina.

Aunque el propio MAB001 menciona que sus invenciones no tuvieron gran éxito comercial, la experiencia le dejó dos beneficios importantes: el primero es la interacción con los técnicos de las empresas con lo cual retroalimenta su propio conocimiento de la viticultura, y el segundo la creación de más ideas de invenciones.

En la fase casi rutinaria de poda del viñedo, es sabido que deben eliminarse las ramas viejas y dejar las ramas nuevas. De lo contrario, si se dejan las ramas viejas el error no es irrecuperable, pero con los años esto se convierte en un peso importante para la planta. De modo que, para mantener saludable a la planta debe tenerse cuidado en distinguir bien cual rama podar. Parece una operación simple pero no lo es, sobre todo porque si se poda en días lluviosos o con cierta humedad, no se logra distinguir entre ramas viejas y nuevas. Analizando el problema MAB002, uno de los principales estudiantes de doctorado de MAB001, dice a manera de broma “debiéramos colorearlos”. Con más seriedad, se dan a la tarea de hacerlo realidad. Varios problemas había que resolver, antes que nada debían decidir cuándo podar y con cuál tinta. Piensan entonces en hacer un programa para colorear después de la última poda. De tal forma que, al año siguiente con la nueva poda se podrían encontrar las viejas ramas marcadas y las nuevas evidentemente no marcadas. Así, el nuevo método implicaba podar simplemente las ramas coloreadas. Sin embargo, el asunto de la tinta no fue fácil de resolver porque era necesario que al menos durase un año y además que fuera idónea para productos alimenticios. Después de buscar varias soluciones, MAB001 recurre a la empresa MASIBO de Bolonia ([www.masibo.it](http://www.masibo.it)), una empresa local que produce pinturas y barnices, y ésta realiza varios intentos hasta que encuentra una composición útil. Aún quedaba el asunto de la aplicación, es decir, no podía barnizarse todo el viñedo; así que elaboraron en colaboración con otra empresa, un sistema de distribución de la pintura adaptando una máquina ya existente.

En este caso, MAB001, presentó la idea a la UNIBO con la intención de patentarla, pero no obtuvo una respuesta positiva. Más bien, entendió que debía desarrollarla solo y si tenía fortuna de cualquier manera habría un beneficio económico para la universidad. De manera que registró la patente por cuenta propia en 2005. A pesar de que esta invención también fue puesta en operación con una empresa, al final no existió un gran éxito comercial. El método es una buena idea, pero al final, no significa un ahorro significativo para quien lo emplea. Lo que obtiene el productor es una mejora en la calidad del trabajo. Se hace más rápido el trabajo de poda, pero lo que se ahorra en tiempo al parecer no es mayor al gasto que

debe hacerse para barnizar el viñedo. Personalmente aun tengo dudas sobre si estos cálculos son adecuados, o la valorización de MAB001 y la negociación con las empresas es lo que falló, ya que cualquier sistema que implica precisión de este tipo debería hacer ver las ventajas que se tienen a largo plazo. Al final, la precisión implica siempre ganancias económicas. Al mantener la planta saludable debería obtenerse necesariamente fruta de mejor calidad. Si se recuerda los comentarios de FRC002, la propia dimensión de las frutas está relacionada con la ligereza de la planta; cuanto más si se mantiene saludable y ligera podando exactamente la parte que se debe.

La última invención desarrollada por MAB001 y MAB002 corresponde a un método para separar el mosto que se libera durante la cosecha mecánica. Ya se ha explicado que durante la cosecha mecánica existe una pérdida de la parte líquida de la uva que se recoge; y la segunda invención de MAB001 mide esta pérdida de mosto. Ahora bien, el mosto libre es un problema porque crea una peor calidad del producto, ya que puede generar fermentaciones indeseadas. Se puede oxidar y por tanto el vino que será elaborado con este producto será de peor calidad. Es decir, en el momento de la cosecha mecánica se recoge un producto íntegro, que tiene la máxima calidad; pero cuando se lleva a la bodega esta calidad se puede ver disminuida en función de la fermentación u oxidación ya efectuada por el mosto libre. Normalmente, del campo a la bodega tanto la uva como el mosto se dejan en ese estado, sin embargo, si se logra dividir el mosto y la uva (sin mosto) se logra dejar inalterada la calidad del producto. La división propuesta por MAB001 consistía en una máquina (un carro) que empleaba algunos productos químicos y aditivos físicos, para garantizar la conservación de la calidad del producto. MAB001 solicitó la patente de esta maquina en 2007, pero desde el inicio era difícil obtenerla. Ya se encontraban en operación máquinas que parcialmente separaban la fracción líquida de la fracción sólida de la uva cosechada. Aunque estaban más enfocadas en el manejo del producto y no en un tratamiento químico-físico como el propuesto por MAB001, era difícil demostrar la originalidad de la invención. De igual manera, en caso de que alguien más construyese la máquina era difícil defender que toda la idea pertenecía a MAB001 y MAB002.

En el ánimo de MAB001 estas experiencias le han creado insatisfacción y desilusión. Han significado buenas ideas, pero sin que logran desatar una real ventaja comercial para quien las puso en operación. Cabe la duda si se trata de una gestión deficiente de las invenciones, o realmente no tenían más futuro en su puesta en operación. Lo que es seguro es que han significado un contacto permanente de MAB001 con las empresas que se dedican a su objeto de estudio. No es poca cosa, porque dedicándose a la viticultura sus actividades de

docencia e investigación se mantienen a la vanguardia de los conocimientos que se están en empleando localmente. Un aspecto especial de MAB001 es la cantidad de alumnos a quien da guía en tirocinio: al menos 2 veces por año, en 25 años de trabajo, evidentemente facilitando el tránsito de sus estudiantes con las empresas que conoce. Además de que en al menos en 10 ocasiones ha tenido acceso a maquinaria, material y financiamiento de sus investigaciones por parte de las empresas. Con la información que contamos, no es claro establecer qué empresas financiaron, y al final pusieron en operación por algún tiempo, las invenciones de MAB001 pero en su currículum aparecen claramente las siguientes: VIBI SPRAYERS srl, TANESINI TECHNOLOGY srl, ALLVINEYARD srl, OFFICINE TERPA srl. Aun así el financiamiento que ha recibido para sus investigaciones en su mayor parte es completamente público, o compartido entre fondos públicos y privados.

#### **4.6.6 Conservación, estabilización de alimentos y probióticos**

##### CEAP001 y los lípidos

Un caso que pareciera no implicar procesos de innovación, pero paradójicamente parece tener más interacción con la industria es el caso de la Dra. CEAP001. Se trata de una investigadora de origen mexicano que se integró como investigadora de la Universidad de Bolonia a finales de la década de los noventas. Es el único caso que se incluye en nuestro estudio de una persona que obtuvo financiamiento para realizar su maestría y doctorado por empresas<sup>134</sup>. En un principio, CEAP001 recibió una beca de la Universidad de Massachusetts que a su vez era financiada por la industria. En su caso, los fondos provenían de una empresa relacionada con la Ocean Spray Cranberries, Inc., bajo un proyecto de recuperación de proteínas y su aplicación como fertilizante para cultivo de mirtillo. Y la segunda provenía de la National Navy Board, bajo un proyecto con el Natick club, que es el conjunto de laboratorios de R&D del ejército norteamericano<sup>135</sup>, que produce alimentos para el consumo de la propia milicia. A causa de importaciones y exportaciones de aceites, tenían la necesidad de reformular productos con alto valor energético que pudieran usarse como barras de consumo inmediato por los soldados. En el caso del doctorado, CEAP001 consiguió financiamiento de la empresa Villani<sup>136</sup>, empresa italiana de embutidos, realizando caracterización de sus productos,

---

<sup>134</sup> Excepto por Luigi Manfrini que también fue financiado para realizar estudios de doctorado por una cooperativa de fruticultores.

<sup>135</sup> <http://www.army.mil/info/organization/natick/>

<sup>136</sup> [www.villanisalumi.it](http://www.villanisalumi.it)



encontrando marcadores (*traccianti*) químicos para comprobar la fermentación correcta de los productos, estabilización del producto y la propia conservación o alargamiento de vida del producto en anaquel. Sin embargo, el trabajo de CEAP001 desde que estudió su maestría ha girado en torno al estudio de los lípidos. Ese enfoque la ha llevado a interactuar intensamente con empresas, entre otras actividades, ofreciendo consultorías, realizando proyectos de investigación y desarrollo, formando estudiantes de posgrado y colocándolos en empresas, así como efectuando guía de prácticas profesionales en alumnos de licenciatura. Esto se debe, principalmente a que su trabajo se inserta directamente en procesos conocidos por las empresas y en el cual ven una aplicación directa. Tal como ella lo explica en el trabajo que realizó con la Villani.

Ahora bien, el trabajo de investigación de CEAP001 parte desde la química, estabilización, caracterización de alimentos (por ejemplo en el aceite de oliva u otros de origen vegetal y animal), así como de subproductos agroindustriales de origen lipófilo y valorización de los mismos. De cierta forma abarca toda la cadena de producción, desde el punto de vista de los lípidos. Todo su trabajo gira alrededor de los lípidos, las grasas y los aceites. El estudio de los lípidos ha sido importante para CEAP001 porque la estabilidad de muchos alimentos depende, desde el punto de vista químico, de la estabilidad de éstos. Entonces, si uno no conoce a detalle la matriz del alimento con el que se trabaja, no puede estabilizarlo. De ahí su interés en conocer su estructura y organización, así como el estudio de las emulsiones, las modificaciones posibles y su estabilización posterior, a través de ingredientes adicionales y el empaque adecuado. Durante la maestría CEAP001 trabajaba en procesos de recuperación de proteínas a partir de desechos de pesquería (filete de pescado), pero participó en un proyecto sobre análisis de lípidos y a partir de ahí cambió la dirección de su trabajo. Una fuente de inspiración importante para ello la representó Wassef W. Nawar, considerado en el medio como un “gurú” de la química de lípidos. Trabajando en planta piloto con proteínas, CEAP001 no tiene la oportunidad de ambientarse a un laboratorio, sino hasta que comienza a trabajar con lípidos. Así, aprende a trabajar a pequeña escala, con procesamiento de datos, y análisis de mecanismos químicos. Posteriormente, por motivos personales se traslada a Italia y comienza a realizar su doctorado.

Los principales trabajos de CEAP001 que involucran colaboración con empresas se pueden ubicar en tres áreas productivas: el aceite de oliva, los productos lácteos y los cárnicos. CEAP001 es parte de un grupo de investigación que se ha especializado en el análisis de aceites y grasas; no está de más decir que el aceite de oliva es un producto muy apreciado especialmente en Europa. Como otros grupos de investigación, nace con la

iniciativa de un investigador que va incorporando estudiantes y otros investigadores que colaboran en las mismas líneas de investigación y desarrollan otras propias. En este caso, el grupo es bastante amplio, entre otros investigadores se encuentra la profesora Tullia Gallina Toschi y Maria Caboni. En su momento, muchos de los nexos del grupo con empresas productoras y embotelladoras de aceites, provinieron de los contactos informales establecidos por el profesor Giovanni Lercker. De esta forma, el grupo se conforma dando atención a la necesidad de evaluar la calidad de los aceites. En ese momento, la industria “formal” de los aceites en su conjunto luchaba por combatir los fraudes relacionados con la autenticidad del aceite. Existía una proliferación muy fuerte de aceites adulterados; aceites vegetales mezclados con diversas sustancias, pero que no reúnen las características para considerarse aceite extravirgen de oliva. El grupo se especializa en identificar estos fraudes. La autenticidad del aceite en Italia es un asunto muy importante, en comparación con otros países extraeuropeos donde existe mayor libertad para poder mezclarlos; la reglamentación en Italia al respecto es bastante estricta. Así, el trabajo que desarrolla el grupo considera la caracterización del aceite, la evaluación sobre cuánto es estable en el tiempo y cómo se comporta el producto en crudo y usado en fritura. De igual forma, estudian los componentes volátiles, es decir, los compuestos que dan el aroma del aceite y se desarrollan por su degradación. Desarrollan métodos para tratar dichos compuestos y evitar que el olor percibido por el consumidor conduzca al rechazo del producto. Otros miembros del grupo incluso desarrollan cursos de análisis sensorial del aceite, o sus aplicaciones en productos específicos (bizcochos, panadería, pasta). El asunto de la caracterización, estabilización y vida de anaquel, aunque pareciera una actividad muy conocida por los especialistas y hasta rutinaria, no lo es si se considera que la refinación de los aceites afecta también la calidad y estabilidad, así que deben estudiar los componentes que cambian y cómo se modifican durante la vida de anaquel del producto. El grupo colabora principalmente con las empresas italianas más grandes que se dedican a embotellar el aceite. En este aspecto, es un grupo muy conocido en Italia porque existen pocos expertos de este tipo en el país.

En el caso de los productos lácteos, CEAP001 y el grupo han mantenido colaboración también con las empresas italianas más grandes productoras de leche y derivados; sobre todo con el propósito de desarrollar nuevos productos. Aquí su trabajo ha sido un tanto complementario, ya que estas empresas tienen la capacidad de evaluar ciertos componentes, y solicitan al grupo de CEAP001 analizar la estabilidad de aquellos componentes que no tienen la capacidad de analizar. Un asunto muy lógico, pero un beneficio importante de esta experiencia es que el financiamiento que provino de estas actividades durante los primeros

años en los que el equipo crecía permitió becar estudiantes, formarlos, y aumentar de manera significativa el equipamiento con el que contaba el grupo. El segundo oleaje importante de financiamiento corresponde al establecimiento del CIRI, del cual hablaremos más adelante.

Con relación a los cárnicos, las colaboraciones más importantes de CEAP001 iniciaron con la empresa Villani y otras empresas locales de Modena. Al igual que en el caso de los lácteos, el trabajo de CEAP001 aquí es complementario para evaluar la calidad de un producto. Y se suma a los proyectos de investigación que otros profesores establecen con empresas. Por ejemplo, quienes se ocupan de veterinaria, le solicitan evaluar la estabilidad de la carne de pollos o cerdos que fueron alimentados de un modo específico; asimismo para analizar huevos de gallina. De esta forma, CEAP001 analiza la estabilidad oxidativa, tocoferoles, antioxidantes y demás elementos de su especialidad. El asunto importante aquí, es que a través de estas actividades se ha abierto a colaborar cada vez más en grupos multidisciplinarios, en proyectos de investigación y desarrollo que involucran a la industria.

#### CEAP002 y los probióticos

El estudio del comportamiento de los microorganismos bajo diferentes alteraciones de su ambiente, es la base para la aplicación de la biotecnología en la estabilización y conservación de alimentos. De ahí la importancia del soporte a la investigación básica en este campo, en donde se encuentran las aplicaciones de la investigación una vez que se ha alcanzado un bagaje importante de conocimiento.

CEAP002 coordina un grupo muy importante de investigación en la Universidad de Bolonia, que se ha dedicado al estudio de probióticos desde la mitad de los años 60s del siglo pasado. En especial del bifidobacterium, que es considerado el más importante en el género de probióticos. El grupo de CEAP002 comenzó a estudiar la familia bifidobacterium en Italia como grupo único dedicado a esta labor. Aunque los primeros conceptos sobre este tipo de microorganismos provienen de esos años, el reconocimiento de su existencia y primera conceptualización proviene del inicio del siglo XX, con la publicación del libro “the prolongation of life” de Élie Metchnikoff, cuando trabajaba en el Instituto Pasteur de París. El mensaje principal de Metchnikoff hacía referencia a reconocer que las poblaciones balcánicas (Bulgaria, Rumania, etc.) que consumían gran cantidad de yogurt, tenían una expectativa de vida superior con respecto a otras poblaciones. Por tanto, él intuía que estos microorganismos tenían un efecto benéfico al momento de ingerirlo. Realizaba entonces estudios epidemiológicos y de inmunología. De hecho, es mejor conocido por ser pionero en la

investigación sobre el sistema inmunológico humano. Posterior a los trabajos de Metchnikoff, e inspirado en ellos, el segundo avance significativo en el conocimiento de estos microorganismos corresponde Minoru Shirota, quien desarrolla un lactobacilo (*Lactobacillus casei shirota*) capaz de destruir bacterias perjudiciales en el intestino humano. En 1930, Shirota trabajaba en un laboratorio de microbiología de la Universidad Imperial de Kyoto en Japón, y desarrolla este lactobacilo principalmente para dar atención a una infección intestinal muy fuerte que se había difundido en la población del Japón en esos años, la cual estaba conduciendo a la muerte de las personas. A través del producto desarrollado por Shirota se logra reducir significativamente la difusión de esta infección. Shirota trabaja con algunos financiamientos en el desarrollo de este producto líquido para que pueda comercializarse. En 1935 el producto se introduce al mercado con el nombre tan conocido hoy en día: Yakult. Posteriormente, Shirota, registraría Yakult como una marca comercial en 1938, y establecería en 1939 y 1950 respectivamente el centro de investigación Shirota y la empresa Yakult.

Posteriormente, el estudio “amplio” de estos microorganismos comienza en Europa y Estados Unidos en los años 70s. Al menos 10 años antes, el grupo de CEAP002 comienza a aislar este tipo de microorganismos en el campo humano y el campo animal, realizando una colección muy vasta. Sin embargo, CEAP002 inconscientemente había iniciado el estudio de la familia bifidobacterium, sin pensar ni siquiera en la aplicación de sus investigaciones. Actualmente, de acuerdo a CEAP002, la colección que han logrado de estos microorganismos es la más grande del mundo. Los estudios de CEAP002 y su grupo de investigación les han permitido individuar nuevas especies; aproximadamente han descrito más de dos tercios de genero de bifidobacterium conocidos hasta el momento. Con lo cual sus trabajos son reconocidos a nivel internacional en los manuales especializados, y en general el grupo es un referente importante en cuanto al estudio de probióticos.

Los probióticos son un tema central en las investigaciones del grupo de CEAP002. A través de los años, los proyectos de investigación del grupo han encontrado aplicaciones en el campo humano, animal y recientemente también en el vegetal. En estas tres áreas las colaboraciones que han establecido incluyen de manera muy importante la interacción con otros grupos de investigación en universidades e interacción con la empresa. En el ámbito académico las colaboraciones comprenden a gastroenterólogos, pediatras, entre otros especialistas de medicina; así como veterinarios y agrónomos. Tanto en la academia como en la industria, la colaboración de este grupo de investigación ha tenido financiamiento importante de recursos públicos, de forma compartida y en menor medida financiamiento exclusivo de empresas. En general CEAP002 estima que el financiamiento a sus

investigaciones ha provenido en un 80 por ciento de recursos públicos y el resto del sector privado. Sin embargo, en los últimos años, ha crecido cada vez más los proyectos de investigación y desarrollo financiados sólo por empresas.

En campo humano...

Entre las actividades más importantes que CEAP002 ha llevado a cabo con la industria, se han llevado a cabo a través de dos proyectos del sexto programa cuadro, auspiciado por la Unión Europea en el periodo 2005-2010: "Pathogen Combat" y "Quality Low Impact Food". Principalmente con las empresas italianas: Granarolo (<http://www.granarolo.com/>), Probiotal (<http://www.probiotal.com>), y Anidral. Uno de los proyectos preveía la colaboración con empresas en actividades de R&D. En general, con Granarolo la colaboración incluyó estudios de los efectos de los probióticos sobre la salud humana, pero también desarrollaron estudios de *shelf-life* en el yogurt, seleccionando microorganismos resistentes que pudieran tener una vida de anaquel más prolongada. Asimismo, el trabajo ha incluido aspectos más prácticos como verificar la veracidad de la caducidad de los productos ya comercializados en el mercado, para que en caso de una verificación por organismos certificadores pudiera ser sostenida. Con Anidral, específicamente las actividades se concentraron en estudiar las actividades de los nitratos para la prevención de la colonización intestinal de los patógenos.

La colaboración con Probiotal ha implicado la publicación de libros sobre resultados de investigación que corresponden principalmente a probióticos en campo humano, pero también en el campo animal. Probiotal es una empresa que tiene sede en Novara (Italia), pero en realidad sus productos se comercializan en todo el mundo. Es una empresa dedicada a la producción de probióticos y simbióticos de acuerdo con las especificidades de sus clientes, aplicados principalmente a la salud de la piel, salud vaginal, productos con actividad antioxidante, actividad antiinflamatoria, actividad de refuerzo a la defensa inmunitaria, digestión sana, y salud del aparato cardiocirculatorio, entre otros. La colaboración con Probiotal es importante por el tipo de empresa que significa; se trata de una empresa que realiza investigación en este campo de manera intensa. En su sitio web se pueden contabilizar 313 patentes, y en la prensa italiana se reporta que cuenta al menos con 60 títulos de ellas; de igual forma se pueden encontrar los *abstracts* de sus investigaciones.

Otro estudio interesante del grupo de CEAP002 está relacionado con la producción excesiva de gas en el intestino de neonatos. El grupo ha aplicado probióticos para reducir la incidencia del microorganismo que lo provoca: *Escherichia coli*.

En campo animal...

Entre otras colaboraciones, CEAP002 y su grupo han desarrollado probióticos en colaboración con empresas dedicadas a la zootecnia. Por ejemplo con NUTRECO (<http://www.nutreco.com/en/>), que es una empresa productora de alimentos para animales. El trabajo ha consistido en desarrollar probióticos revistiéndolos, de manera tal que puedan sobrevivir en los alimentos que comercializa la empresa y tenga un efecto positivo una vez que sea consumido por los animales.

Asimismo, en otro proyecto europeo, el grupo ha estudiado la presencia del microorganismo llamado campylobacter en el intestino de los pollos; que es considerado actualmente el mayor responsable de la toxiinfección alimenticia, de acuerdo a CEAP002 aún con mayor efecto que en el caso de la salmonela. De acuerdo con los especialistas, el microorganismo que mayor incide en las patologías que derivan de los alimentos es el campylobacter, porque es el microorganismo que se encuentra naturalmente en el intestino de los pollos. Las infecciones suceden en su mayor parte durante el sacrificio de los pollos y la preparación de la carne para su llegada al hogar. El problema es que el microorganismo no determina ninguna patología sobre el animal, éste se encuentra bien, pero lo determina después sobre el hombre cuando lo ingiere. El grupo de CEAP002 ha utilizado probióticos para reducir al 90 por ciento el campylobacter en el pollo.

En otros proyectos, el grupo también ha señalado que los probióticos son muy eficaces en la reducción de varias patologías en abejas. Es importante comercialmente, si se considera que utilizadas en cultivación de fruta por ejemplo, la polinización no es posible si las abejas desarrollan patologías y se limita su acción productiva.

En campo vegetal...

Una línea de investigación reciente del grupo tiene que ver con el estudio de probióticos en plantas; entendidos como el tipo de microorganismos que le dan una ventaja al *ospite*. Se pueden encontrar junto a las raíces, pueden entrar en la planta, o bien encontrarse en la parte externa de la propia planta. Por un lado, aumentan la capacidad de nutrición de la

planta, o bien hacen más disponibles los elementos que se encuentran en el suelo para que la planta pueda absorberlos. Como tal, estos microorganismos pueden ser utilizados como agentes de “biocontrol” [control biológico]. Es decir, contra los microorganismos patógenos o elementos patógenos que pueden dañar la planta. Y con ello, se incursiona también aquí en el tema de la agricultura biológica, o la agricultura a bajo impacto. La idea de utilizar menos fertilizantes, pesticidas, antibióticos; todos los sistemas utilizados para aumentar la fertilidad del suelo basados en productos químicos.

### CEAP003 y el vino orgánico

El vino es un producto culturalmente importante en Italia. Son varios los investigadores que mantienen interacción con esta industria a lo largo del país. Aquí, nos encontramos con CEAP003, quien forma parte de un grupo de investigación dedicado al estudio de la química y tecnologías de bebidas alcohólicas. Principalmente el *focus* de la investigación de CEAP003 es el vino y el vinagre balsámico (*aceto*); y en menor medida otro tipo de destilados como la cerveza y jugos de frutas. Sin embargo, sus actividades se combinan entre la agricultura orgánica que es una profesión independiente (siendo agrónomo de origen), y desde 2009 como investigador de la universidad<sup>137</sup>. Además, una actividad importante de interacción con la industria que realiza CEAP003 es que funge como inspector (auditor) para la certificación de productos orgánicos.

Uno de los proyectos más importantes de CEAP003 que involucra colaboración con empresas se refiere a la búsqueda de alternativas para reducir la cantidad de dióxido de azufre en el proceso de producción del vino. El dióxido de azufre es un conservante o aditivo utilizado ampliamente en el vino y en otros productos alimenticios como la fruta seca, jugos de frutas o la cerveza. Es un aditivo que se utiliza para evitar fermentaciones indeseables, disminuye la oxidación y estabiliza el alimento o bebida. Sin embargo, presenta el problema de que es un alergénico. Por lo tanto, las personas que son sensibles a su consumo pueden sufrir erupciones cutáneas, dermatitis, asma, o dolor de cabeza. Desde hace varios años, un reto para los investigadores de esta área es encontrar la forma de producir alimentos y bebidas, incluyendo al vino, con bajo contenido de dióxido de azufre o prescindir totalmente de él. Sin dióxido de azufre se tienen dos problemas importantes que resolver: la estabilidad microbiológica y la estabilidad oxidativa. CEAP003, al igual que otros investigadores

---

<sup>137</sup> De acuerdo con el currículum de CEAP003, su nombramiento formal como investigador lo obtiene en 2012, sin embargo, desde 2009 ya fungía como asistente de investigación.

alrededor del mundo, desde hace diez años comenzó a estudiar el uso de la molécula antibacterica llamada lisozima, la cual es una enzima que se puede obtener principalmente del huevo. Industrialmente, la lisozima se extrae de la clara del huevo para el control de las bacterias lácticas en el vino. En los quesos también es utilizada para evitar fermentaciones indeseables; particularmente en el queso se forman bolas de aire derivadas de la producción de gas de las bacterias lácticas. En el vino, las fermentaciones se dan a partir del ácido málico, que al fermentarse produce ácido láctico, el cual a su vez cambia completamente el aspecto sensorial del vino y también su estabilidad. Con una empresa llamada FORDRAS (<http://www.fordras.com/>), que produce esta proteína, CEAP003 ha colaborado para estudiar con mayor profundidad el uso de la lisozima. Esta empresa en realidad tiene colaboraciones con diversos investigadores a nivel global, y es una empresa suiza que se ha transformado adquiriendo otras pequeñas empresas, entre ellas la llamada *società italiana antibiotici*, con quien inicialmente CEAP003 comenzó a colaborar. Las pruebas y datos obtenidos por CEAP003 en colaboración, no sólo con FORDRAS, sino con otros investigadores universitarios, ayudaron significativamente a la autorización del uso de la lisozima en enología desde el año 2003. Con lo cual se da atención al problema de la estabilidad microbiológica; sin embargo, sin dióxido de azufre, aún queda pendiente el asunto de la estabilidad oxidativa, que de acuerdo con CEAP003, es mucho más compleja porque implica muchos otros factores. De cualquier manera, la sustitución de dióxido de azufre por lisozima, ha representado una solución temporal, ya que también es considerada una sustancia alergénica. En 2009, el ente europeo para la seguridad alimentaria (EFSA: <http://www.efsa.europa.eu/it/>) incluyó a la lisozima dentro de la lista provisoria de alergénicos, y en 2011 determinó en forma definitiva que, siendo extracto del huevo y habiendo personas sensibles a la proteína del huevo, la lisozima debía ser considerada también alergénico. Así, el uso de la lisozima es interesante, porque si bien logra a controlar en forma eficaz las fermentaciones malolácticas, al menos en Europa, Estados Unidos e incluso Australia, se debe indicar en la etiqueta. Por tanto, los productores son reacios a tener que incluirlo en la información del contenido de sus vinos. La sustitución funciona para las personas intolerantes específicamente al dióxido de azufre, pero al final, se trata de un alergénico. Un problema adicional de la lisozima es que su extracto e incursión en la producción vinícola tiene un costo mayor, por lo que implica incorporarlo en vinos más bien caros. De tal forma que quien los produce, no obstante presentarlo señalando todas las virtudes de un vino elegante y refinado, tiene que escribir que contiene un alergénico. Así,



aunque para el público general no represente un problema, la búsqueda de alternativas para sustituir el dióxido de azufre y también la lisozima continúa.

Otras colaboraciones de CEAP003 las ha llevado a cabo con bodegas de vino en la Sicilia y en la propia Emilia Romagna. Las cuales se enmarcan también en proyectos de investigación y desarrollo que han tenido como propósito también la producción de vino sin dióxido de azufre. En especial, la cooperativa llamada *Cantina Sociale della Emilia Romagna*, ha tenido el interés de producir vino sin dióxido de azufre pero que tenga un precio medio; un vino de alto consumo. En general, el vino del que se habla es producido hoy en día por pequeños productores, porque al final se obtiene un producto muy delicado e inestable, que podría tener problemas en el mercado. Si se tiene en un estante por más de cuatro meses, por ejemplo, la posibilidad de su pérdida es total. Hablamos en realidad del reto de la producción de un tipo de vino orgánico, que aunque no es tan comercializado en Italia es posible encontrarlo, pero su proceso de producción aún presenta estas problemáticas.

#### **4.6.7 Uso de subproductos agroindustriales**

Uno de los casos más importantes que hemos encontrado en este estudio se refiere a un grupo de investigación de la Facultad de Química Industrial. El doctor USAB001 alrededor de un grupo de estudiantes, que después se han convertido en investigadores y emprendedores, ha desarrollado una serie importante de proyectos que involucran transferencia tecnológica en el área de la biotecnología y bioquímica. El objeto de estudio del grupo de investigación es la química molecular e inmovilización de enzimas y células, aplicadas a la tecnología alimentaria y ambiental. En conjunto, han emprendido cuatro *spin-offs* y recientemente han comenzado a incubar una más. En la perspectiva de USAB001 todos estos proyectos han sido importantes porque tienen dos elementos en común: la misma fuente de inspiración en lo que se refiere a cómo fueron concebidos y evidentemente que surgen del trabajo de investigación disciplinar que se desarrolla en sus laboratorios.

USAB001 considera al pensamiento de Leonardo da Vinci como una fuente de inspiración primordial en lo que se refiere a la innovación tecnológica. De hecho, imagina su laboratorio como si fuera una bodega del arte renacentista, llena de gente que proviene de distintas disciplinas y que interactúa con base en diversas ideas. Para USAB001, la identidad de Leonardo da Vinci es difícil de definir, porque puede ser identificado como inventor, pintor, científico, biólogo, ingeniero, etcétera. Sin embargo, lo importante es apreciar que el pensamiento de Leonardo era transversal. El ejemplo clásico sobre cómo Leonardo observa la

anatomía de las alas de los pájaros y después construye una máquina de madera que asemeja su vuelo, refleja el punto de referimiento que USAB001 aplica aún en nuestros días: la capacidad de moverse (intelectualmente) en diversas disciplinas. Tener un pensamiento transversal. Transferir conocimiento de un sector disciplinar a otro. Pasar de la biología a la ingeniería; es decir pasar de la observación de las alas de los pájaros en el ejemplo de Leonardo, a la construcción de una máquina. Para USAB001, la innovación es en su esencia trasversal, de otro modo no se trata de innovación sino de optimización. En el sentido de que el mejoramiento de un instrumento, una máquina o un proceso al interior de un sector disciplinario, implica una complejidad menor que no llega a romper un paradigma; no alcanza una aplicación verdaderamente innovadora. Y es aquí donde nos ha descrito su primer proyecto: la máquina que imprime fotografías comestibles utilizada para decorar pasteles.

La impresión de fotografías comestibles ha sido el primer gran proyecto de USAB001, que ha dado lugar a una alianza con MODECOR<sup>138</sup> y al establecimiento de una empresa llamada LESEPIDADO<sup>139</sup>, que tiene su sede en Bolonia. Para tener una fotografía de un familiar sobre un pastel, algo que parece banal, el grupo de USAB001 ha pensado en algo que también parece banal pero no lo es. Han pensado en imprimir sobre el tipo de galleta plana que asemeja a las hostias utilizadas en las misas católicas. Sin embargo, los dos retos principales de este proyecto fueron el desarrollo de la tinta comestible y la construcción de una maquina capaz de soportar cartuchos con este tipo de tinta e imprimir en una superficie del tipo de una hostia.

En ese entonces, la intención de USAB001 y su grupo de *ragazzi* no era crear una *start-up* y ganar jugosas ganancias. En realidad, USAB001 estudiaba la impresora a inyección de tinta con otro propósito que ni siquiera estaba relacionado con aspectos del sector de la agroalimentación. USAB001 estudiaba sensores y biosensores, lo que llaman *tags* o etiquetas. Como biotecnólogo, su labor consiste en inmovilizar enzimas; moléculas biológicas. A través de las enzimas y su reacción con otras sustancias se logra transformar una señal química en una señal electrónica. En el momento de estudiar las tintas biológicas y las señales electrónicas para poder utilizar la impresora y producir biosensores, se han topado con alguien que les cuestiona si es posible imprimir una fotografía sobre un pastel. Su razonamiento inmediato fue positivo, dado que eran capaces de desarrollar tintas biológicas y electrónicas para hacer un biosensor. Lo que significaba solo un paso de química más: tomar un colorante alimenticio y sustituirlo en la tinta. Así, en lugar de hacer un biosensor, un tag, han realizado la tinta para

---

<sup>138</sup>MODECOR es la empresa italiana líder en la decoración de pasteles y productos de repostería. [www.modecor.it](http://www.modecor.it)

<sup>139</sup>[www.lesepidado.it](http://www.lesepidado.it)

imprimir una fotografía comestible. En realidad, el proceso es mucho más complicado de lo que aparenta porque implica incrustar una molécula biológica al interior de una tinta, que a su vez tiene que imprimirse por una máquina. La molécula debe ser estable, debe mantenerse en el tiempo, y se debe adherir a una superficie. Desde un punto de vista tecnológico, es un proceso más complejo que la inyección a tinta electrónica. Sin embargo, resultaba fácil para USAB001 y compañía, una vez que han estudiado la conformación de los biosensores.

“Resuelto el problema de la tinta biológica”, el reto próximo era construir la impresora. Hasta ahora, el grupo trabajaba sólo con la idea, sin estar conformados como una empresa. Sin embargo, para convencer a una empresa sólida y gigante como la Olivetti para construirles la impresora, el grupo actuaba como una empresa, aparentando el protocolo profesional sobre todo en las llamadas telefónicas. En efecto, durante el primer año el grupo no sólo era ya una bodega del arte, sino que trabajaba como en una bodega; como en un sótano. Sin embargo, la idea convenció a la Olivetti y en colaboración con ella, lograron desarrollar la primera impresora y presentarla en una feria de tecnología. Un momento de éxito sin duda, no solo por presentar finalmente un producto tecnológico, sino por lo que comercialmente sucedería. La presentación de hecho asemeja a la escena de Steve Jobs dando a conocer el primer *imac* en una feria. USAB001 y su grupo en una mesa pequeña con su impresora pequeñita, pero delante a su mesa treinta metros de fila de gente interesada. Y más adelante de ellos el stand de MODECOR, la empresa más importante en Italia en la decoración de pasteles, con un espacio enorme, pero sin gente en fila. El presidente de MODECOR, una persona con toda la actitud de gente poderosa y con toda la incredulidad de lo que veía, se acerca al día siguiente a USAB001 y le propone comprarle diez mil máquinas de inmediato, a cambio de que le ceda la propiedad intelectual de la invención. USAB001 acepta y MODECOR la incorpora dentro de sus productos, alcanzando ventas a nivel nacional e internacional. En años recientes y después de casi quince años, el mercado más importante para este tipo de impresoras se encuentra en Arabia Saudita y Rusia. De cualquier modo, en el año 2000 se estableció una *spin-off* llamada LESEPIDADO srl que se encuentra en el mercado no solo con la impresora alimentar, sino también con impresoras 3D. LESEPIDADO tiene ventas alrededor de 1,600,000 euros al año, con una progresión del 30 por ciento anual. Actualmente, la impresora alimentar es utilizada y comercializada por diferentes empresas alrededor del mundo, pero la primera impresora ha tenido su origen en el proyecto del grupo de USAB001.

Poco antes de desarrollar la impresora alimentaria, en 1997, USAB001 había recibido financiamiento de la Comisión Europea<sup>140</sup> para un proyecto que tenía como propósito la valorización o aprovechamiento de los residuos (orgánicos) que se generan en la elaboración del aceite de oliva. Considerando que en la producción de aceite de oliva el aprovechamiento de la oliva aproximadamente recae en un diez por ciento de aceite, y el noventa por ciento en residuo, o lo que llaman “subproducto”. La primera aproximación al problema en realidad buscaba disminuir el volumen del residuo, tratando de obtener nuevos productos. De esta forma, han pensado en recuperar específicamente el producto que tiene un alto valor implícito: las sustancias antioxidantes de los residuos. Es decir, reconocían que los antioxidantes como principios activos tienen un valor muy grande en el mercado si se obtienen individualmente, sin duda moléculas importantes usadas en la prevención de algunas enfermedades, pero también utilizadas en el sector cosmético. La extracción de los antioxidantes implicaba una limitación o problema del tipo ambiental, ya que los métodos tradicionales incluyen el uso de solventes. En tal sentido, al usar solvente el residuo se convierte en una materia peligrosa, con un impacto negativo al medio ambiente, y por tanto, implica desecharlo con costos adicionales. Desde el punto de vista tecnológico, los instrumentos y métodos tradicionales no lograban consentir la recuperación de todas las moléculas que la planta está en grado de sintetizar, y que constituyen su fito-complejo, que en realidad representa la defensa de la propia planta. Por lo tanto, el reto era mejorar la metodología para realizar la extracción de los antioxidantes, reduciendo a la vez el impacto ambiental (metodologías *solvent-free*). Es decir, obtener un producto mejor, con impacto menor. Sin embargo, al pensar en el proceso de extracción y las metodologías tradicionales que implican separar químicamente la planta, se han cuestionado sobre si de verdad era necesario hacer una separación química, una purificación del material. Sobre todo porque el método implica realizar siempre una descomposición química que también involucra el costo económico. Han pensado entonces en no hacer la separación; no extraer el principio activo, sino tomar el residuo, y darle un tratamiento de forma que se convierta el mismo residuo en un ingrediente. Es decir, sin la separación o descomposición química, la idea era transformar todo el residuo en un ingrediente. El equipo trabaja entonces bajo el concepto de la valorización integral del residuo, a través del uso de biocatalizadores enzimáticos. Esto representa una ventaja doble. Por un lado, se ahorra el costo del proceso de separación química. Y por otro, el aprovechamiento del residuo de la oliva era total, ya que al

---

<sup>140</sup> Progetto europeo “Natural antioxidant from olive oil processing waste waters” FAIR CT97 3039.

transformar completamente el residuo en ingrediente, se convierte en un producto que no tiene ningún otro material de residuo. Desde el punto de vista ambiental, esto permite cerrar un ciclo, porque no se tiene más el problema de qué hacer con los residuos. Con esta idea, han comenzado a desarrollar ingredientes para el sector cosmético, partiendo de todos los residuos posibles en el sector agroalimentario. Dado que cada residuo tiene una química diversa, el equipo busca realizar experimentos para desarrollar tantos ingredientes como residuos estén a su alcance.

Después de casi diez años, en los que el equipo continúa con los experimentos y la recopilación del *know-how* existente hasta entonces, logran desarrollar un nuevo enfoque tecnológico: el aprovechamiento integral del material orgánico. Así, sus ideas dan pie a dos acciones comerciales paralelas: por un lado, el registro de una patente, obtenida en 2009, (Método para el tratamiento de matrices vegetales) y por otro, el establecimiento de una empresa en 2005 que se encuentra en la cadena comercial del sector cosmético: Phenbiox<sup>141</sup>. Esta empresa provee ingredientes funcionales a diversas empresas que los utilizan en la creación de productos finales que van al aparador. El catálogo de Phenbiox actualmente contempla alianzas con empresas italianas y extranjeras, incluyendo empresas francesas e inglesas, que a su vez alcanzan distribución a nivel mundial (Guam, L'erbolario, Natural recipes-Perlier, Manetti & Roberts, Rodial, Jean d'Arcel, Davines, Somatoline, Soco, Bottega Verde, Union Cosmetics, My Sun, Harbor, Napura, SIPRES, M.Asam, Kemon, Athena's, Cotril). Las ganancias de la empresa alcanzan alrededor de los dos millones de euro anuales.

USAB002, administrador delegado de Phenbiox y quien ha sido parte muy importante del equipo desde que era estudiante de la primera *laurea* (equivalente a licenciatura), menciona dos elementos adicionales importantes que los llevaron a conformar la empresa. Por un lado la experiencia que había adquirido el equipo al trabajar en *spin-offs* previamente, tanto que se respiraba en el ambiente del equipo la posibilidad de hacer carrera a través de un nuevo negocio. Y por otro lado, la oportunidad de participar con un proyecto en una convocatoria de la Región Emilia Romagna. Con financiamiento de la comisión europea en el tipo de proyectos llamados *Spinner* y administrados por la Región, en 2005 el equipo somete un proyecto que les permite definir de mejor forma la idea de empresa. De esta forma, han obtenido principalmente asesoramiento en administración y finanzas, y becas de estudio para los miembros del equipo. Durante casi un año y medio, el equipo se concentró en caracterizar el producto y la estrategia de la empresa, desarrollando un tipo de investigación y actividades

---

<sup>141</sup> <http://www.phenbiox.it/>

diferentes a la investigación clásica al interior de la universidad. De hecho, Dario, enfatiza que este proyecto les ha permitido cambiar la perspectiva sobre su carrera de forma más profunda.

A pesar de contar ya con tres experiencias de negocios el equipo sigue actuando hasta la fecha bajo la idea de USAB001, siendo una bodega del arte que trabaja en un laboratorio e intercambia ideas. Las actividades de investigación y desarrollo de Phenbiox continúan desarrollándose de esta forma. Se han firmado convenios de colaboración entre Phenbiox y la Universidad de Bolonia para el uso de los equipos de laboratorio de la Facultad de Química Industrial, y las regalías de la empresa también se tienen distribuidas para los miembros del equipo y la propia universidad. Sin embargo, la parte importante sigue siendo esta forma de interacción “informal” al interior del equipo, que permite expandir la creatividad en un clima cordial de trabajo.

En 2010, el equipo se encontraba estudiando cómo utilizar de mejor forma los ingredientes en el sector cosmético, cuánta concentración del ingrediente se debe incluir dentro de un cosmético para hacer un producto mejor, cuando se han cuestionado el por qué no ellos mismos se daban a la tarea de elaborar cosméticos. Si eran capaces de producir los ingredientes, claramente podían desarrollar la capacidad de producirlos. Han trabajado entonces con otra idea. Han pensado ¿Y si tomamos todos los residuos agro-alimentares, cada uno con sus propias características en el sector cosmético, e intentamos eliminar el producto de síntesis? Es decir, tomar todos los residuos orgánicos, mezclarlos en conjunto, y realizar un nuevo cosmético sin producto de síntesis. De esta forma, han comenzado a estudiar y desarrollar un nuevo enfoque tecnológico: cosmética molecular. Descrita como la idea de tomar una matriz vegetal, su descomposición en diversos elementos y su recomposición para elaborar un cosmético. En tal sentido, el concepto es tomar cualquier fruto o material orgánico, descomponerlo, separar los elementos que interesan para el cosmético, meter en conjunto nuevamente los componentes (recomponer la matriz) y obtener un cosmético. De esta forma, el producto final es un bio-cosmético. Así, nace un nuevo negocio: Frescosmesi (<http://www.frescosmesi.com/>). En 2011, Frescosmesi se conforma como una empresa, que aún se encuentra “incubada” en la Facultad de Química Industrial. Es decir, al igual que Phenbiox, realiza sus actividades de investigación y desarrollo al interior del laboratorio de este grupo de investigación. Sin embargo, sus actividades de producción las realizan fuera de la universidad, y han comenzado a generar ganancias en 2014. Ya para el primer año de operaciones las ganancias han alcanzado los 150 mil euros el año pasado.

En tanto, Frescosmesi no significa una incógnita en el mercado, tiene perspectivas muy fuertes. Se trabaja con la idea de ofrecer un producto natural. Tanto que son capaces de desarrollar productos realmente particulares, como el “shampoo de la vaca blanca de Modena”. Cuando se elabora el queso, al final se tiene por una parte el propio queso y por otro lado el residuo acuoso, o suero de leche. El suero contiene carbohidratos y proteínas que son muy aptas para adherirse al cabello, y por ende pueden reforzarlo. Así, han tomado el suero de la leche que produce esta vaca, lo han elaborado como ingrediente con la tecnología de Phenbiox y lo han incorporado dentro de un shampoo con la tecnología de Frescosmesi. A este punto, tecnológicamente el proceso no parece tan espectacular en realidad. Pero la idea del shampoo es atractiva si se piensa como un producto especial, dado que la leche proviene de un tipo de ganado apreciado por el público. La asociación slow-food<sup>142</sup>, surgida en Italia para salvaguardar los productos alimenticios tradicionales, tiene entre sus insignias la leche de la vaca blanca de Modena. Una raza de ganado histórica, que aunque se refiere a un tipo de vacas finas que cuestan mucho y producen poca leche, de ellas se ha elaborado el primer *Parmigiano Reggiano* (queso parmesano tradicional). Aún existe quien cría este tipo de ganado, no para la grande producción de *Parmigiano Reggiano*, pero para un tipo de producción de *Parmigianino*, digamos exclusiva, que implica un nicho de mercado interesante. El equipo se ha aliado con productores de este queso para aprovechar un subproducto más: el suero de la leche. De esta forma, al lado de la venta del *Parmigiano Reggiano*, es posible ahora comprar el shampoo del *Parmigiano*.

Para USAB001, los procesos biotecnológicos aplicados por Phenbiox y Frescosmesi no son tan complejos en realidad. Dado que no implican la idea de la grande biotecnología relacionada con la genética, con cantidades enormes de inversión y equipamiento. La elaboración de ingredientes que hace Phenbiox es a través de enzimas: reactores biotecnológicos; y se refiere al tipo de biotecnología que no cuesta mucho desde el punto de vista de la inversión. Sin embargo, han trabajado mucho en la idea de los productos, haciendo ver que lo que realizan es un tratamiento que “respeta” la constitución natural de la materia orgánica. Es decir, que están obteniendo productos realmente naturales. De hecho, la actividad de Phenbiox la han denominado “*bioliquefazione molecolare*”, o de forma más específica “licuefacción enzimática y estimulación de células madre”. Procesos que se refieren a tomar una matriz sólida, tratarla y trasformarla en un líquido, para después verterla sobre un cosmético. Así, por ejemplo, cuando elaboran una crema es como si de verdad la

---

<sup>142</sup> <http://www.slowfood.it/>

capa líquida que uno se aplica en la cara fuera la propia capa de una uva. Una de las primeras ideas comerciales, la han desarrollado así: “la cáscara de la uva no puede entrar en un cosmético porque es muy dura, pero si puede incorporarse si se hace líquida, mediante el tratamiento de *bioliquificazione* desarrollado con la tecnología de Phenbiox”. Así, cuando la persona aplica la crema sobre su cara, es como si Phenbiox hubiera recreado la cáscara de la uva y lo pone al alcance de la persona. Es decir, Phenbiox le proporciona a la persona la posibilidad de utilizar la cáscara de la uva para proteger su cara, tal como en la naturaleza la cáscara protege la pulpa de la uva para que no se seque delante al sol.

#### 4.6.8 Genómica y Zootecnia

El último caso que presentamos se refiere a un grupo de investigación dedicado al estudio del genoma animal en diferentes especies. El grupo principal se conforma por GZB001 (investigador ya jubilado), GZB002 (quien fuera su principal condiscípulo), y GZB003<sup>143</sup>. GZB001, quien es el investigador más experimentado del grupo, trabajó por más de 17 años en la universidad de Parma, un lapso menor en Messina (Sicilia) y después se incorporó a la Universidad de Bolonia. Ahora es profesor ya jubilado, pero continúa laborando como profesor emérito de la universidad. El campo tradicional de estudio de GZB001 ha sido desde un inicio la producción y el mejoramiento de la calidad de productos zootécnicos primarios, desde las técnicas de crianza hasta la transformación industrial. La incorporación de GZB001 a la universidad, entre otros factores, ha permitido la conformación del grupo y su especialización en el estudio del genoma animal. En especial, de los más avanzados instrumentos de mejoramiento genético, la genética molecular.

El trabajo del grupo sigue las prácticas ya conocidas de quién se ocupa de esta área: el estudio de la estructura de los genes, su funcionamiento, y la identificación (individuación) de variantes genéticas asociadas a una mejor calidad de los productos de origen animal. En esencia, la lógica del trabajo sobre el estudio de las fracciones del genoma animal que realizan es la asociación de una característica positiva en el fenotipo con algún factor a nivel genómico. Este tipo de investigación básica, tiene diferentes aplicaciones a nivel industrial, principalmente en la selección que se realiza para mejorar los productos de origen animal, que a su vez, es la lógica antigua de la cultivación y la cría de animales desde su nacimiento hace unos 12,000 o 14,000 años atrás: la selección de las mejores plantas y animales para su

---

<sup>143</sup> La información de este apartado se basa en las entrevistas a estos personajes, pero en realidad el grupo de especialistas en esta área dentro de la Facultad de Agraria es más grande.



reproducción y con ello el mejoramiento gradual de la producción total. No es novedad el decir que el hombre ha modificado a los seres biológicos desde entonces. Desde luego, el grado de especialización alcanzado en nuestros días permite alta precisión para realizar tal selección, la incorporación de genes de otra especie en el genoma de un determinado animal, incorporación de genes animales en plantas, etc. Pero antes de las innovaciones de la llamada recombinación genética, las técnicas de mejoramiento genético utilizadas por zootecnistas, usada comúnmente todavía, se basa en cálculos estadísticos organizados en la curva de Gauss. Por ejemplo, menciona GZB001, en la producción de leche se identifican las diferencias en la producción de un animal y otro, y se establece cuál cuota se debe al genotipo y cual se debe al ambiente; la cuota debida al genotipo (la herencia) se utiliza al final para seleccionar a los animales más productivos y entonces año con año mejorar la producción total. Ahora, el objetivo del productor se monitorea utilizando la curva de Gauss. De la producción total, la media de la producción de los animales se colocan a la mitad de la grafica, a un lado el número de animales que producen menos y al otro lado el número de aquellos que producen más. A través de la selección basada en el genotipo, en cada generación la curva se modificará; intencionalmente, la selección hará que la media se mueva en la dirección elegida por el productor. Técnicas similares son utilizadas para la producción de distintos productos.

El grupo de investigación principalmente ha trabajado en tres áreas: la carne de cerdo (especialmente jamón), productos lácteos (leche, queso parmesano, yogurt), y carne de conejo. En esencia, es la selección lo que se encuentra en el centro de los retos que se proponen estos investigadores cuando se encuentran trabajando con empresas. En Italia, las asociaciones de ganaderos han sistematizado la selección por vías tradicionales y ello les ha permitido obtener productos de alta calidad; el *prosciutto crudo stagionato*<sup>144</sup> por ejemplo, es un producto muy bien apreciado en todo el mundo. Sin embargo, esta selección se encuentra con límites, de manera que mediante el estudio del genoma, uno de los retos es llegar a la selección de un animal basada en sus genes, no sólo por la evaluación de su crecimiento, la cantidad de grasa que produce u otras características. De hecho hay interés especial por algunas características específicas, la calidad de la grasa por ejemplo, la calidad de los ácidos grasos. Con el discurso sobre las enfermedades cardiovasculares, cada vez es más común que se demande de parte del consumidor un producto ligero de grasa pero con buen sabor al mismo tiempo.

---

<sup>144</sup> Lo que conocemos los hispanos como jamón serrano.

De hecho, uno de los proyectos que GZB003 coordina a nivel nacional está relacionado con la obtención de productos de origen animal más saludables<sup>145</sup>. El proyecto involucra a las universidades de Udine, de Bolonia y Parma, y dos centros de investigación privados: el parque tecnológico de Lodi ([www.ptp.it](http://www.ptp.it)), y la asociación llamada SSICA (Stazione Sperimentale per l'Industria delle Conserve Alimentari [www.ssica.it](http://www.ssica.it)). Estos centros de investigación en realidad están especializados en ofrecer servicios de análisis de productos a la mayor parte de productores de jamón y embutidos a nivel nacional, y realizan modestas actividades de investigación financiadas en varios casos por fondos públicos, modestas en comparación con la investigación proveniente de sus pares en las universidades mencionadas. Sin embargo, es por ello que la alianza en investigación se ha creado. Los investigadores de las universidades tienen mayor conocimiento básico sobre el estudio del genoma animal, mientras que estos centros al estar en mayor contacto con los productores tienen mucho mayor conocimiento sobre las aplicaciones y necesidades tecnológicas en el campo industrial. La SSICA, por ejemplo, ha elaborado un método para producir jamón con menos sal, conservando el sabor tradicional. Se sabe que el prosciutto crudo es un producto normalmente salado y por ende que implica riesgos para la salud, de ahí que se trate de un método con alta relevancia. Alrededor de este proyecto se han coordinado diferentes investigadores que ya se conocían tiempo atrás. GZB003 menciona que con el grupo de Parma ella ya había colaborado en proyectos precedentes financiados por el CRPA (centro ricerche produzioni animali [www.crpa.it](http://www.crpa.it)), con fondos de la región de Emilia Romagna, y con el parque tecnológico de Lodi había tenido interacción en congresos porque se ocupan especialmente de genómica. La participación en congresos es importante también para quien ha financiado la investigación en el proyecto que coordina GZB003, pues las fundaciones le han solicitado presentar sus resultados en dos eventos relevantes: en Udine, donde se encuentra el consorcio del prosciutto San Daniele que está interesado en el proyecto; y en la EXPO, la feria internacional de la agroalimentación que se lleva a cabo en Milán durante el 2015. Los resultados se relacionan con la identificación que han realizado sobre los mecanismos de los genes, es importante porque esto permite encontrar con lo que llaman marcadores genéticos de los caracteres, por los cuales el animal puede ser seleccionado realizando una investigación de su genotipo. Es decir, seleccionándolo con un análisis de su DNA, asociado a un análisis de su fenotipo, sobre lo que producen. Aquí, GZB003, hace hincapié en la importancia de la investigación básica, recordando que es importante *per se*, el momento de la aplicación se

---

<sup>145</sup> “Advance research in genomics and processing technologies for the italian heavy pig production chain” Hepiget. Financiado por la fundación Cariplo y otras fundaciones en el marco del proyecto AGER (Agroalimentare e ricerca): [www.progettoager.it](http://www.progettoager.it)

encuentra posteriormente y depende de varios factores. Sin embargo, la propia difusión que hacen de sus resultados y la interacción que han creado alrededor de este proyecto les permite articular proyectos en ese sentido.

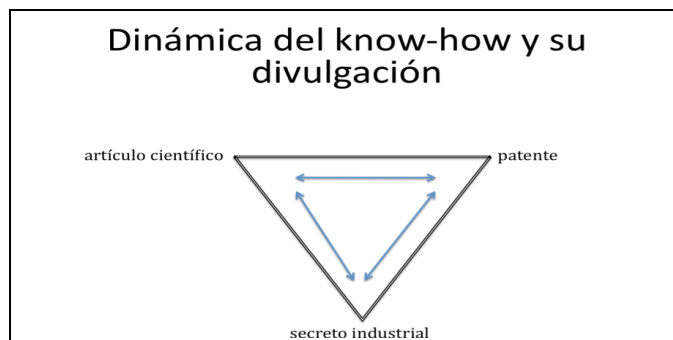
Una aplicación de las investigaciones del grupo dio origen en 2006 al registro de una patente de un marcador alimenticio natural [Tracciante Alimentare Naturale]. La idea del marcador se basa en el hecho de que una gran cantidad de productos alimenticios italianos sufren el problema de la piratería, se comercializan internacionalmente como italianos, pero en realidad su originalidad está en duda ya que aunque parecidos, son productos de menor calidad; se trata de la promoción de productos no italianos conocido como *Italian sounding*. Este problema general es afrontado por los productores italianos de diferente forma. Principalmente, se desarrollan marcadores que permiten proteger comercialmente el producto y en caso de controversias sobre la originalidad tener elementos para comprobarla. Dedicándose al estudio del genoma animal, el equipo desarrolló un marcador basado en el DNA. En modo simplificado, la idea es la extracción del DNA de alguna especie vegetal, la localización de un fragmento de ese DNA y su incorporación al producto, sea de forma interna o externa. Por ejemplo, insertándolo en el tejido del *prosciutto*, o sobre la tinta con la cual se sellan las piezas grandes de carne. Es una idea válida para cualquier producto alimenticio, sin embargo el equipo de trabajo lo desarrolló principalmente para el prosciutto. En modo más específico se trataba en elegir el marcador *ad hoc* a cada producto. De manera que el *tracciante naturale* se pensaba pudiera incorporarse en uno de los procesos que ya forman parte de la producción de *prosciutto*. Durante el proceso de añejamiento tradicionalmente se agrega manteca para cubrir la parte descubierta de las piernas de cerdo, dado que si no se cubre, el jamón se deshidrataría demasiado y por ende toda la producción se arruinaría; adicionalmente, la manteca se mezcla con harina de arroz. Así, la idea era sustituir la harina usada tradicionalmente, con una harina ya identificada por los investigadores. El tipo de harina utilizada sería entonces derivada de un grano único que pertenece a una línea pura. El grano sería producido por un sistema de mejoramiento genético basado en la selección de líneas puras. Estas líneas son generalmente descartadas en la mayor parte de los casos porque no mejoran el grano, pero tienen un genoma particular e idéntico para todas las plantas de la línea pura. Así, aunque no mejoren el grano, el asunto importante es que tienen un DNA único, natural, que se logra caracterizar. Introducido como harina a la manteca del cerdo, se puede utilizar como marcador natural, que puede ser identificado en cualquier momento en el producto a través del DNA.

Tecnológicamente la idea es atractiva para algunos productores. Además, se trata de un método incluso económico. Pues al final se trata de una harina que se tiene bien caracterizada. El sistema tuvo su operación por algún tiempo por un laboratorio local llamado BIOLAB, que después fue adquirido por una multinacional llamada EUROFINS. Se depositó como patente nacional, pero a la multinacional no le interesó continuar pagando por la licencia de la patente y la extensión internacional de la misma no se llevó a cabo. En general, su aplicación encontró varias dificultades para seguir adelante. Por un lado, ya existían marcadores desarrollados por los productores; como es el caso del consorcio San Daniele principal representante de la producción del *prosciutto* de Parma. Agregar un marcador adicional a los propios marcadores no resultaba conveniente. Por otro lado, no existía un interés muy grande de parte de los productores por marcar fuertemente (con un DNA) sus productos. El sistema resultaba demasiado “perfecto” por lo que en la cadena de producción no deja posibilidad de incorporar productos adulterados. Aunque el propósito final de la denominación de origen protegida es justamente no dar cabida a productos adulterados, frenar su proliferación y además proteger el prestigio de una marca; en la práctica es sabido que muchas cadenas de producción tienen vacíos donde se tiene márgenes de maniobra a discreción de los productores. De manera que, sistemas demasiado “perfectos” también representan un problema porque van en contra de los intereses de quienes comercializan los productos adulterados; quienes a su vez también tienen un rol político. En la percepción de los investigadores, esta dimensión organizativa, administrativa, política, es la que mayor peso tiene para la implementación de cualquier innovación. Pues los problemas técnicos, los que tienen que ver exclusivamente con la tecnología desarrollada en cualquier manera eran posibles de resolver.

Particularmente Fontanessi es muy activo realizando investigación colaborativa con empresas y otras universidades. En el ámbito industrial, las colaboraciones más importantes que ha desarrollado son con las asociaciones nacionales de productores de carne bovina y porcina: ANABORARE [Associazione Nazionale Allevatori Bovini Razza Reggiana], ANAS [Associazione Nazionale Allevatori Suini]. Asimismo, con otras empresas dedicadas a la crianza de animales como Martini, SPA. Esta empresa realiza actividades de mejoramiento genético para la crianza de cerdos y conejos. Al ser prácticamente el único grupo en Italia dedicado al estudio de la genómica del conejo, Martini SPA tuvo interés en colaborar con GZB002, y han comenzado a trabajar en conjunto después de conocerse en congresos sobre el tema. El trabajo esencial que involucra a ambas partes es la búsqueda de marcadores genéticos del DNA en el genoma del conejo, que pueden ser utilizados para mejorar la

eficiencia de la sucesión de los animales. Es decir, el trabajo también gira en torno a la selección de los mejores conejos para su reproducción posterior. Por ende, el trabajo involucra análisis del semen de reproductores, o conejas que son seleccionadas por su mejor *performance* reproductivo. Son varios los proyectos y actividades de colaboración que realizan en conjunto, pero al final, el objetivo de estas actividades se enfocan en identificar en el genoma de los animales los marcadores que permitan seleccionar directamente los mejores animales de acuerdo con sus variantes genéticas.

Aunque se trata de una empresa especializada, es decir, con conocimientos sobre mejoramiento genético, el trabajo de Fontanessi engrana con cierta facilidad justamente porque entienden la lógica general del trabajo que realiza y el resultado final que obtendrá de los proyectos de investigación y desarrollo. Los detalles del trabajo de Fontanessi, en sus propias palabras, son difíciles de transferir. Sin embargo, realiza un esfuerzo importante para explicar de la forma más simple (con imágenes y ejemplos) los pasajes que ha pasado cada proyecto y el resultado final. Un resultado creíble y demostrable. Es evidente que como en otros casos, la publicación académica se nutre de experiencias como éstas. Al final, aunque no se publiquen los resultados específicos de este tipo de proyectos de investigación, el investigador recaba datos que pueden ser interesantes para el bagaje científico básico de su disciplina. Fontanessi menciona que además están trabajando en la presentación de una patente más con esta empresa. Es aquí donde GZB002 nos presenta una perspectiva interesante sobre la divulgación del *know-how* que se obtiene de colaboraciones como ésta. Pero también representa la interacción que el propio conocimiento científico-tecnológico tiene en la investigación colaborativa. Un dilema al que se enfrentan recurrentemente quienes trabajan en investigación colaborativa con empresas es la divulgación del *know-how*. Los acuerdos que se realizan con las empresas involucran acuerdos de confidencialidad escritos, y acuerdos no escritos, tácitos. De acuerdo al juicio y los acuerdos previos, el investigador debe decidir qué publicar, ya que es esencial para su carrera, y qué debe dejar intacto porque no le pertenece. Así, la divulgación del *know-how* se mueve en tres ángulos: la publicación de artículos científicos, las patentes y el secreto industrial. Aquello que tiene un valor científico y que no incide en una patente o un secreto industrial se publica como artículo científico. Aquello que es interesante y no incide sustancialmente en el negocio se patenta, y posteriormente se publica en artículos también. Y las cosas más importantes no se publican, ni se patentan.



Es difícil dar ejemplos de cómo este esquema es el que está detrás de la dinámica del trabajo de investigación colaborativa, pero lo cierto es que se trata de una retroalimentación constante entre estos elementos de la cual emergen los procesos de innovación tecnológica. GZB002, también ha mencionado que por ejemplo, nuevos métodos estadísticos para analizar los datos genómicos representan una fuente importante de innovación, ya que después es utilizado en los proyectos de investigación y desarrollo, es decir, aplicaciones en la industria. Si se piensa en el caso de los algoritmos elaborados por el grupo de FRC001 y FRC002, se trata de información que publicó FRC001 durante los noventa y luego se ha utilizado en procesos productivos. Y al contrario, lo que emana de los proyectos de investigación y desarrollo retroalimenta la investigación básica, como lo es el conocimiento aún más especializado que ha adquirido el grupo de GZB002 sobre el genoma del conejo posterior al trabajo con Martini SPA. Es decir, en muchos casos, no se trata del esquema lineal donde de la investigación básica nacen varias aplicaciones, y una de ellas se patenta y otra se guarda como secreto industrial. Es de la investigación colaborativa de la que nace la retroalimentación y luego los resultados terminan en una de las cúspides de este triángulo.

En otras experiencias de colaboración, GZB002 es coordinador de una red internacional que tiene el propósito de hacer el secuenciamiento del genoma de todas las especies de lagomorfo en el mundo [Lagomorpha]. El proyecto dio inicio después de que GZB002 coordinara otra *network* en el marco de los financiamientos de la Unión Europea; en lo que popularmente llaman una *co-station* ([www.cost.eu](http://www.cost.eu)). Esta primera experiencia le permitió al grupo aprovechar todas las posibilidades que ofrece el financiamiento a *networks*: *meetings* académicos, *meetings* con la industria, movimiento de personas, estancias cortas, publicaciones. De manera que ahora se ha conformado esta *network* que pretende estudiar desde el punto de vista evolutivo y en otros muchos aspectos toda una orden de mamíferos. De por sí, el grupo de Bolonia y la *network* conformada bajo la *co-station* disciplinalmente son quienes están más avanzados en el mundo sobre el conocimiento del genoma del conejo.

Ahora, su intención es llegar a ser primeros en el mundo en el secuenciamiento del genoma animal de todo un orden. La *network* involucra a más de 50 universidades alrededor del mundo, que colaboran de diferente modo y grado en el proyecto, proporcionando información, muestras, financiamiento.

En comparación a las demás experiencias, el caso de este grupo pareciera no ofrecer tanta interacción con la industria en general, y poca actividad de innovación tecnológica en lo particular. Sin embargo, es importante el tipo de proyectos de investigación y desarrollo que han llevado a cabo. GZB001, quien por un lapso de su carrera también realizó actividades de consultoría académica, trabajó en varios proyectos de investigación y desarrollo relacionados con el ganado bovino y porcino. Uno de los proyectos más importantes contribuyó a la salvación a la raza bovina Reggiana, un tipo de vaca roja protegida por una asociación nacional [Associazione Nazionale Allevatori di Bovine di Razza Reggiana (ANABoRaRe)]. Cuando GZB001 comenzó a trabajar con esta asociación la vaca Reggiana se encontraba en peligro de extinción; el ganado restante constaba aproximadamente de unas quinientas cabezas de vaca y pocos toros. Es una de las razas antiguas más apreciadas ya que es de las pocas razas que dieron origen a la producción del *Formaggio Parmigiano Reggiano* [queso parmesano tradicional]. Aunque la raza fue sustituida para aumentar la producción masiva de leche y derivados por la raza marrón de Suiza y luego por la Holstein-Friesian de origen holandés, su “salvación” al menos en el plano comercial se dio a partir de los estudios de GZB001. Con la sustitución de una y otra raza, en la introducción de cada una, los ganaderos se lamentaban porque la calidad de la leche empeoraba. El trabajo de GZB001 consistía justamente en analizar los motivos de este problema. El primero era que aumentando la producción de leche, se reduce el rendimiento en el queso, porque la leche se convierte cada vez en un líquido más diluido. Evidentemente, no sólo el cambio de raza interviene en la calidad de la leche, sino también el cambio de los sistemas de alimentación, entre otros factores. Uno de los problemas comunes que enfrentan los ganaderos, no sólo quienes crían ganado bovino sino cualquier otra especie, es conciliar entre calidad y cantidad. Las razas nuevas, si bien aumentaban la producción, la calidad de la leche no era tan buena y sobre todo la producción de queso que se obtenía era menor. Así, GZB001, consultando la bibliografía tiene presente que la caseína, la proteína de la cual se forma el queso, tiene diversas variantes genéticas. Variantes mínimas (A-B) que ya habían sido puestas en evidencia por otros investigadores. GZB001 analiza entonces las condiciones de las diferentes razas en cuestión y determina que la raza Reggiana se distingue de las demás porque de una caseína particular presentaba un gen con mayor frecuencia. Después de varias pruebas de caseificación

separadas, comprueban que efectivamente la leche de la raza Reggiana aumenta el rendimiento del queso. Por ejemplo, en vez de obtener 7 kilos de queso de las otras razas, más productivas en leche, de la Reggiana se obtenía al menos un kilo más. Además de que se obtenía menos desecho, porque era leche se evaporaba de mejor forma. En general, daba un producto mejor. Al mismo tiempo, otros investigadores siguiendo el trabajo del equipo de GZB001 habían elaborado pruebas similares. De manera, que se ha llegado a una conclusión importante sobre que la cappa casina B es un factor que da una actitud mayor a la caseificación de la leche. Entre tanto, la raza se salvó gracias que se evidenció su capacidad productiva. Ahora existen alrededor de 4 mil cabezas, y su queso se vende unas cuatro o cinco veces más. Así, la cotización del valor de la vaca aumentó, y ahora cuenta con un nicho de mercado a nivel internacional. A partir de los resultados de GZB001, otros productores mostraron interés en aumentar la cappa casina en las razas más productivas, y así comenzaron a seleccionar ganado para aumentar tal gen. GZB001 afirma que en Italia la selección se efectúa por esta variante genética, e internacionalmente se comienza a tomar en consideración.

Otro ejemplo de los trabajos desarrollados por GZB001, se refiere al ganado porcino. Italia produce cerdos por arriba de los 150 kilos, a diferencia de la media europea (que es de 100 kg). La razón es que el destino de la carne es prácticamente total para la producción de embutidos de alta calidad. Aunque el *prosciutto* en general es salado, existen diferentes tipos; por ejemplo, el de Parma de hecho es dulce. Prácticamente la calidad del *prosciutto* depende en un 80 por ciento de la materia prima. De modo que, para alcanzar la calidad de tal *prosciutto* la materia prima que se utiliza debe ser de la mejor. En el caso de otros productos, como la salchicha, se pueden añadir otros elementos, no el caso del *prosciutto*. Mejorar la calidad del *prosciutto* (uno se pregunta si nunca es suficiente) implica hacerlo al nivel de la materia prima, no en el proceso de elaboración. El problema que se presentaba era que el rendimiento del *prosciutto stagionato* era siempre menor. Es decir, normalmente se perdía el 25 por ciento de peso. De hecho, se llama *prosciutto* porque es asiugato, seco, deshidratado. En tal deshidratación la carne pierde peso, pero el problema es que en los últimos años se perdía hasta el 30 por ciento. En un problema similar, existía un desequilibrio entre calidad y cantidad. Se habían importado razas de cerdos muy musculosos pero con menos grasa, y por ende en la elaboración del *prosciutto* se perdía más el rendimiento. En la lógica del trabajo del grupo dedicado a la genómica, el mejoramiento genético lo realizan individuando un carácter, identificando una característica objetiva, una variante genética sobre la cual seleccionan a los mejores animales. Pero en este caso, no era posible, no se contaba con ningún carácter. Sólo



se podía medir la pérdida del *prosciutto* al final del proceso, eso a su vez implicaba medirlo a después de un año. Normalmente, después de que el cerdo es sacrificado, la carne se mantiene en bodega en sal al menos un año. Dependiendo de la calidad algunos se tienen por 18 o hasta 35 meses. Así, para medir la pérdida del *prosciutto* de cada cerdo, era necesario esperar un año o hasta 36 meses. Para ese entonces, mientras se espera tanto tiempo, el cerdo reproductor muere. Entonces, se podía establecer que tal cerdo era bueno pero ya no se podía utilizar. Lo que desarrolla GZB001 entonces es un parámetro que calcula la pérdida al fin de ciclo, o el rendimiento al fin de ciclo; en la primera semana de la producción de *prosciutto*. Lo que habían hecho era medir la caída lo más pronto posible; en lo que llamaron la caída de la primer salatura. Esto es, en el periodo que va desde el principio de la elaboración del *prosciutto* a los primeros 7 días, los cuales, de acuerdo con GZB001 están correlacionados con un índice indicativo de la caída final. Así, este cálculo lo comenzaron a utilizar para realizar la selección. Y cada vez más comenzó a popularizarse entre los productores, de manera que la calidad del *prosciutto* es excepcional.

Este último ejemplo de GZB001 ofrece dos puntos de reflexión importantes. En primer lugar, el mismo GZB001 menciona que aunque se trataba de un trabajo aparentemente sencillo (hacer cálculos para medir el rendimiento de la carne de cada cerdo), el método representaba una innovación que tuvo implicaciones en el total de la producción de *prosciutto* de la región. Sin embargo, no es un trabajo que le haya dejado regalías importantes. En palabras de GZB001, es presunción mal pagada. Por otro lado, se trata de un método de selección que no se basa en la modificación genética. Ejemplifica, cómo métodos similares estaban presentes antes de que se expandiera el discurso de la genética molecular en la zootecnia. En la perspectiva de GZB001, la intervención de la academia en el mundo productivo de su época, se realizaba de esta forma. Realizando pruebas con productores, pero difundiendo los resultados en forma más abierta. No se pensaba en patentes entonces. Se comienza a hablar de patentes con la genética molecular.

En el diálogo de GZB001 está presente la idea de que la investigación de su época era más libre, en el sentido de que todo se publicaba y estaba a disposición de todos. Y de hecho en sus dos ejemplos se describe bien este hecho. Recordemos que en el caso de la leche, él parte de trabajos publicados para afrontar el problema y después sus pruebas también las publica, de manera que otros contribuyen a la conclusión sobre el factor relacionado con la cappa casina B; que a su vez también tiene un efecto no comercial primordial “la salvación de una especie”.



## **Capítulo V. Análisis, discusión de datos, y conclusiones**

En los capítulos anteriores hemos dado cuenta del desarrollo de la biotecnología aplicada a la agroalimentación en dos contextos locales, que si bien son distintos presentan similitudes importantes en su incorporación a la industria. Esto nos deja un importante análisis por realizar en diversos niveles y que presentamos en los apartados de la sección de conclusiones. El primero de ellos da cuenta de las similitudes y diferencias que hemos encontrado a partir de la literatura sobre el desarrollo de la biotecnología tanto en México como en Italia. El segundo aborda el análisis particular de los casos que hemos documentado en Puebla y Bolonia. El tercero ofrece un resumen de las conclusiones que surgen a partir del desarrollo de la biotecnología en ambas localidades, las implicaciones que percibimos para las políticas públicas sobre la innovación tecnológica, así como algunos temas emergentes que pueden dar pie a futuras investigaciones.

Por otra parte, es importante señalar que el presente trabajo tuvo la intención primordial de documentar las experiencias de los investigadores que laboran en el fomento a la innovación tecnológica desde la academia. Por tanto, nuestro documento sirve de retroalimentación importante porque les permite conocer los procesos que llevan a cabo investigadores que laboran en temas disciplinares análogos en un contexto internacional. Igualmente, permite conocer las problemáticas que han enfrentado, las ideas que no han prosperado, las razones que han limitado su desarrollo, y en otros casos los elementos que les han ayudado a unos y otros a impulsar iniciativas de investigación aplicada y transferencia tecnológica. De igual modo, es de utilidad para los jóvenes investigadores que pretenden emprender un tipo de carrera combinando la investigación aplicada con la comercialización de sus resultados de investigación. Debemos recordar que la literatura especializada en transferencia tecnológica, como ya lo ha señalado Geuna y Muscio (2009), ofrece poca evidencia del tipo de conocimiento que se trasfiere a través de las oficinas de transferencia tecnológica, y la que realizan los profesores de forma directa. En tal sentido, particularmente en el caso mexicano la literatura es escasa, no sólo en lo que se refiere a la documentación de este tipo de evidencia, sino que es escasa en general en el análisis de la colaboración universidad-industria. Asimismo, la literatura en idioma español también resulta escasa en lo que se refiere a la descripción de casos internacionales comparados de este tipo, y que esté basada en la amplia literatura escrita en inglés. En tal sentido, el objetivo final de este trabajo

ha sido proporcionar una contribución que ayude a superar esta carencia de análisis detallado sobre la transferencia tecnológica.

De igual forma, al interior de la descripción de los casos en ambas localidades se puede percibir la ruta que se sigue en la construcción de *know-how* nuevo, la combinación de las diversas fuentes que utilizan los investigadores para construir sus temas de investigación y los puntos críticos que han influido para dar prioridad a ellos. Si bien es importante analizar las dificultades que enfrentan los investigadores para transferir su tecnología, es más importante analizar y entender cómo la construyen. Como ya ha mencionado Orsenigo (2001), no importa tener esquemas adecuados de transferencia tecnológica, si no hay nada que transferir.

Finalmente, un asunto que debe señalarse enfáticamente es la dificultad de documentar la diversidad de las formas en las que se realizan los flujos de conocimiento entre la universidad y la industria. Como primera complicación que hemos enfrentado está el hecho de que este tipo de actividades aún se encuentran en una fase de institucionalización en universidades como la BUAP y la UNIBO (a donde pertenecen la mayor parte de los casos que hemos presentado). Es decir, se trata de actividades que aún no se incorporan totalmente dentro de las funciones que realizan los investigadores como parte de su “misión”. Asimismo, existen muchos elementos legales y administrativos que recientemente se han incorporado y que dan paso a una mayor libertad y apertura para realizar este tipo de actividades. Ya hemos mencionado como ejemplo, que en el caso mexicano la modificación a la ley de servidores públicos que permite a los investigadores ser accionistas en la conformación de una empresa nueva, fue aprobada en diciembre de 2015. Mientras que la reglamentación análoga para el caso de Bolonia se implementó en 2001, así como la actualización de las líneas generales para los proyectos de investigación colaborativa, comisionada y consultoría académica. Como tal, la aprobación de la legislación es un elemento que influye en las modificaciones de las actividades de los académicos, pero el cómo se difunde y se aplica en la práctica implica un proceso de asimilación de la comunidad académica, que no solo sucede a través del tiempo sino que implica el adoptar una “identidad emprendedora”, ajena a su contexto local. Asimismo, hay que recordar que más allá de las modificaciones legislativas, en lo general la colaboración universidad-industria en las universidades no se declara abiertamente. Aquellas actividades que se dan a conocer (sea proveniente de documentos institucionales e incluso en las entrevistas) son las que generalmente han sido gestionadas por los canales institucionales. Pero en general, los investigadores prefieren gestionarlas de manera individual.

De igual manera, en el caso específico de Puebla, la documentación sobre las patentes y los proyectos financiados por recursos públicos ha sido complicado de recabar, dado que la información proviene de muy diversas fuentes y no se encuentra en línea. Asimismo, al inicio de nuestra investigación la oficina de transferencia tecnológica de la BUAP apenas tenía un año de haberse creado y contaba con tan sólo dos miembros en su equipo de trabajo. Por lo cual los procesos para su funcionamiento apenas se vislumbraban, la información sobre las solicitudes de patente que estaba gestionado resultaba muy escasa, y se actualizaba al mismo tiempo que nuestra investigación se construía. De hecho, las presentaciones para la conformación de nuestro trabajo de investigación daban ya retroalimentación a los procesos que debía implementar tal oficina.

## **1. Diferencias y similitudes en el desarrollo de la biotecnología en Italia y México**

Una diferencia importante en cuanto al desarrollo de la biotecnología en Italia y México son los centros donde tuvo origen la disciplina y su posterior expansión al resto del país, así como su incorporación a la industria.

En México se da una gran concentración de la investigación en biotecnología que proviene de las líneas de investigación generales sobre microbiología, ingeniería bioquímica, genética ingeniería química, enziomiología, que tienen origen en los años cuarentas del siglo XX en las principales instituciones del país (IPN y UNAM). Posteriormente surgen durante los setentas varios centros de investigación, primero en la ciudad de México y posteriormente en prácticamente toda la república dedicados a la biotecnología. El centro más importante que tuvo la mayor trascendencia en el desarrollo de la disciplina en México es el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería CINVESTAV-IPN, establecido con gran liderazgo del Dr. Carlos Casas Campillo, distinguido profesor de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del IPN. La mayor parte de las líneas de investigación que se desarrollan se refieren a la biotecnología aplicada a la agroalimentación, que aunque no se acompañan de políticas específicas para desarrollar la biotecnología en México, ganan importante financiamiento público para su desarrollo. Durante los setentas y ochentas en México se tenía en perspectiva que el área de mayor aplicación y potencialidad fuese la biotecnología aplicada al sector agroalimentario; así se consideraba en el ámbito académico y en los planteamientos de política pública que comenzaban a identificar la existencia de la biotecnología aunque la

financiara de forma secundaria. Sin embargo, la presencia de la disciplina en la industria se desconoce porque las experiencias documentadas son muy escasas. A pesar de ello, en el estudio de Casas (1993) se asegura que durante los ochentas existían cerca de 400 empresas de biotecnología; dedicadas a la elaboración de bebidas alcohólicas y lácteas, mientras que la producción de enzimas y antibióticos estaban en las manos de empresas trasnacionales; son apenas cinco las empresas de capital mexicano que surgen para la producción en tal área. Asimismo se señala que uno de los programas de mayor consolidación emanado de la época de la modernización tecnológica (durante 1992) fue la creación de incubadora de empresas de base tecnológica instalada en Querétaro y Ensenada, así como la creación de seis más al interior del país por iniciativa del CONACYT. Sin embargo, existen pocas referencias que indiquen la creación de empresas derivadas de tales incubadoras. Casas (1993) señala que surgen algunas empresas *spin-off* de parte de investigadores mexicanos pero tienen un limitado desarrollo y alcance nacional. No pueden considerarse como parte de un proceso de industrialización de la biotecnología en el país. Es decir, sirven para hacer negocios que funcionan para atraer ganancias a los profesores y resolver de alguna forma su situación económica, pero su alcance no repercute en el logro de objetivos nacionales. En tal proceso de aparente poca industrialización de la biotecnología mexicana, debe considerarse que a diferencia del caso estadounidense donde el *Bay Dole Act* se implementó en 1980 y permitió la expansión de las *spin-offs* emanadas de universidades americanas, en México durante ochentas aún se tenía la limitación legal que permitiera a los investigadores participar en la creación de empresas. Como ya hemos señalado la legislación que permite a los investigadores de las instituciones públicas aprovechar sus resultados de investigación con fines comerciales se modificó y aprobó apenas en diciembre de 2015.

Aún con las limitaciones legales, y aunque el estudio de Casas (1993) no ofrece detalles de las *spin-offs* creadas a partir de la biotecnología de las universidades y centros de investigación, el antecedente es importante porque ella misma asegura que en México y Latinoamérica, la biotecnología vino a romper el patrón escaso de vinculación entre universidades e industria que existía en esta parte del mundo. Sobre todo con empresas mexicanas y brasileñas creadas a partir de contratos y convenios que implicaban riesgo compartido entre universidades, centros de investigación y organizaciones privadas.

Por otro lado, en el panorama regional, en Puebla se observa un desarrollo de la biotecnología que proviene de la formación de investigadores de la BUAP que en su mayoría inician estudiando biología, ciencias químicas e ingeniería química en esta misma universidad, y posteriormente estudian posgrados en el IPN, la UNAM y el COLPOS; sólo

algunos estudian doctorado en el extranjero<sup>146</sup>. Como institución más importante en la materia se encuentra el Centro de Investigaciones en Ciencias Microbiológicas de la BUAP; que es el centro fundado con gran iniciativa del Dr. Jesús Caballero Mellado, profesor distinguido proveniente del IPN, y que con la colaboración de jóvenes investigadores formados por él se estructuran líneas de investigación fuertes en el área del estudio de bacterias y a su aplicación en la agricultura; así como la conformación de un acervo fundamental de bancos de bacterias. Hasta antes de 1987, fecha de cohorte del estudio de Casas (1993), en Puebla no existía otro equipo de investigación trabajando en biotecnología en Puebla; en tal estudio se hace mención del centro de investigación de la BUAP como un grupo especializado en investigaciones sobre fijación de nitrógeno. Los demás centros de investigación de biotecnología que se encuentran funcionando actualmente en la región se establecen posteriormente. Entre los más importantes se encuentran los centros del Colegio de Posgraduados (COLPOS), la Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla (UPAEP), la Universidad de las Américas (UDLAP) y el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA)<sup>147</sup>; este último aunque se encuentra en Tlaxcala tiene influencia en la expansión de la disciplina en el estado de Puebla.

Así, el desarrollo de la biotecnología en Puebla siguió una ruta similar a la que se puede percibir a nivel nacional. Surge donde ha habido una tradición de estudio en las áreas de microbiología, ingeniería química, y bioquímica; todas ellas en la BUAP. El establecimiento del Centro de Investigación en Ciencias Microbiológicas tiene un peso fundamental en la consolidación de estas disciplinas dentro de la universidad. Además, en Puebla se establecen también instituciones que emanan de instituciones nacionales ya dedicadas al estudio de biotecnología en años anteriores; los mismos profesores de la BUAP hoy dedicados a la biotecnología, estudiaron posgrados en tales instituciones. Se pueden mencionar: el COLPOS- campus Puebla, centro que forma parte de la institución con el mismo nombre en Chapingo (estado de México). La UPAEP, que tiene como líder del grupo de biotecnología a una egresada del CINVESTAV-IPN (ciudad de México); y el CIBA, que oficialmente forma parte del IPN. El caso de la UDLA es particular, porque aunque varios investigadores de la BUAP (sobre todo del área de alimentos) estudiaron maestría o doctorado en tal institución, los investigadores de la propia UDLA no aparecen en ningún momento

---

<sup>146</sup> La indicación que realizamos sobre que sólo algunos profesores han estudiado en el extranjero es válido sólo para el grupo de investigadores que se ocupan de biotecnología. En el capítulo 2 (página 83) se menciona la forma en la que se ha estructurado la comunidad científica en México. Referencias similares se pueden observar también en el capítulo 3 (página 158) para el caso específico de Puebla.

<sup>147</sup> No se entiende porqué el nombre de este centro es “biotecnología aplicada”, cuando tal disciplina por definición e historia es *de facto* aplicada.

como solicitantes de patente o responsables de proyectos de innovación financiados por fondos públicos. No se duda que sea un centro importante en la investigación sobre biotecnología en Puebla, pero su participación en procesos de innovación relacionada con biotecnología se desconoce porque no está documentada en publicaciones.

En el caso de Italia, el origen de la biotecnología es diferente porque tiene antecedentes en instituciones dedicadas al cuidado de la salud. Existe una fuerte base disciplinaria que tiene antecedentes en las investigaciones realizadas por grupos multidisciplinarios a inicios de los cuarentas, en el Instituto Superior de Sanidad en Roma; con gran liderazgo de Domenico Marotta y figuras que habían ganado el Premio Nobel en fisiología o medicina como Daniel Bovet y Ernst Boris Chain. De igual forma, existe un desarrollo importante durante los sesentas y setentas en otras instituciones de salud establecidas en Nápoles, Pavía, Génova y Milán. El Instituto Internacional de Genética y Biofísica de Nápoles es particularmente importante porque varias generaciones de investigadores italianos se forman allí, incluso James Watson es director del instituto por algunos años. Mientras en Pavía, figuras como Adriano Buzzati Traverso dan pie a las investigaciones sobre la genética en Italia. En Milán existe un desarrollo mayor de la biotecnología en varios momentos. En el área de investigación sobre biología molecular es importante el establecimiento durante los sesentas del Instituto de Investigaciones Farmacológicas, inicialmente con la apertura de la sede en Bérgamo y posteriormente en Milán. Posteriormente durante los noventas se establece el parque científico San Raffaele en Milán, promovido por Don Luigi Verzè, director también del Hospital San Raffaele.

La base de investigación en la biotecnología ligada al cuidado de la salud tiene un impulso fuerte durante los ochentas, con el surgimiento de políticas públicas que saben identificar la existencia de la biotecnología e incrementan el financiamiento a la investigación aplicada. Durante este periodo se instala una comisión nacional que plantea mecanismos de política para el desarrollo de la biotecnología, al tiempo que se aprueba la Ley 46 con la cual se da una reorientación al financiamiento público a la investigación científica y se otorga prioridad a la investigación aplicada. Durante la misma época Federchimica (líder de la industria química en Italia) publica reportes importantes sobre el estado del arte de la biotecnología en el mundo, que de hecho son los antecedentes para la reacción gubernamental en el establecimiento de políticas públicas en esta materia. Al interior de Federchimica también se instala Assobiotec, que es la asociación principal de empresas biotecnológicas de Italia. Se considera que Federchimica es la industria que más influencia tiene para el desarrollo de la biotecnología en Italia. Durante los noventas, la Lombardía se convierte en la



región donde se tiene un mayor desarrollo de la industria basada en biotecnología. Ahí es donde se instala el parque científico San Raffaele, y donde se establecen la mayor parte de las *spin-offs* biotecnológicas durante los años dos mil; primero siendo el resultado de reestructuraciones de las grandes empresas farmacéuticas, y posteriormente siendo parte de *start-ups* derivadas de universidades. En el conjunto de la nación entera la industrialización de la biotecnología en el país resulta endeble, pero no sucede lo mismo si se analiza sólo el caso de la Lombardía; donde el resultado de tal industrialización se da por los acuerdos de colaboración entre agencias públicas y privadas, a través del establecimiento de parques científicos, consorcios de investigación, y fondos de capital de riesgo, es una característica de colaboración y alianzas documentada por Orsenigo (2001), que refleja formas de capital social que no se observan en el conjunto de la nación y que pueden explicar la expansión mayor de *spin-offs* surgidas después de los años dos mil. De acuerdo con los datos de Assobiotec (2016) las empresas biotecnológicas son 500 y la mayor parte se encuentran en la Lombardía (141), especialmente en Milán y provincia; en su mayoría son pequeñas y dedican la mayor parte de sus actividades a labores de investigación y desarrollo; empleando a cerca de 9,200 trabajadores (la mayor parte egresados de universidades).

Figura 70. Diferencias en el desarrollo de la biotecnología en Italia y México

- Rutas de origen y expansión de la disciplina en la academia y su incorporación en la industria
  - En México se desarrolla mayormente la biotecnología aplicada a la agroalimentación
  - En Italia se desarrolla mayormente la biotecnología aplicada a la salud
- Origen y desarrollo de la biotecnología en instituciones dedicadas al estudio y generación de tecnología
  - En México, la presencia del Instituto Politécnico Nacional es muy trascendente en el desarrollo de la disciplina al interior del país. Desde la creación de la Escuela de Bacteriología en 1933 y posteriormente el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del CIVNESTAV-IPN en 1972; a la postre sería el centro con mayor número de investigadores, mayor financiamiento, equipamiento y el que cubría la mayor cantidad de líneas de investigación en biotecnología.
  - En Italia, parece no haber sucedido un desarrollo similar en el Instituto Politécnico de Milán, u otra institución dedicada exclusivamente al desarrollo de tecnología. El desarrollo de la disciplina tiene orígenes y desarrollo en las investigaciones del Instituto Superior de Sanidad en Roma, y varios centros de investigación de instituciones de salud ubicados en Milán, Nápoles, Pavía y Génova. Aunque debe advertirse que las referencias sobre el desarrollo de la disciplina al interior de las universidades son escasas, lo que permite ver la bibliografía es la gran influencia de las instituciones dedicadas al cuidado de la salud en la investigación sobre biotecnología del país.
- Desarrollo de políticas específicas para el desarrollo de la biotecnología
  - Durante los ochentas, en Italia se integra una comisión nacional para establecer un plan de desarrollo de la biotecnología en el país. Tienen gran influencia los planteamientos de la industria química a través de Federchimica. El financiamiento público a la investigación se reorienta para dar prioridad a la investigación aplicada y con este esquema (ley 46) se otorga financiamiento a proyectos de biotecnología aplicada a la salud.
  - En México, no existen planteamientos de políticas específicas para el desarrollo de la biotecnología y se otorga financiamiento a proyectos de tal disciplina de forma secundaria. Casas (1993) lo refiere como una política desintegrada y poco efectiva para apoyar la biotecnología. Orsenigo (1989) refiere que antes de los ochentas el gobierno italiano no se había percatado de la existencia de la biotecnología, en México pareciera que tal identificación de la biotecnología sucede apenas en los últimos cinco años; en 2011 a través del FINNOVA se abre un programa específico de financiamiento para tal disciplina. En 1999 se integra una comisión gubernamental para regular la incorporación de la biotecnología al campo, sin que haya existido ninguna comisión de tal tipo para desarrollar la disciplina en el país en años anteriores.

- La industria química responde en forma diversa ante el surgimiento de la biotecnología
  - En Italia, la industria química se da cuenta de la existencia de la biotecnología y hace planteamientos al gobierno para su desarrollo al interior del país. Incluso al interior de Federchimica surge Assobiotec, y se da un gran impulso al estudio de la evolución de esta disciplina en el mundo.
  - En México, no existe un desarrollo similar. La industria química no se pronuncia ni a favor ni en contra, parece no haberse dado cuenta de su existencia. Además no existen asociaciones similares a Assobiotec; la industria es altamente fragmentada.
- Expansión de *spin-offs* biotecnológicas
  - En Italia, surgen *spin-offs* emanadas de la industria química y en la última década también de universidades.
  - En México, surgen durante los ochentas *spin-offs* universitarias con fuertes limitaciones legales en lo que se refiere a la participación de profesores; su existencia es efímera y prácticamente pasa desapercibida en el panorama nacional.
- Formación de *clusters*
  - En Italia se integran *clusters* de empresas biotecnológicas principalmente en la Lombardía.
  - En México, aunque existen parques industriales no se integran *clusters* en el área de biotecnología.
- Reacción de las asociaciones campesinas y de académicos ante la agricultura transgénica
  - En Italia, las asociaciones campesinas están divididas a favor y en contra de la agricultura transgénica, y hay asociaciones de académicos que han hecho planteamientos al gobierno para detener la política restrictiva y permitir la siembra de cultivos transgénicos.
  - En México, sólo existen pronunciamientos en contra provenientes de asociaciones de campesinos y académicos de diversas instituciones.

Figura 71. Similitudes en el desarrollo de la biotecnología en Italia y México

- Sistema de investigación científica con tendencia marcada a la investigación básica y estructura débil de vinculación con la industria
  - En ambas naciones se estructuran sistemas de ciencia y tecnología con fuerte tendencia a la investigación básica; se estructuran instituciones importantes como el CNR en Italia en 1923, aunque la producción científica del país sucede en forma realmente relevante hasta los setentas y tiene sus avances más significativos durante los noventas, cuando se estimula la formación internacional de los profesores. En México, la investigación se desarrolla tradicionalmente al interior de la UNAM (desde principios del siglo XX) y el IPN (fundado en 1936); la política de ciencia y tecnología se institucionaliza y tiene mayor impulso con la creación del CONACYT en 1970; se da impulso importante a la formación de profesores a nivel nacional y también en el extranjero. Sin embargo, en ambas naciones no se tienen mecanismos formales de vinculación con la industria; éstos surgen durante las últimas décadas. De igual forma, la intención de crear sistemas nacionales de innovación no es prioridad de las políticas públicas sino hasta las últimas décadas. Primero en Italia, con la reorientación del gasto público a investigación durante los ochentas, y la intensificación y adopción de las políticas de la comunidad europea durante los años noventas y dos mil. En la región de Emilia Romagna se retoman también tales políticas y surgen acciones coordinadas regionalmente durante los años dos mil. En México, políticas similares surgen en modo más tardío, se intensifican y toman mejor forma hasta los años dos mil cuando existen modificaciones en la legislación y se diversifican los fondos para financiar la investigación aplicada. En Puebla, surgen planteamientos de política relacionadas con innovación tecnológica pero aún resultan vagos y no se ven reflejados en el financiamiento a la investigación que realizan las instituciones públicas.
- Poco desarrollo de la investigación en biología molecular e ingeniería genética
  - Con los datos recabados por Casas (1993) y Orsenigo (1989) sobre el desarrollo de la biotecnología durante los ochentas se puede apreciar que dentro de la biotecnología el área de biología molecular e ingeniería genética era la que menos se desarrolló en ambas naciones. Orsenigo (1989) menciona que especialmente la libertad para la experimentación genética fue uno de los factores más importantes para explicar por qué la disciplina se desarrolló de modo más tardío en Italia que en Estados Unidos, pues es lo que caracterizó la expansión de las *spin-offs* americanas. La comparación también resulta válida para México pero no en la misma dimensión. Si la biología molecular es débil en Italia, lo resulta en comparación con Estados Unidos. Aún siendo débil tal área en Italia, se puede afirmar que las instituciones de Salud en Roma, Nápoles, Pavía, Génova y Milán en las que se desarrolló la biología molecular fueron la base para la industria de los antibióticos y otros productos farmacéuticos, que posteriormente surgió principalmente en la región de la Lombardía, y que continúa siendo importante con la concentración de *spin-offs* en esa misma área durante los años dos mil. En el caso de México no se puede apreciar un desarrollo similar.
- Poca libertad de intercambio de personal entre academia e industria
  - A diferencia del contexto americano donde existe mayor flexibilidad para la intercambio de personal entre academia e industria, en México e Italia la estructura y carrera laboral es más rígida.

- Desarrollo reciente de mecanismos formales de vinculación universidad-empresa
  - De acuerdo con Orsenigo (1989), hasta finales de los noventa sólo pocas universidades italianas habían desarrollado una estructura organizacional para atender las relaciones universidad-industria; la mayor parte de las OTTs creadas en Italia se establecen entre 2004 y 2006. En México se da un panorama un poco similar pues antes de los noventa sólo se tenían los antecedentes del Centro de Innovación Tecnológica creado por la UNAM en 1979. Particularmente en la BUAP, tiene gran transcendencia la creación y reorientación del Centro Universitario de Vinculación a inicios de los años 2000. En el panorama nacional, la mayor parte de OTTs se establecen después de la creación del fondo FINNOVA en 2010.
- Estructura fragmentada de equipos de investigación en biotecnología y poca comunicación
  - El panorama que presentan Casas (1993) y Orsenigo (1989) sobre la dinámica de los grupos de investigación durante los setentas, ochentas y principios de los noventa describe a pequeños equipos de investigadores realizando investigación sin mucha interacción con la industria y poca comunicación entre ellos. La situación pareciera más acentuada en México, donde incluso los laboratorios de las instituciones públicas solían llevar el nombre del investigador líder. Surgen posteriormente congresos y agrupaciones específicas sobre biotecnología donde se presentan resultados de investigación; pero cabe la duda si con la popularización del sistema de patentes en la academia se regresa a adoptar actitudes reservadas, que se contraponen con la libre discusión y transmisión de conocimiento científico-tecnológico ¡al interior de instituciones públicas! Tanto en Puebla como en Bolonia existen ejemplos que emanan de los casos presentados, que indican que tales limitaciones y contradicciones están sucediendo al interior de las facultades y centros de investigación actualmente. En el caso específico de México, Casas ya ha referido que la fragmentación y poca comunicación ha sido uno de los principales problemas en toda la estructura del sistema de investigación científica y tecnológica en el país. Y en los casos que presentamos se hace referencia a ello en los casos: Agricultura del maíz e inoculantes, conservación y estabilización de alimentos, y subproductos agroindustriales. En el caso particular de la BUAP, la institucionalización de la ciencia proviene del establecimiento de la escuela de físico-matemáticas y el Instituto de Ciencias. Se trataba de pequeños grupos de profesores que incursionaron en labores de investigación. Posteriormente los problemas insostenibles al interior del instituto dieron pie a su división, formándose tres más. Con la creación del CONACYT y la expansión de la educación superior en México, varios investigadores se incorporaron a trabajar escuelas e institutos de la universidad (algunos más se forman como investigadores a través de los apoyos del CONACYT). Así, cada centro de investigación ha sido creado por la iniciativa de algún investigador que ha tenido el propósito de crear un reino propio. Se asemeja a lo ya descrito por Casas: Dos investigadores con la misma categoría prefieren abrir dos departamentos débiles que uno sólido. La creación de los centros no ha sido resultado de acciones de políticas de planeación institucional. Por tanto, los grupos que estudiamos se encuentran en diversos departamentos alrededor de la universidad, todos se ocupan de biotecnología (algunos más especializados en biología y otros en química) pero en varios casos se ocupan de líneas de investigación similares, sin mantener colaboración entre ellos. Son comunes los comentarios que refieren que su red de colaboración está compuesta por gente de la misma facultad o centro de investigación, pero en mucho menor medida sucede colaboración interdepartamental. A partir de los años 90 se extendió en las

universidades, como resultado de los incentivos federales en ciencia y tecnología, una forma de gestión más racional de los recursos humanos y materiales, promoviendo una mayor colaboración entre grupos académicos. Esto significa que la creación de lazos de colaboración no es solo un rasgo de los grupos e individuos sino que también está influenciada por las políticas gubernamentales y las formas de gestión de las organizaciones académicas. El capital social tiene, entonces, un componente regulatorio, que puede contribuir positivamente o bien obstaculizar su formación.

- Políticas restrictivas para la plantación de cultivos transgénicos, establecimiento de “principio de precaución”.
  - En ambas naciones se han adoptado políticas restrictivas, y de hecho las plantaciones de cultivos transgénicos se encuentran bloqueadas legalmente. Se han establecido también regiones protegidas y existe un debate público sobre la agricultura transgénica. Al parecer en Italia se tiene mayor participación de la opinión pública (incluso puede verse en la participación de asociaciones como *slow-food* en la Expo Milano 2015).
- Alta presencia de empresas multinacionales en investigación sobre agricultura transgénica
  - Es más acentuado en México, donde el registro de variedades vegetales prácticamente opaca a las instituciones nacionales (solo figura el INIFAP). El 35 por ciento de solicitudes de título de variedades vegetales se concentra en cuatro instituciones el INIFAP y tres empresas multinacionales: Pioneer Hi-Bred International, Inc., Semillas y Agroproductos Monsanto, S.A de C.V., y Driscoll Strawberry Associates, Inc. (periodo 1984-2014).
- Percepción negativa de los consumidores ante la agricultura transgénica
  - La percepción negativa aparentemente es más acentuada en Italia que en México. En México los consumidores están más preocupados por el precio y la “calidad” de los productos agrícolas que por su composición genética. Mientras en Italia, las asociaciones civiles tienen más presencia en la difusión relacionada con la conservación tradicional de los alimentos.
- No agricultura transgénica pero si importación de productos transgénicos
  - En ambas naciones las políticas restrictivas son severas, pero la importación de productos transgénicos es muy relevante. En México, la demanda de maíz no llega a cubrirse con la producción local, por lo se importa maíz principalmente de las naciones donde se produce maíz transgénico: Estados Unidos, Argentina y Sudáfrica (Wolf, D., & Otero, A., 2013, 2015). Mientras que en Italia, la importación de productos transgénicos se da tanto en alimentos procesados de consumo humano y como en alimentos para animales (Sloop, C., & Bettini, O., 2015). La importación es especialmente grande en piensos para animales.

Tanto en México como en Italia, pareciera que la postura sobre las restricciones a la agricultura transgénica son resultado de formas reactivas ante la tecnología que no surgió al interior del país. Es decir, ambos países tienen un poco de desarrollo de la biotecnología molecular e ingeniería genética. El mismo Orsenigo (1989) ya mencionaba que en Estados Unidos el clima de libertad ante la experimentación genética fue uno de los factores que permitió la incorporación de la biotecnología a la industria en años posteriores, y en el ámbito de los consumidores las actitudes de rechazo inicial pronto dejaron de ser trascendentes. Aunque no queda claro si existió por parte de las transnacionales u otras empresas acciones de “convencimiento” como las que están intentando incorporar en México a través de divulgación científica. Por otro lado, no se ha hecho evidente en la literatura que en contextos en los que la alimentación está muy relacionada con la identidad cultural, como es el caso de México e Italia, la incorporación de tal tecnología seguramente será más tardía y compleja. En el caso de Estados Unidos, es claro que no hay una identidad cultural ligada a tradiciones gastronómicas y ello podría explicar por qué el asunto pasó desapercibido por los consumidores. En México, con las acciones de los activistas los consumidores están aprendiendo que el país es la región de origen del maíz en el mundo; y es la base de la extensa gastronomía nacional. Mientras que en Italia, la denominación de origen tiene una larga tradición en gran parte de los productos agroalimentarios que se consumen en el país.

## **2. Ejes principales de análisis de casos – Puebla y Bolonia**

### **Innovación tecnológica**

Los casos que hemos descrito en el capítulo tres y cuatro cubren una buena parte de las aplicaciones que emanan de la biotecnología y aún se investigan con la intención (en algunos casos) de incorporarse económicamente al sector agroalimentario; de alguna manera cubren la cadena completa de tal sector. Una primera comparación simple tiene que ver con las aplicaciones que se investigan y se han desarrollado como especialidad en una localidad y otra. Asimismo, el análisis de la comparación que presentamos a continuación da cuenta de las preguntas que nos hemos planteado a partir de nuestro primer eje de análisis (innovación tecnológica):

- ¿Cómo es transferida la tecnología producida desde la universidad en contextos locales?
- ¿Qué similitudes y diferencias se encuentran en el desarrollo de los procesos de innovación en biotecnología agroalimentaria en Puebla y Bolonia?

En el caso de Puebla, toda el área de fruticultura, mecanización agrícola, agricultura orgánica, y probióticos, prácticamente están desatendidos en toda la entidad por parte de las universidades y centros públicos de investigación. No existen grupos de investigación que se hayan especializado en aplicaciones similares a las que existen en Bolonia en tales áreas. También es de llamar la atención que dentro de la entidad, en la BUAP no exista ningún equipo de investigación que esté desarrollando aplicaciones relacionada con la Zootecnia. El caso que presentamos se refiere a una empresa que se instaló en Puebla, prácticamente sin interaccionar de ninguna forma con la universidad pública más importante del estado. Los empresarios son egresados que se formaron en su mayoría en Harvard y la UNAM, con quienes han tenido fuerte interacción para desarrollar tecnología propia, y posteriormente lo han hecho con el Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada-IPN (ubicado en Tlaxcala), así como con otras universidades americanas y nacionales. Esto no quiere decir que no exista una facultad que se ocupe de estos temas en la BUAP, desde luego que existe la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, que de hecho se encuentra físicamente cercana a Tehuacán (sede de la empresa), pero el desarrollo de tecnología al interior de tal unidad académica no ha sido prioridad; y al interior de otros centros de investigación de la universidad toda el área de zootecnia parece no despertar interés. De igual manera, es de llamar la atención que la genómica o ingeniería genética resulte de interés menor para los investigadores de la BUAP, aunque ya se comentaba que un grupo dedicado a desarrollar inoculantes también tiene formación y conocimientos sobre desarrollo de semillas mejoradas y en genómica en general, toda lo referente a ingeniería genética pareciera -en la percepción de los investigadores de la BUAP- representar su “competencia” dentro de las diferentes subdisciplinas o especialidades al interior de la biotecnología. En menor medida, algo similar es percibido en el COLPOS (centro público de investigación), aunque el investigador entrevistado ha admitido que de contar con la infraestructura necesaria él mismo también desarrollaría semillas mejoradas (como lo hacen las empresas transnacionales). Esto sugiere que dentro de los centros públicos de investigación se defiende el desarrollo de inóculos y técnicas tradicionales de fitomejoramiento simplemente porque es la tecnología que les ha sido posible desarrollar con la infraestructura con la que cuentan; no es porque no tengan pretensiones de incursionar en las técnicas que desarrollan las empresas.



En el caso de Bolonia, la tecnología aplicada a la agricultura de maíz no se ha desarrollado en forma prioritaria en comparación con Puebla; donde existen al menos cuatro grupos de investigación. Es claro que la producción de maíz en Italia no resulta tan prioritario como en México, pero el desarrollo de inoculantes y semillas mejoradas (que representan la estrategia principal de las empresas multinacionales) no está resultando una prioridad en Bolonia. A parte del grupo del profesor Tuberosa, con quien no fue posible realizar entrevista, habrá que recordar que el grupo dedicado a estos temas sólo consta de un investigador líder (AMIB001) que labora con estudiantes de doctorado y licenciatura. AMIB001 es quien tuvo una fuerte influencia después de realizar una estancia en el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, y después continuó realizando investigación financiada exclusivamente por empresas, siendo posteriormente quien más ha registrado patentes dentro de la Facultad de ciencias agrícolas de la UNIBO; pero esto ha implicado que tenga poca interacción académica con el resto de los investigadores de la universidad. Por lo que representa un grupo pequeño, que divulga su conocimiento sólo a través de patentes y artículos; pero en mucho menor medida a través de seminarios y conferencias.

En tal sentido, las líneas de investigación en la UNIBO resultan más diversificadas y cubren la mayor parte de las aplicaciones en el campo de la biotecnología, pero tales especialidades tienen diversos grados de integración con la industria.

Figura 72. Casos por subdisciplina o especialidad	
Puebla	Bolonia
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura de maíz e inoculantes</li> <li>• Agricultura de maíz y fitomejoramiento (genómica)</li> <li>• Conservación y estabilización de alimentos</li> <li>• Restauración y manejo de suelos</li> <li>• Uso de subproductos agroindustriales: quitina, quitosano y nejayote</li> <li>• Zootecnia, vacunas, bioseguridad y control de micotoxinas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agricultura de maíz e inoculantes</li> <li>• Agricultura orgánica y agro-homeopatía</li> <li>• Conservación, estabilización de alimentos y probióticos</li> <li>• Fruticultura</li> <li>• Mecanización agrícola</li> <li>• Restauración y manejo de suelos</li> <li>• Uso de subproductos agroindustriales</li> <li>• Genómica y Zootecnia</li> </ul>

Un segundo aspecto que podemos aprender de la comparación de los casos de Puebla y Bolonia es el grado de integración que han logrado los investigadores a partir de la subdisciplina o especialidad.

## **Grados de integración con la industria dependiendo de la subdisciplina o especialidad**

Los casos que hemos analizado se pueden clasificar en categorías de proyectos de innovación tecnológica que dependiendo de la subdisciplina o especialidad se han vinculado con la industria en grado diverso.

### a) Proyectos relacionados con genómica e ingeniería genética

Aquellos proyectos que tienen más relación con la ingeniería genética tanto en Puebla como en Bolonia (aunque sea el menor número de casos), han encontrado más dificultades para incorporarse con la industria, pero hay matices importantes que considerar. Se puede concluir que tal subdisciplina encuentra más dificultades cuando se trata de la generación de *start-ups* y otorgamiento de licencias que cuando se trata de investigación colaborativa o comisionada. Tanto en Puebla como en Bolonia hay aspectos que soportan tal conclusión. En la experiencia del COLPOS, surgió una start-up que tuvo origen en trabajos de investigación llevados a cabo “en conjunto con productores agrícolas”; no resultaría estrictamente investigación colaborativa porque la participación de los agricultores sólo fue el aporte de los campos experimentales. Sin embargo, lo que limitó el mayor desarrollo de la empresa fueron los conflictos entre los socios y la falta de capacitación de los encargados para administrar y hacer crecer a la empresa. Es decir, la semilla mejorada como tal (y que fue el punto central del proyecto) fue aceptada por los campesinos porque participaron, de una forma u otra, en el proceso de investigación para desarrollarla.

Por otro lado, en Bolonia, la experiencia del grupo especializado en Zootecnia permite ver la dificultad que encontró el grupo cuando otorgó temporalmente la licencia de la patente del marcador alimenticio natural; lo que limitó su desarrollo fue la falta de interés de los empresarios en el producto al no pretender marcar de forma tan exacta el origen de los alimentos que producen, además de conflictos políticos. De muchas formas, no importaba que se tratara de tecnología relacionada con genómica, sino que contravenía intereses comerciales. Por otro lado, con un grado menor de ingeniería genética existieron muchos trabajos que implicaban genómica y que llevó a cabo el equipo de investigación a través de proyectos de investigación colaborativa y comisionada al lado de asociaciones de ganaderos de especies porcícolas y bovinas; en especial destacan las experiencias en la mejora de la calidad de carne de cerdo, de res e incluso de conejo, así como los productos lácteos.

Ambos casos provenientes de Puebla y Bolonia son ejemplos de que todo lo relacionado con la investigación colaborativa y comisionada representan una fuente importante de transferencia tecnológica sin patentes que han tenido resultados satisfactorios.

#### b) Proyectos relacionados con inoculantes

Se puede asegurar que los proyectos relacionados con inoculantes se han integrado de forma satisfactoria con la industria, aunque de forma parcial. Es de destacar el caso de BIOFERTIBUAP en Puebla que representa una *start-up* (aún funcionando al interior de la universidad) que se ha mantenido durante varios años ofreciendo inoculantes en prácticamente toda la república mexicana. Se trata del grupo que desarrolla el mayor esfuerzo de divulgación científica explicando el funcionamiento de las bacterias “benéficas” aplicadas al campo; así como la conveniencia de reducir los fertilizantes químicos. Los casos de AMI003 en Puebla y AMIB001 en Bolonia (el investigador con más número de patentes) son los que tienen una integración parcial con la industria. Por una parte, en el caso de AMI003, se tiene en perspectiva la creación de una empresa con base en sus invenciones, y ha tenido poca interacción con productores agrícolas. Si bien es cierto que ha tenido interacción con ellos para aplicar experimentalmente su producto y ha llevado a cabo conferencias, se trata de acciones aisladas más que de un trabajo permanente. En el caso de AMIB001 en Bolonia, es una persona que ya trabajaba con productores agrícolas incluso desde sus estudios de licenciatura; pero en este momento tiene varias invenciones sin otorgamiento de alguna licencia. Sin embargo, su interacción más importante se observa en el hecho de que todas sus invenciones han sido resultado de investigaciones financiadas por empresas; lo cual representa acciones de investigación comisionada que seguramente tienen beneficios para las empresas aunque se desconozcan por el público.

#### c) Proyectos relacionados con tratamiento de residuos

En este rubro están tanto los proyectos que tiene que ver con la restauración y el manejo de suelos, como aquellos dirigidos al aprovechamiento de subproductos agroindustriales (quitina, quitosano, nejayote, cáscaras de frutas, etc.). Son tipos de proyectos interesantes porque están dirigidos a cerrar ciclos en la producción agroindustrial, o bien continuarlos bajo esquemas de agroalimentación sustentable. Pero su grado de integración con la industria tiene matices importantes porque son el tipo de proyectos que pueden no resultar económicamente

atractivos y por tanto debieran ser mayormente financiados públicamente. La biomasa o biosólidos utilizada para integrarse a los suelos agrícolas, por ejemplo, resulta en producto a gran escala que tiene una plusvalía mínima. Por otro lado, la extracción de antioxidantes de residuos de frutas u otro material vegetal puede resultar rentable pero utiliza técnicas ampliamente conocidas en la industria. Existe tal vez en este tipo de proyectos la mayor paradoja de la innovación tecnológica. En la cadena agroalimentaria se piensa en todo menos en qué hacer con los residuos.

En lo que se refiere específicamente a los suelos, en ambas localidades existen proyectos dirigidos a aprovechar biosólidos o biomasa (producto del tratamiento de agua residual urbana). Se debe recordar que el tipo de especialistas en esta área generalmente han estudiado química y su trabajo principal consiste en evaluar la biomasa para determinar sus propiedades; para posteriormente recomendar o no su incorporación al suelo agrícola. La incorporación de biosólidos al suelo agrícola ha presentado dificultades en Puebla, identificadas principalmente en campañas de desprestigio que aseguraban un mal uso de los biosólidos por parte del gobierno estatal (en colaboración con los investigadores de la BUAP). De igual forma, otra dificultad es que los mismos investigadores de la BUAP han publicado en artículos de corte científico que el aporte de fertilidad proporcionada por los biosólidos no es significativa, pero tampoco representa un riesgo ambiental. De esta forma, con demostraciones públicas pudieron “llevar adelante el proyecto” con el gobierno del estado; pero en el fondo les ha sido complicado demostrar científicamente que tales biosólidos tienen influencia en la calidad de las plantas. En el caso anónimo de Bolonia, los trabajos de los investigadores son prácticamente similares; con la salvedad de que no reportan campañas de desprestigio y el tipo de empresa con el que han interactuado es diferente. Cuando los investigadores de la BUAP trabajaron con el Sistema Operador de los Servicios de Agua Potable y Alcantarillado de Puebla (SOAPAP), este era una empresa paraestatal que había presentado problemas organizacionales severos prácticamente desde haberse creado. Al final, la actual administración (que inició su periodo de gobierno en 2011) concesionó los servicios a una empresa privada. Es necesario hacer un monitoreo mayor para conocer el tipo de tratamiento del agua residual urbana que realizan. En cualquier caso, en voz de los investigadores, la empresa utiliza tecnología importada (lo cual no deja de ser desconcertante cuando al mismo tiempo el discurso político del gobierno ha incorporado a la innovación tecnológica como un eje de desarrollo regional) y no tiene interacción con las universidades de la región. En Bolonia, la empresa HERA es una empresa más grande que integra más servicios, no sólo el tratamiento de agua residual urbana, sino energía y cuidado del ambiente.

Es resultado de la fusión de once empresas municipales de la región de Emilia Romagna realizada en 2012, y tiene presencia en buena parte del norte italiano. También es necesario mayor monitoreo para conocer el tipo de tecnología con el que laboran pero en apariencia es una empresa más grande y sofisticada. Entre otras cosas, ha incorporado el sistema de recolección diferenciada de residuos urbanos; asunto que en Puebla aún no ha sido prioridad.

Tanto en Puebla como en Bolonia, el tipo de proyectos relacionados con los biosólidos no ha ofrecido mayores ganancias económicas; habiendo explorado incluso varias formas de utilización, como la transformación de los biosólidos (en forma de lodo) a biofertilizantes (en forma sólida), y la generación de biogás (incluso en Bolonia se tenía planeada una *start-up* que no prosperó). Todas ellas representarían en todo caso mejores opciones a la solución que tradicionalmente se conoce y utiliza: la incineración. Sin embargo, los proyectos son importantes porque investigan el asunto que de fondo deber resolverse: la disposición de los residuos urbanos del agua. En el caso de Puebla ya se reportaba que es el segundo residuo en cantidad a nivel nacional; sin conocer los datos exactos las dimensiones no deben ser menores en el caso de Italia. Estamos ante un asunto que se puede titular “la innovación que nadie quiere hacer y que es la más prioritaria para la subsistencia de los ecosistemas”. En el apartado de Bolonia ya se ha hecho un recuento amplio de las implicaciones que ha tenido excluir al suelo del proceso agroindustrial.

Paradójicamente, el asunto del aprovechamiento de residuos es una de las ventanas de oportunidad para cualquier emprendedor que sepa analizar bien las posibilidades para crear cadenas productivas. En los casos que presentamos, se hace evidente que han tenido mejores posibilidades de generar plusvalía el tipo de proyectos que se focalizan en el aprovechamiento de un material cuando aún no llega a la recolección general de residuos: como los proyectos relacionados de los investigadores de la Facultad de Química Industrial de Bolonia (USAB001 y USAB002); ya se ha descrito que el equipo ha generado tres *spin-offs* y están en proceso de crear una más. Una de ellas implicó la generación de la impresora agroalimentar utilizada para imprimir fotografías comestibles y colocarlas en pasteles; otra dedicada a generar ingredientes activos y proporcionarlos a empresas que elaboran cosméticos (Phenbiox) y una más que se dedica a producir cosméticos (Frescosmesi). Debe recordarse que el origen de estas empresas tuvo como común denominador el proyecto financiado por la comisión europea que tenía el objetivo de aprovechar los residuos de la oliva en la producción de aceite. Ya se decía que en la producción de aceite de oliva el 10 por ciento de la oliva es aprovechado y el 90 por ciento resulta en residuo. Focalizarse sobre cómo aprovechar este residuo llevo al equipo a investigar la composición de las matrices vegetales y de hecho

patentaron un tratamiento específico de matrices vegetales, su descomposición y recomposición. Lo cual fue la base de los procesos que después fueron utilizados por Phenbiox y Frescosmesi, en la extracción de sustancias activas y producción de biocosméticos respectivamente.

Aquí sí existen diferencias notables entre los proyectos de Puebla y Bolonia. Mientras que en Puebla las declaraciones de los investigadores indican que la recolección de los residuos es el problema principal de este tipo de proyectos, los de Bolonia han demostrado que sabiendo generar capital social esa no es una limitación. En específico, quienes se dedican a la extracción de quitina y quitosano a partir de cáscaras de camarón, declaraban que la desconfianza de los restauranteros era demasiada que no permitía obtener de ellos las cantidades suficientes como para establecer un esquema de negocio. Por otro lado, en el caso del aprovechamiento del nejayote para producir biopolímeros utilizables en biomedicina, elaboración de cosméticos y otros, el investigador tiene más interés en continuar una carrera orientada a la investigación básica y que “otros” realicen la aplicación de su tecnología.

En estos dos últimos casos se hace evidente dos cosas importantes sobre el perfil emprendedor de los investigadores y sobre la estructura y funcionamiento de las *spin-offs* en ambas localidades:

- Por una parte, el tipo de perfil emprendedor de los investigadores se tiene más desarrollado en el equipo de Bolonia, y ello tiene consecuencias en el perfil de los estudiantes que forman. En los casos de Puebla, el componente que no se desarrolla es la conformación de equipos de investigación de jóvenes estudiantes trabajando alrededor del investigador líder con la perspectiva de que sean ellos los encargados de *spin-offs*. En Bolonia, USAB001, investigador líder, ha desarrollado un perfil emprendedor que tiene orígenes desde sus estudios de licenciatura, y ha sabido conformar un equipo de jóvenes estudiantes quienes posteriormente son los encargados de las *spin-offs* generadas. El ejemplo más claro es USAB002, administrador delegado de Phenbiox, que es el estudiante más “viejo” del equipo. Otro ejemplo de esta dinámica de los equipos de investigación también se ve en el grupo dedicado a la fruticultura de Bolonia. FRC001 también tiene un perfil emprendedor que proviene incluso de su participación como muy joven administrador en la empresa agrícola de su familia, y posteriormente su contacto permanente con agricultores durante su carrera académica. En este ejemplo, FRC001 también forma estudiantes que posteriormente son los encargados de administrar *start-ups*. FRC002 es administrador delegado de *Horticultural Knowledge* e incluso sus estudios de

doctorado fueron financiados por los productores agrícolas con las que había colaborado el investigador líder. En el caso de Puebla (no sólo en este tipo de proyectos sino en general), los equipos de investigación no permiten que los estudiantes se hagan cargo de *spin-offs*, y ni siquiera lo consideran como una posibilidad<sup>148</sup>.

- Asimismo, los negocios alrededor de la universidad se conservan en la estructura de la universidad sin dejar que sean independientes. Es decir, la universidad si produce empresas pero no *spin-offs*. Quien conozca bien el caso pudiera decir que no es así, pero los ejemplos de empresas que funcionan ligadas a la estructura de la universidad son más numerosas que las muy pocas que han surgido como *spin-offs*. La afirmación que ha dado USAB001 para explicar por qué ha sido posible crear las tres *spin-offs* que han emprendido es claro y simple “para que todos podamos ganar, todos debemos ganar poco”; ello les ha permitido con procesos simples de biotecnología (como ellos mismos los califican) generar capital social, crear cadenas productivas con quienes proporcionan los residuos, y al final hacer negocios rentables. Aún con esa idea (ganar poco), las ganancias de las *spin-offs* que han generado no son para nada despreciables. Los esquemas administrativos y aspectos socioculturales para generar *spin-offs* en Puebla aún poseen tintes muy fuertes de egoísmo, tanto en la estructura administrativa como en la academia, que obstaculizan la generación de confianza, capital social y por ende pocas posibilidades de crecimiento conjunto. Es cierto que las modificaciones legales que permiten a los profesores ser accionistas en empresas es una limitación que no ha permitido generar *spin-offs* en el pasado, pero es mucho más fuerte la limitación que está ligada la identidad sociocultural de los universitarios en Puebla (sobre todo al interior de la BUAP).

#### d) Proyectos relacionados con conservación y estabilización de alimentos

Los proyectos de este apartado son tan diversos que es difícil realizar el análisis comparativo entre los equipos de investigación de Puebla y Bolonia. Los proyectos en su mayoría tienen en común la misma área de aplicación: la conservación de alimentos procesados, pero incluye una gama amplia de subespecialidades y productos.

---

<sup>148</sup> Existe una excepción a esta dinámica en el caso del equipo de investigación de la Facultad de Ingeniería Química de la BUAP conformado por CEA001 y CEA002 que se explica más adelante.

La mayor diferencia entre los grupos de investigación de ambas localidades radica en que es posible observar en los equipos de Bolonia investigadores que han sabido focalizar toda su carrera alrededor de un solo componente disciplinario. Nos referimos a CEAP001 y CEAP002, quienes explícitamente han expresado que su carrera ha girado entorno al estudio de los lípidos y el conjunto de bacterias *bifidobacterium* respectivamente. Estos dos casos de forma singular muestran que la prioridad de los investigadores ha sido el estudio de estos elementos de forma integral; son investigaciones a 360 grados como popularmente se dice en Italia. Es como si su carrera la hubieran organizado alrededor del estudio de ese elemento. Tal focalización sobre estos elementos les ha permitido hacer aplicaciones en diversos productos posteriormente; interaccionando con un número importante de empresas a través de consultorías e investigación comisionada. CEAP002 además realiza un esfuerzo muy importante en la publicación de libros y conferencias en los barrios de Bolonia ofrecidos al público en general sobre alimentación balanceada, composición de los alimentos, y la salud.

La descripción que se ha hecho de tales casos muestra los puentes importantes, imprescindibles y difíciles de distinguir entre la investigación básica y aplicada. Al respecto, en una conferencia llevada a cabo en la UNIBO sobre los laboratorios del *CIRI agroalimentare*, Tullia Gallina, integrante del grupo de CEAP001, describía bien la “diferencia” entre investigación básica e investigación aplicada-comisionada. Menciona: “...en esencia es lo mismo, pero con diferente fuente de financiamiento. No podemos crear la aplicación sin conocer el objeto de estudio”<sup>149</sup>.

Es cierto que todos los investigadores, en general, tienen un área de especialización, pero durante las entrevistas fue difícil encontrar a investigadores que describan desde un inicio tal especialización. A los casos ya mencionados, además se pueden agregar a quienes estudian enzimas (USA001 en Puebla y USAB001 en Bolonia), y quienes estudian solo un tipo de bacterias (como AMI001 estudiando *Azospirillum*). Es por ello que aquí los mencionamos como casos especiales; porque se refieren a investigadores que han sabido identificar un elemento que les interesa y han dedicado años de su vida, o toda su carrera al estudio de tal elemento. No se puede asegurar que ellos son los que más aplicaciones o interacciones con la industria presentan, porque no se trata de un patrón bien identificado. Se puede distinguir bien en algunos casos de Bolonia, y algunos de Puebla. Sin embargo, el asunto tiene implicaciones para las políticas públicas sobre la investigación básica y aplicada. Quien no conozca de esta dinámica de la investigación científica puede caer en el error de

---

<sup>149</sup> Traducción mía a partir de escuchar la conferencia.



despreciar la investigación básica, dándole toda la prioridad a las aplicaciones; pensando que las líneas de investigación se pueden cambiar de acuerdo a las “necesidades del mercado”. ¿De que forma sería posible esperar que se encuentren aplicaciones tecnológicas comercialmente viables en este momento, de alguien que ha dedicado toda su carrera al estudio de los lípidos (por ejemplo)? ¿O que pueda alguien cambiar su línea de investigación de la noche a la mañana porque aparentemente la tecnología “avanza a pasos agigantados” en otros países? Un servidor ha escuchado tales sugerencias una y otra vez en voz de creadores de política pública. En todo caso, es necesario confiar en las aplicaciones que los propios investigadores describen, y conocer mejor el origen de sus investigaciones.

Mientras focalizar la carrera al estudio de un solo elemento conviene, es imprescindible decir que un elemento común de los investigadores que se dedican a la conservación y estabilización de alimentos tanto en Puebla como en Bolonia es la gran cantidad de actividades de consultoría, proyectos de investigación y desarrollo financiados, ya sea exclusivamente por empresas o con fondos compartidos (públicos y privados). Para quien conozca el tipo de técnicas y actividades que se utilizan tal vez resulte muy lógico porque se pueden ver incluso como actividades rutinarias, tales como técnicas de deshidratación ampliamente conocidas, o el análisis de componentes químicos y su descripción en las etiquetas de los empaques. Pero al mismo tiempo, tomando en cuenta que estrictamente hablando, el componente industrial de la agroalimentación son los alimentos procesados, este es tal vez el campo más amplio para la innovación tecnológica del sector.

En la figura 74 se muestra el recuento de las formas de colaboración universidad-industria que hemos documentado a partir del cuestionario que se puede consultar en el Anexo 1. Los casos que tienen que ver con conservación de alimentos y tratamiento de residuos son los que reportan el mayor número de eventos en las tres formas de colaboración ya señaladas (consultoría académica, proyectos de investigación y desarrollo financiados exclusivamente por una compañía y proyectos financiados con fondos compartidos o públicos). En particular, estos tres rubros parecieran ser las formas de colaboración predilectas de los investigadores que se dedican a la conservación de alimentos; más que la explotación de patentes o la creación de *spin-offs*. Son los únicos que no reportan ningún evento en tal área. Es un patrón que se puede observar tanto en Puebla como en Bolonia.

## Conclusiones finales sobre especialidades y grados de integración con la industria

En resumen, a partir del análisis cualitativo de las entrevistas que hemos realizado, así como el recuento de las formas de colaboración establecidas por los investigadores, podemos observar en el conjunto de proyectos que tienen un grado diverso de integración con la industria, que depende en gran medida del tipo de especialidad o subdisciplina de los grupos de investigación. Distintas subdisciplinas se vinculan de manera diferente con la industria. La estrategia de licenciamiento de patentes por sí sola es la forma menos utilizada en todos los casos. Mientras que también es menos común el establecimiento de *start-ups* y *spin-offs*; pero se pueden observar especialidades más propensas a generarlas mientras otras no. Por un lado esto refuerza la idea de Ramos-Vielba y Fernández-Esquinas (2012), referente a que tales formas de colaboración con la industria son las más evidentes y las menos comunes para las universidades y centros de investigación, mientras que la gran cantidad de las demás formas de colaboración muestra una interacción constante y diversificada. La figura 73 muestra gráficamente lo que en resumen podemos decir de las formas predilectas que utilizan los investigadores de Puebla y Bolonia para colaborar con la industria. Posteriormente, se analizan con mayor detalle el conjunto de formas de colaboración.

Clasificación de proyectos	Formas predilectas de colaboración
Genómica e Ingeniería Genética	• Investigación colaborativa o comisionada (Menor tendencia a generar <i>start-ups</i> )
Inoculantes	• <i>Start-ups</i> e Investigación colaborativa o comisionada
Tratamiento general de residuos	• Investigación colaborativa o comisionada (Menor tendencia a generar <i>start-ups</i> )
Tratamiento específico de residuos	• <i>Start-ups</i> e Investigación colaborativa o comisionada
Conservación y estabilización de alimentos	• Consultoría, investigación colaborativa o comisionada (Menor tendencia a generar <i>start-ups</i> )

Fuente: Elaboración propia con base en los datos recabados durante entrevistas.

## Formas de colaboración universidad-empresa

La figura 74 muestra el recuento de las formas de colaboración establecidas por los investigadores en Puebla y Bolonia. En primer lugar, se debe señalar que existen formas directas e indirectas en las que se da la interacción de los investigadores con la industria. Como se muestra en la figura, hay una gran cantidad de actividades indirectas que regularmente no se consideran como parte de la transferencia tecnológica pero son relevantes porque tienen influencia en el establecimiento de las formas directas. Los datos son más contundentes si se observan el número de eventos correspondientes a las relaciones informales y las actividades de difusión del conocimiento. Tales datos se han corroborado con lo que han declarado los investigadores a través de las entrevistas. En general, los investigadores que han establecido *start-ups* tanto en Puebla como en Bolonia (AMI001, AMF001 y USAB001) son también los más activos en actividades de difusión de sus investigaciones a través de reuniones informales, participación en ferias agrícolas, conferencias al público en general. No sólo se trata de la demostración de sus invenciones. Ellos refieren una actividad constante de acercamiento con el público. De alguna forma, se trata de un tipo de “vocación” hacia la transferencia de su conocimiento. Ya se ha hecho notar en los casos de BIOFERTIBUAP y el COLPOS en Puebla, y el equipo de la facultad de química industrial en Bolonia, el esfuerzo en la divulgación de conocimiento que realizan va más allá de la participación de congresos y otros eventos académicos. En tal sentido, los contactos que comienzan de manera informal en eventos (no académicos) de divulgación científica han dado pie a acciones más estructuradas como la aplicación de biofertilizantes y semillas mejoradas en los casos de BIOFERTIBUAP y COLPOS, y la compra de los productos de las *start-ups* del equipo de USAB001. Por otro lado, tales acciones también han afianzado la confianza del equipo de trabajo hacia el público “consumidor” de su tecnología. Por otro lado, Ramos-Vielba y Fernández-Esquinas (2012) ya señalaba que los investigadores combinan diferentes tipos de colaboración con la industria. El ejemplo más contundente que hemos encontrado en los casos de Puebla y Bolonia se observa en el equipo de USAB001 (relacionado con tratamiento específico de residuos). Donde se observa la mayor cantidad de eventos tanto de formas directas como indirectas de colaboración con la industria.

Figura 74. Formas de Colaboración Universidad-Industria – Casos: Puebla y Bolonia

Formas de colaboración	a) Genómica e Ingeniería Genética						b) Inoculantes						c) Tratamiento de residuos						d) Conservación y estabilización de alimentos					
	PUE			BOL			PUE			BOL			PUE			BOL			PUE			BOL		
	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)	(a)	(c)	(c/a)
Formas directas																								
Consultoría académica	0	0		2	60	30.0	2	74	37.0	1	3	3.0	1	25	25.0	3	52	17.3	4	10	2.5	2	29	14.5
Proyectos de investigación y desarrollo financiados exclusivamente por una empresa	0	0		2	10	5.0	1	1	1.0	1	4	4.0	1	8	8.0	4	99	24.8	2	3	1.5	3	73	24.3
Proyectos de investigación y desarrollo con financiamiento compartido o público	1	3	3.0	3	49	16.3	2	20	10.0	0	0	0.0	3	16	5.3	5	24	4.8	5	22	4.4	3	34	11.3
Capacitación específica de trabajadores provista por la universidad	0	0	0.0	2	16	8.0	1	70	70.0	0	0	0.0	1	10	10.0	1	12	12.0	3	6	2.0	3	28	9.3
Uso o renta de instalaciones y equipamiento	0	0	0.0	1	10	10.0	1	2	2.0	0	0	0.0	1	2	2.0	4	30	7.5	0	0	0.0	1	5	5.0
Explotación de patentes y modelos de utilidad	0	0	0.0	2	3	1.5	0	0	0.0	1	3	3.0	0	0	0.0	2	14	7.0	0	0	0.0	0	0	0.0
Creación de nuevas empresas ( <i>spin-off</i> o <i>start-up</i> )	1	1	1.0	0	0	0.0	2	2	1.0	0	0	0.0	1	1	1.0	2	7	3.5	0	0	0.0	0	0	0.0
Formas indirectas																								
Formación de posgraduados	1	3	3.0	3	33	11.0	2	62	31.0	1	2	2.0	1	10	10.0	5	88	17.6	3	27	9.0	3	68	22.7
Estancias estudiantiles en empresas			0.0	3	51	17.0			0.0	1	3	3.0			0.0	3	65	21.7			0.0	2	122	61.0
Transferencia temporal de personal	0	0	0.0	2	8	4.0	1	1	1.0	1	1	1.0	2	10	5.0	4	19	4.8	1	1	1.0	2	7	3.5
Relaciones informales	1	5	5.0	1	259	259.0	2	53	26.5	1	3	3.0	1	26	26.0	5	232	46.4	4	21	5.3	2	48	24.0
Actividades de difusión del conocimiento	1	42	42.0	3	980	326.7	3	700	233.3	0	0	0.0	2	31	15.5	5	866	173.2	4	63	15.8	3	301	100.3

(a)=Si. (b)=Eventos. (c)=Media.

## Redes de colaboración, desarrollo de la confianza y capital social

Estos tres elementos se relacionan de forma casi dependiente. No se crea un grupo sin que surja la confianza, y no se obtiene capital social (beneficios de las relaciones o contactos personales) si antes no ha surgido la confianza y las redes de colaboración<sup>150</sup>. En la literatura que aborda redes de colaboración (Casas, 2001; Casas y Luna 2011; Casas 2000; Casper, 2013) se hace referencia al establecimiento de grupos que se integran y se desintegran de acuerdo con la solución de un problema. En otros casos se refieren interrelaciones entre redes de investigadores e inventores (Casper, 2013) que se presume facilitan la comercialización de tecnología en una región determinada. Pero se da cuenta en menor medida de la forma en la que se generó la confianza que los llevó a colaborar y el capital social que se generó para los integrantes.

En los casos que hemos revisado se da cuenta de varias formas en la conformación de redes a partir de la interacción de los investigadores en eventos no académicos de divulgación del conocimiento, como ya lo hemos señalado en el apartado anterior. Pero el desarrollo de la confianza es un factor primordial que antecede a tal conformación de redes. En los casos analizados se describen las siguientes formas identificadas para la generación de confianza.

Caso	Descripción
BIOFERTIBUAP	Los primeros experimentos que llevó a cabo el equipo para la aplicación de su biofertilizante los pudieron realizar en comunidades en donde los investigadores conocían y mantenían amistad con las autoridades ejidales (no en Puebla). Las autoridades posteriormente “promocionaron” el trabajo del equipo con un número mayor de agricultores y así el proyecto creció.
COLPOS	Las investigaciones para el desarrollo de la semilla mejorada que dio pie a una <i>start-up</i> es un caso similar a BIOFERTIBUAP, donde las autoridades facilitaron la comunicación con los agricultores. Pero parte de la relación personal de un investigador con tales autoridades.
<i>Start-ups</i> de la Facultad de Química industrial UNIBO	Se crea una red de colaboradores entre profesor y estudiante que da pie al desarrollo de proyectos de investigación, registro de patentes y posteriormente desarrollo de <i>start-ups</i> , y proyectos de investigación colaborativa. En tal caso, el desarrollo de la confianza nace de la colaboración estrecha en un grupo compacto de investigación.

Mención aparte merece el desarrollo de la confianza a través de divulgación (no académica) del conocimiento: reuniones informales, conferencias, participación en ferias

<sup>150</sup> Se debe aclarar, que no hablamos aquí del capital social que tiene que ver con las relaciones familiares, porque en los casos que analizamos no hay ninguna referencia a ello.

agrícolas, demostración de productos, etc. Es referido al menos en los siguientes casos: BIOFERTIBUAP (Puebla), Inoculantes (Bolonia), Tratamiento específico de residuos (Bolonia), grupo IDISA (Puebla), probióticos (Bolonia).

Estas formas para generar confianza se pueden agregar a las que comúnmente se describen en la literatura sobre las formas de colaboración universidad-empresa (Plewa et al, 2013) y que comúnmente también son referidas explícitamente por algunos de los investigadores entrevistados.

Figura 76. Referencias explícitas sobre formas para el desarrollo de la confianza.	
Caso	Comentario
GZB002	“La confianza se crea respetando los tiempos y las promesas. Y sobre la base del currículum que tienen las personas”
CEAP002	“...la clave principal fue que nos interesaba resolver el problema, y la responsabilidad de intentarlo. Es posible que no se logre, cuando se experimenta no es seguro que siempre se logre, pero está nuestro empeño en hacerlo. De ello no hay duda.”
CEA005	“Creo que el <i>know-how</i> es importante, y yo creo que mi experiencia en la industria es muy valioso”.
ZVB001	“...la gente de los centros de investigación son gente muy formal en lo que hace. Lo que se investigó [ <i>know-how</i> ] queda como parte de la empresa y el centro de investigación. ...no hemos tenido problemas de que se filtre información. ... ha dependido más de los investigadores [la confianza entre ellos], que de un papel que firmemos.
AMI002	“... y vieron directamente los resultados, pidieron una reunión con nosotros, y quieren que vayamos a los campos.”

Fuente: Elaboración propia con base en las entrevistas, en los caso de Bolonia traducción propia del italiano.

Tales comentarios refieren en principio al asunto de la importancia en los tiempos de respuesta de la academia y la industria para que sea posible la colaboración. Así como de la importancia de los antecedentes de los investigadores (el currículum), así como del compromiso que muestren al realizar actividades de colaboración. Como tal son aspectos muy sabidos y ya documentados (Plewa et al, 2013). Tal vez, los elementos que complementen tales estudios es la insistencia sobre la demostración de resultados, como es referido por AMI002, y la confianza entre investigadores como es referido por ZVB001. Se trata de casos diferentes, que involucran el desarrollo de la confianza en redes distintas. AMI002 pertenece al grupo BIOFERTIBUAP que trabaja con agricultores. Por tanto, la demostración de las técnicas que utilizan para la aplicación de sus biofertilizantes y el presenciar los resultados de tal aplicación resulta contundente para ganarse la confianza. Es un tipo de confianza que crea el investigador al desarrollar el proyecto. En el segundo caso que está mayormente relacionado con investigación colaborativa, ZVB001 refiere un tipo de confianza que se crea a

partir de la interacción previa de investigadores. Y que corresponde más al tipo de redes referidas por Casas (2000, 2001; Casas y Luna, 2011) y Casper (2013). La conformación de este tipo de redes es diferente porque proviene de los estudios que gente de la empresa había realizado previamente. Con quienes mayormente han colaborado son con quienes fueron sus profesores en estudios de doctorado, y amigos de sus profesores. En otras entrevistas, también son muy frecuentes las declaraciones que dan cuenta de que el contacto con quienes fueron sus profesores en el doctorado prevalece para realizar acciones de investigación posteriormente. Es por ello que sostengo que los egresados incorporados en la industria, son una fuente potencial para la investigación colaborativa, pero en los casos que presentamos sólo se puede observar en el caso del grupo IDISA en Puebla.

### **3. Resumen de conclusiones**

Ya hemos señalado que es difícil identificar ejemplos de empresas (sobre todo mexicanas) que hayan utilizado a la innovación tecnológica como herramienta de crecimiento, así como las colaboraciones que hayan establecido con universidades. La mayoría de empresas de capital mexicano han utilizado estrategias ligadas a la reducción de los gastos de producción, de la mano de obra, o bien de los insumos o materias primas (Carrillo et al, 2012). Asimismo, en Italia, Novolari y Vasta (2015) han argumentado que Italia parece ser un caso donde se percibe un débil sistema de innovación nacional, y que esta debilidad ha forzado al país a adoptar rutas peculiares hacia el crecimiento económico moderno, caracterizadas por salarios bajos y un uso intenso de mano de obra no calificada (o poco sofisticada).

Sin embargo, en las páginas que hemos escrito queda claro que existe un desarrollo importante de investigación en biotecnología que se incorpora con la industria de diversas formas de colaboración universidad-industria, no sólo las que son evidentes para las políticas públicas dirigidas a apoyar la innovación tecnológica. Así, una ausencia importante en el sistema de políticas es la falta de reconocimiento de formas DIVERSAS Y EN OCASIONES POCO VISIBLES de colaboración. En el sistema convencional de indicadores relacionados con la innovación que se centran en la identificación de patentes, licenciamientos y creación de *start-up*, quedan fuera lo que existe alrededor de tales elementos. En los casos analizados, es claro por ejemplo que la investigación colaborativa o comisionada siendo que representan una fuente importante de transferencia tecnológica (sin patentes) y aporta mucho mayor financiamiento a la universidad (Etzkowitz, 1998, Balconi, M., Breschi, S. & Lissoni, F.,

2003) no tiene un lugar preponderante como forma de colaboración universidad-industria. Este asunto es más acentuado en el caso de Puebla (y probablemente a nivel nacional) en donde el término ni siquiera se menciona.

De igual forma, hemos documentado que el desarrollo de la biotecnología en Puebla y Bolonia ha sucedido sin mucha intervención o acciones planeadas por políticas públicas de ambas regiones. El asunto es más acentuado en Puebla, donde recientemente se ha abierto una licenciatura en biotecnología y ello ha dado lugar a que se identifique al interior de la BUAP como una disciplina nueva. Sin embargo, ya hemos visto que la formación de gente de posgrado a partir de los grupos de investigación es significativa e intensa en ambas regiones. En el caso de Bolonia también sucede desde los estudios de licenciatura. Un estudio importante que puede complementar una investigación como la hemos realizado es observar la trayectoria de tales egresados para saber de que forma ha sucedido la transferencia de tecnología biotecnológica de la universidad a la empresa en el ámbito de Puebla y Bolonia; y explorar más a detalle las formas de contacto e interacción (si las hay) con los equipos de investigación que hemos estudiado.

En general, los casos que presentamos dan cuenta de un desarrollo de la biotecnología que proviene de investigadores trabajando en aplicaciones tecnológicas desde los noventas. Es claro que los investigadores de Bolonia tienen una mayor integración con la industria a través de diversas formas de colaboración que dependen del tipo de subespecialidad que han desarrollado. Pero ¿cómo se puede explicar al final, que en regiones como Puebla, donde han surgido grupos de investigación desde las misma época se observe una menor integración con la industria?

Una primera explicación tiene que ver con un perfil emprendedor poco desarrollado de los investigadores de la universidad y centros de investigación. Si bien es posible ver diversas formas de colaboración con la industria, en general, se ven pocos ejemplos en los que los investigadores adopten una postura proactiva para conocer la industria existente y llevar adelante iniciativas conjuntas; o bien pensar en la formación de estudiantes con la perspectiva de que sean ellos los que emprendan *start-ups* o *spin-offs* que maduren.

Otra explicación tiene que ver con la forma en la que se estructura el capital social en contextos como Puebla, donde tanto el sistema de educación superior, ciencia y tecnología y la propia industria son sistemas débilmente amalgamados, que más bien tienden a la fragmentación. Vale la comparación entre Puebla y Bolonia, para ver que en Bolonia existe menos fragmentación en el sistema de educación superior y el sistema de investigación. De hecho, es evidente que la brecha entre investigación y docencia es más delgada. Esta



fragmentación reducida puede explicar la interacción e integración mayor que se tiene con la industria.

En Puebla, las estructuras de oligarquía también han favorecido la expansión de las universidades privadas pero al mismo tiempo, en tal sistema se ha desarrollado poco la investigación científica, por lo que ahora que se ha intensificado el discurso de la innovación tecnológica como herramienta de desarrollo, quienes tienen la investigación deben interactuar con quienes tienen el dinero. Es decir, en un contexto como el de Puebla, existen estructuras sociales de oligarquía más acentuadas que en Bolonia. Y además, las empresas multinacionales tienen una presencia prácticamente dominante que opaca el desarrollo de tecnología de las instituciones académicas.

En tal sentido, la conformación de redes de colaboración y capital social que faciliten la transferencia de tecnología entre la universidad y la empresa es complicado especialmente en Puebla, porque el desarrollo de la tecnología al interior de las universidades tiene que integrarse en una industria ya instalada y que basa su desarrollo en estrategias que poco tienen que ver con la innovación tecnológica en general.

A pesar de todo ello, en Puebla, y en menor medida Bolonia, no se ha sabido reconocer que la biotecnología tiene oportunidad porque es una industria que justamente que se encuentra en proceso de transición; de surgimiento. Pero debe entenderse que dentro de la propia disciplina no todas las subespecialidades tienen las mismas posibilidades en contextos como Puebla y Bolonia. Si se piensa por ejemplo en las posibilidades de la ingeniería genética en el sector agroalimentario, es posible asegurar que tal vez se incorpore tal disciplina sin que el público amplio sea conciente de ello, pero implica un aprendizaje mayor por parte de los productores agrícolas y el público en general. Por otro lado, las técnicas simples (como es definido por los propios investigadores) de biotecnología referentes al tratamiento general y específico de residuos no ha sido de ninguna forma prioridad para las políticas gubernamentales, especialmente en Puebla. Se trata de toda un área en donde no sólo se tiene una capacidad potencial de tecnología ya desarrollada en la región sino que además es una industria poco desarrollada en Bolonia, y prácticamente inexistente en Puebla. Si se habla de nichos de oportunidad este es el punto más rojo que nadie atiende.

Si bien hablamos del área de biotecnología que se presume genera menos plusvalía, el asunto representa una responsabilidad pública que debe saberse desarrollar con políticas públicas que favorezcan la integración y frenen la fragmentación entre ciencia, tecnología e industria de ambas regiones. Así como el obvio incremento (decidido) del financiamiento público dirigido a las necesidades públicas básicas relacionadas con el desarrollo sustentable.

Desde el lado de la universidad, el desarrollo de esta industria no sucederá si persisten las tendencias y esquemas actuales de interacción entre investigadores y empresarios. Las limitaciones legales que se han roto, así como las modificaciones en la dinámica de los esquemas de protección intelectual deben representar una oportunidad para ampliar los canales de comunicación entre sectores (no cerrarlos), así como mayores acciones de divulgación del conocimiento y la conformación de estructuras de capital social que sepan darse cuenta del valor de crecer en redes y alianzas entre investigadores y estudiantes.

## Referencias bibliográficas

- Aboites-Manrique, G., & Martínez-Gómez, F. (2005). La propiedad intelectual de variedades vegetales en México. *Agrociencia*, 39(2), 237-245.
- Aboites, J., & Cimoli, M. (2002). Intellectual property rights and national innovation systems- some lessons from the mexican experience. *Revue D'économie Industrielle*, 99(1), 215-232.
- Abramo, G., D'Angelo, C. A., & Di Costa, F. (2011). University-industry research collaboration: A model to assess university capability. *Higher Education*, 62(2), 163-181. doi:10.1007/s10734-010-9372-0
- Ács, Z. J., Autio, E., & Szerb, L. (2013). National systems of entrepreneurship: Measurement issues and policy implications. *Research Policy*. doi:10.1016/j.respol.2013.08.016
- Alcorta, L., & Peres, W. (1998). Innovation systems and technological specialization in latin america and the caribbean. *Research Policy*, 26(7), 857-881.
- ASSOBIOTEC. BioInItaly report (2016). Le imprese di biotecnologie in Italia. Facts & Figures. ASSOBIOTEC, FEDERCHIMICA, ENEA. Milano Maggio 17, 2016.
- ASSOBIOTEC. Bonaccorso, M. (2015). The role of industrial biotechnology in boosting the Italian Bioeconomy. Presentation. IEA BioEnergy- Sassari, 5 May 2015.
- Auranen, O. (2005a). Dimensions, uses and benefits of social capital in mode 1 and mode 2 knowledge production. In *CHER 18th annual conference*, september 1-3 2005, jyväskylä, finland.
- Auranen, O. (2005b). Social capital in mode 1 and mode 2 knowledge production: A finnish case study. In *5 extordmasculine TRIPLE HELIX CONFERENCE (Vol. 18)*.
- Auranen, O. (2007). How do organizational factors and social capital affect research performance in changing academic settings? Review of the literature. In *Consortium of higher education researchers (CHER) 20th annual conference*.
- Axelsson, B., & Easton, G. (1992). *Industrial networks: A new view of reality (Vol. 11)*. Routledge London.
- Balconi, M., Breschi, S., & Lissoni, F. (2003). Il trasferimento di conoscenze tecnologiche dall'università all'industria in italia: Nuova evidenza sui brevetti di paternità dei docenti. *Il Sistema Della Ricerca Pubblica in Italia*, Franco Angeli, Milano, 58-100

- Balconi, M., Breschi, S., & Lissoni, F. (2004). Networks of inventors and the role of academia: An exploration of Italian patent data. *Research Policy*, 33(1), 127-145. doi:10.1016/S0048-7333(03)00108-2
- BALCONI, Margherita, Stefano BRESCHI, Francesco LISSONI, 2003: 'Il trasferimento di conoscenze tecnologiche dall'università all'industria in Italia: nuova evidenza sui brevetti di paternità dei docenti'. In Andrea Bonaccorsi, ed., *Il sistema della ricerca pubblica in Italia*. Milano: Franco Angeli, 58-100.
- BALCONI, Margherita, Stefano BRESCHI, Francesco LISSONI, 2004: 'Networks of inventors and the role of academia: an exploration of Italian patent data'. *Research Policy*, 33, 1, 127- 145.
- Baldini, N., Fini, R., Grimaldi, R., & Sobrero, M. (2014). Organisational change and the institutionalisation of university patenting activity in Italy. *Minerva*, 52(1), 27-53. doi:10.1007/s11024-013-9243-9
- Baldini, N., Grimaldi, R., & Sobrero, M. (2006). Institutional changes and the commercialization of academic knowledge: A study of Italian universities' patenting activities between 1965 and 2002. *Research Policy*, 35(4), 518-532. doi:10.1016/j.respol.2006.01.004
- BALDINI, Nicola, Rosa GRIMALDI, Maurizio SOBRERO, 2006: 'Institutional changes and the commercialization of academic knowledge: A study of Italian universities' patenting activities between 1965 and 2002'. *Research Policy*, 35, 4, 518-532.
- Bardi, A., & Bertini, S. (2005). *Dinamiche territoriali e nuova industria. Dai distretti alle filiere*, V Rapporto della Fondazione istituto per il Lavoro, Maggioli Editore, Milano.
- Barrett, P. J. (1974). The role of patents in the sale of technology in Mexico. *The American Journal of Comparative Law*, 230-280.
- Bax, A., Corrieri, S., Daniele, C., Guarnieri, L., Piccaluga, A., & Ramaciotti, L. (2013). X Rapporto Netval sulla Valorizzazione della Ricerca Pubblica Italiana. *Seminiamo ricerca per raccogliere innovazione*. Retrieved 2016.07.18 from
- Bazant, J. (1964). Evolution of the textile industry of Puebla 1544-1845. *Comparative Studies in Society and History*, 7(1), 56-69.
- Beatty, E. (2003). Approaches to technology transfer in history and the case of nineteenth-century Mexico. *Comparative Technology Transfer and Society*, 1(2), 167-197.
- Beatty, T. (2010). From imports to innovation? Foreign technologies and "technological capabilities" in Mexico, 1870-1910.

- Bigliardi, B., Nosella, A., & Verbano, C. (2005). Business models in Italian biotechnology industry: a quantitative analysis. *Technovation*, 25(11), 1299-1306.
- Boschma, R. (1998). The industrial rise of the third italy: Open window of locational opportunity? In 38th congress of the european regional science association 28 august - 1 september 1998, Vienna
- Bourdieu, P. (2003). *Los usos sociales de la ciencia*. Buenos Aires: Nueva Visión.
- Bourdieu, P. (2006). *The forms of capital*.(1986). Retrieved from Google Scholar
- BUAP. (2012a). *Anuario estadístico 2011-2012*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla. México
- BUAP. (2012b). *Gaceta Universidad BUAP, Año XXXI(160)*.
- BUAP. (2013). *Investigadores de la BUAP elaboran dos nuevas formulaciones de biofertilizantes :: Dirección de comunicación institucional :: Benemérita universidad autónoma*. Retrieved from [cmas.siu.buap.mx](http://cmas.siu.buap.mx): [http://cmas.siu.buap.mx/portal\\_pprd/wb/comunic/investigadores\\_de\\_la\\_buap\\_elaboran\\_dos\\_nuevas\\_2148](http://cmas.siu.buap.mx/portal_pprd/wb/comunic/investigadores_de_la_buap_elaboran_dos_nuevas_2148)
- BUAP. (2013a). *Gaceta Universidad BUAP, Año XXXI(161)*.
- BUAP. (2013b). *Gaceta Universidad BUAP, XXXII(164)*.
- Burt, R. S. (2009). *Structural holes: The social structure of competition*. Harvard university press. Retrieved from Google Scholar
- Cabrero Mendoza, E., Valadéz, D., & López-Ayllon, S. (2006). *El diseño institucional de la política de ciencia y tecnología en méxico*. Universidad Nacional Autónoma de México / Centro de Investigación y Docencia Económicas
- Calderón, M. G. (2010). *El valor estratégico de los acuerdos de colaboración para la adquisición de conocimiento en procesos abiertos de innovación: Con especial atención al sector de las TIC en España*. PhD Thesis
- Carrillo, J., Hualde, A., & Villavicencio, D. (2012). *Dilemas de la innovación en méxico*. El Colegio de la Frontera A.C. / Red Temática Complejidad, Ciencia y Sociedad de CONACYT.
- Casas Guerrero, R. (1993). *La investigación biotecnológica en México: Tendencias en el sector agroalimentario*. Instituto de Investigaciones Sociales, Universidad Nacional Autónoma de México. México D. F.
- Casas, R. (2001). *La formación de redes de conocimiento: Una perspectiva regional desde México (Vol. 11)*. Anthropos Editorial.

- Casas, R. (2005). Exchange and knowledge flows between large firms and research institutions. *INNOVATION: Management, Policy & Practice*, 7(2-3), 188-199.
- Casas, R. (2006). Between traditions and modernity: Technological strategies at three tequila firms. *Technology in Society*, 28(3), 407-419. doi:10.1016/j.techsoc.2006.06.007
- Casas, R., & Luna, M. (2011). De redes y espacios de conocimiento, significados conceptuales y de política. Arellano H., A. Y Kreimer, P.(Eds.) *Estudio Social De La Ciencia Y La Tecnología Desde América Latina*, 167-208.
- Casas, R., de Gortari, R., & Santos, M. (2000). The building of knowledge spaces in Mexico: A regional approach to networking. *Research Policy*, 29(2), 225-241. doi:10.1016/S0048-7333(99)00062-1
- Casas, R., Dettmer, J., Celis, L., & Hernández, C. (2007). Redes y flujos de conocimiento en la acuicultura mexicana. *Redes*, 13(26), 111-144.
- Casper, S. (2000). Institutional adaptiveness, technology policy, and the diffusion of new business models: The case of german biotechnology. *Organization Studies*, 21(5), 887-914. doi:10.1177/0170840600215003
- Casper, S. (2013). The spill-over theory reversed: The impact of regional economies on the commercialization of university science. *Research Policy*, (0), -. doi:10.1016/j.respol.2013.04.005
- Chalony, . L., & Moisseron, -Y. (2010). Research governance in Egypt: Biotechnology as a case study. *Science Technology & Society*, 15(2), 371-397. doi:10.1177/097172181001500208
- Chen, M. -H., Chang, Y. -C., & Hung, S. -C. (2008). Social capital and creativity in R&D project teams. *R&d Management*, 38(1), 21-34.
- Chesbrough, H. (2007). Why companies should have open business models. *MIT Sloan Management Review*, 48(2). Retrieved from Google Scholar.
- Chesbrough, H. W. (2003a). *Open innovation: The new imperative for creating and profiting from technology*. Harvard Business Press. Retrieved from Google Scholar.
- Chesbrough, H. W. (2003b). A better way to innovate. *Harvard Business Review*, 81(7), 12-13. Retrieved from Google Scholar
- Chesbrough, H., & Rosenbloom, R. (2002). The role of the business model in capturing value from innovation: Evidence from xerox corporation's technology spin-off companies. *Industrial and Corporate Change*, 11(3), 529-555

- Chesbrough, H., & Schwartz, K. (2007). Innovating business models with co-development partnerships. *Research-Technology Management*, 50(1), 55-59. Retrieved from Google Scholar
- Chesbrough, H., & Teece, D. (1996). Organizing for innovation: When is virtual virtuous? *Harvard Business Review*, 74(1), 65-73
- Chesbrough, H., Vanhaverbeke, W., & West, J. (2006). *Open innovation: Researching a new paradigm*. Oxford university press. Retrieved from Google Scholar
- Chompalov, I., & Shrum, W. (1999). Institutional collaboration in science: A typology of technological practice. *Science, Technology & Human Values*, 24(3), 338-372.
- Cimoli, M. (2001). Networks, market structures and economic shocks. In *Redes productivas e instituciones en américa latina*, buenos aires, 9-12 april, 2001.
- Clark, P. (2007). The commercialisation of university research and economic productivity. *Higher Education Management and Policy*, 19(1), 133. Retrieved from Google Scholar.
- Clarysse, B., Tartari, V., & Salter, A. (2011). The impact of entrepreneurial capacity, experience and organizational support on academic entrepreneurship. *Research Policy*, 40(8), 1084-1093. doi:10.1016/j.respol.2011.05.010
- Clausen, T. H. (2009). Do subsidies have positive impacts on R&D and innovation activities at the firm level? *Structural Change and Economic Dynamics*, 20(4), 239-253. Retrieved from Google Scholar.
- Clausen, T., Nås, S. O., & Verspagen, B. (2007). Norwegian innovation and industrial structure: Insiders and outsiders?. Retrieved from Google Scholar.
- Coleman, J. S. (1988). Social capital in the creation of human capital. *American Journal of Sociology*, S95-S120. Retrieved from Google Scholar
- Collins, H., Evans, R., & Gorman, M. (2007). Trading zones and interactional expertise. *Studies in History and Philosophy of Science Part A*, 38(4), 657-666. doi:10.1016/j.shpsa.2007.09.003
- Colyvas, J., Crow, M., Gelijns, A., Mazzoleni, R., Nelson, R. R., Rosenberg, N., & Sampat, B. N. (2002). How do university inventions get into practice?. *Management science*, 48(1), 61-72.
- CONACYT (2012). *Informe General del Estado de la Ciencia, la Tecnología y la Innovación*. México
- CONACYT Comunicado 58/14. (2014, September 9). A PROPUESTA DEL CONACYT, LOS SECTORES PÚBLICO Y PRIVADO ACUERDAN UNA ALIANZA EN FAVOR DE LA INNOVACIÓN. Retrieved from [www.CONACYT.mx](http://www.CONACYT.mx):

<http://www.CONACYT.mx/index.php/comunicacion/comunicados-prensa/371-a-propuesta-del-CONACYT-los-sectores-publico-y-privado-acuerdan-una-alianza-en-favor-de-la-innovacion>

- CONACYT. (2007). Estado del arte de los sistemas estatales de ciencia y tecnología.
- Corbetta, G., & De Angelis, D. (2011). *Le imprese familiari milanesi*. Università Commerciale Luigi Bocconi / Camera di Commercio Milano.
- Corriere di Bologna. (2014, February 27). La rivincita dei distretti emiliani «qui la ripresa andrà più veloce». *Corriere di Bologna*. Retrieved from <http://corrieredibologna.corriere.it/bologna/notizie/economia/2014/27-febbraio-2014/rivincita-distretti-emiliani-qui-ripresa-andra-piu-veloce-2224137710063.shtml>
- Curi, C., Daraio, C., & Llerena, P. (2012). University technology transfer: How (in)efficient are french universities? *Cambridge Journal of Economics*, 36(3), 629-654. doi:10.1093/cje/bes020
- CUVyTT (2013) Catálogo de patentes.
- Debackere, K., & Veugelers, R. (2005). The role of academic technology transfer organizations in improving industry science links. *Research Policy*, 34(3), 321-342. doi:10.1016/j.respol.2004.12.003
- Diario Oficial de la Federación. (1996). Ley federal de variedades vegetales. *Diario Oficial De La Federación / Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión*.
- Diario Oficial de la Federación. (1998). Reglamento de la ley federal de variedades vegetales. *Diario Oficial De La Federación/Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión*.
- Diario Oficial de la Federación. (2002). Ley de ciencia y tecnología. *Diario Oficial De La Federación/Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión*.
- Diario Oficial de la Federación. (2005). Ley de bioseguridad de organismos genéticamente modificados. *Diario Oficial De La Federación / Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión*.
- Diario Oficial de la Federación. (2007). Ley federal de producción, certificación y comercio de semillas. *Diario Oficial De La Federación / Cámara De Diputados Del H. Congreso De La Unión*.
- Dill, D. D. (1995). University-industry entrepreneurship: The organization and management of american university technology transfer units. *Higher Education*, 29(4), 369-384. Retrieved from Google Scholar.
- DiMaggio, P., & Powell, W. (1999). El nuevo institucionalismo en el análisis organizacional. México: Fondo De Cultura Económica



- Dosi, G., Llerena, P., & Labini, M. S. (2006). The relationships between science, technologies and their industrial exploitation: An illustration through the myths and realities of the so-called 'european paradox'. *Research Policy*, 35(10), 1450-1464. doi:10.1016/j.respol.2006.09.012
- Dutrénit, G., Capdevielle, M., Corona, J. M., Puchet, M., Santiago, F., & Vera-Cruz, A. (2010). El sistema nacional de innovación mexicano: Instituciones, políticas, desempeño y desafíos. Universidad Autónoma Metropolitana.
- Etzkowitz, H. (1998). The norms of entrepreneurial science: Cognitive effects of the new university--industry linkages. *Research Policy*, 27(8), 823-833.
- Etzkowitz, H., & Leydesdorff, L. (2000). The dynamics of innovation: From national systems and "mode 2" to a triple helix of university–industry–government relations. *Research Policy*, 29(2), 109 - 123. doi:10.1016/S0048-7333(99)00055-
- European Commision. (2007). Improving knowledge transfer between research institutions and industry across europe. European Communities
- European Union. (2012). Science, technology and innovation in europe. Belgium: European Union
- FCCyT, 2010. Puebla-Diagnóstico en Ciencia, Tecnología e Innovación (2004-2010). Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.
- FCCyT, 2010. Puebla-Diagnóstico en Ciencia, Tecnología e Innovación (2004-2010). Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C.
- Fischer, C., & Hartmann, M. (2010). Agri-food chain relationships. CABI. Retrieved from Google Scholar
- García Gracia, M. A., H. Castillo Tovar, L. A. Rodríguez del Bosque, L. Garza Guajardo y N. Maldonado Moreno. 2006. Origen, Evolución y Desafíos, pp. 1-21. En: L. A. Rodríguez del Bosque (ed.), *Campo Experimental Río Bravo: 50 Años de Investigación Agropecuaria en el Norte de Tamaulipas, Historia, Logros y Retos. Libro Técnico No. 1.* INIFAP, Campo Experimental Río Bravo. Río Bravo, Tam., México. 325 p.
- Geuna, A., & Muscio, A. (2009). The governance of university knowledge transfer: A critical review of the literature. *Minerva*, 47, 93-114. doi:10.1007/s11024-009-9118-2
- Geuna, A., & Nesta, L. J. (2006). University patenting and its effects on academic research: The emerging European evidence. *Research Policy*, 35(6), 790-807.

- Gibbons, M., Limoges, C., Nowotny, H., Schwartzman, S., Scott, P., & Trow, M. (1994). The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies. Sage. Retrieved from Google Scholar.
- Giuliani, E., Morrison, A., Pietrobelli, C., & Rbellotti, R. (2010). Who are the researchers that are collaborating with industry? An analysis of the wine sectors in chile, south africa and italy. *Research Policy*, 39(6), 748-761. doi:10.1016/j.respol.2010.03.007
- Giuri, P., Munari, F., & Pasquini, M. (2013). What determines university patent commercialization? Empirical evidence on the role of IPR ownership. *Industry and Innovation*, 20(5), 488–502. doi:10.1080/13662716.2013.824195
- Godin, B. (2009). National innovation system: The system approach in historical perspective. *Science, Technology & Human Values*
- Godin, B., & Gingras, Y. (2000). The place of universities in the system of knowledge production. *Research Policy*, 29(2), 273-278.
- Gómez Cruz, M. Á., Schwentesius Rindermann, R., Ortigoza Rufino, J., Gómez Tovar, L., May Tzun, V., Arreola Quevedo, J. A., & López Reyes, U. I. (2008). *Agricultura orgánica de méxico-directorio 2008*. Universidad Autónoma Chapingo / CONACYT.
- Granovetter, M. S. (1973). The strength of weak ties. *American journal of sociology*, 1360-1380.
- Gulbrandsen, M., & Nerdrum, L. (2009). University-industry relations in norway. *Fagerberg Et Al, Innovation*, 297-326.
- Haour, G., & Miéville, L. (2010). *From science to business*. UK: Palgrave Macmillan. Retrieved from Google Scholar
- Hauser, C., Tappeiner, G., & Walde, J. (2007). The learning region: The impact of social capital and weak ties on innovation. *Regional Studies*, 41(1), 75-88.
- Healy, T., & Côté, S. (2001). *The well-being of nations: The role of human and social capital. Education and skills*. OECD. Retrieved from Google Scholar
- Helliwell, J., & Putnam, R. (1995). Economic growth and social capital in italy. *Eastern Economic Journal*, 21(3), 295
- Hernández Tejada, P. H., Pérez Santos, M., Martínez Montes, G., & Cid Monjaraz, J. (2013, May). La actividad de patentes en las IES mexicanas. *Saberes y Ciencias*, pp. 10-1
- Hernández, T. L., Muñoz, G. A., Sánchez, H. M., Carballo, C. A., & López, P. A. (2004). Producción de semilla mejorada por organizaciones de agricultores: caso productora de maíz Teocintle. *Fitotecnia Mexicana*, 27, 93-100.
- IMPI. (2014). *Gaceta De La Propiedad Industrial*.

- INEGI. (2012). Las empresas en los estados unidos mexicanos: Censos económicos 2009
- Inkpen, A., & Tsang, E. (2005). Social capital, networks, and knowledge transfer. *Academy of Management Review*, 30(1), 146-165
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). (2012). Anuario estadístico. Puebla. Retrieved from [www.inegi.org.mx](http://www.inegi.org.mx)
- Johannisson, B. (1987). Beyond process and structure: Social exchange networks. *International Studies of Management & Organization*, 3-23.
- Jones, M. P. (2009). Entrepreneurial science: The rules of the game. *Social Studies of Science*.
- Jonkers, K. (2011). A functionalist framework to compare research systems applied to an analysis of the transformation of the chinese research system. *Research Policy*, 40(9), 1295-1306.
- Kokornaczyka, Trebbi, Dinelli, Marotti, Bregola, Nani, Borghinic, Betti, 2014. Droplet evaporation method as a new potential approach for highlighting the effectiveness of ultra high dilutions. *Complementary Therapies in Medicine* (2014) 22, 333—340
- Kokornaczyka, Trebbi, Dinelli, Marotti, Bregola, Nani, Borghinic, Betti, 2014. Droplet evaporation method as a new potential approach for highlighting the effectiveness of ultra high dilutions. *Complementary Therapies in Medicine* (2014) 22, 333—340
- Kumar, M.N.R., 2000, A review of chitin and chitosan applications, *Reactive and functional polymers*, 46(1), pp. 1-27
- Landry, R., Amara, N., & Lamari, M. (2002). Does social capital determine innovation? To what extent? *Technological Forecasting and Social Change*, 69(7), 681-701. doi:10.1016/S0040-1625(01)00170-6
- Lave, R., Mirowski, P., & Randalls, S. (2010). Introduction: STS and neoliberal science. *Social Studies of Science*, 40(5), 659-675. doi:10.1177/0306312710378549
- Leshner, A., & Fluharty, S. (2012, December 3). Time and money are being wasted in the lab . Wasting Time and Money in the Lab - Commentary - The Chronicle of Higher Education. Retrieved from chronicle.com: <http://chronicle.com/article/Wasting-TimeMoney-in-the/136057/>
- Lissoni, F., Pezzoni, M., Poti, B., & Romagnosi, S. (2013). University autonomy, the professor privilege and academic patenting: Italy, 1996–2007. *Industry and Innovation*, 20(5), 399-421.
- López C., R., Dutrénit B., G., Tinoco G., I., & Aguado L., E. (2013). Informe sobre la producción científica de México en revistas iberoamericanas de acceso abierto

- redalyc.Org 2005-2011. ANUIES, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C., Laboratorio de Cienciometría redalyc-fractal, UAEMEX
- Luna López, K., & Solleiro Rebolledo, J. L. (2007). La gestión de la propiedad intelectual en centros de investigación mexicanos: El caso del instituto mexicano del petróleo. *Journal of Technology Management & Innovation*, 2(2), 157-169. Retrieved from Google Scholar.
- Lundvall, B. -A. (1992). *National innovation system: Towards a theory of innovation and interactive learning*. Pinter, London.
- Malakoff, D. (2013, February 28). The many ways of making academic research pay off. *Science*, 339. Retrieved from [www.sciencemag.org](http://www.sciencemag.org)
- Maloney, W. F., & Valencia Caicedo, F. (2014). Engineers, innovative capacity and development in the americas. *Policy Research Working Paper 6814*.
- MarketLine (2015) *MarketLine Industry Profile. Biotechnology in Italy*. MarketLine.
- Materia, V. C. (2012). The Agricultural Knowledge and Innovation System in Italy: dynamics, incentives, monitoring and evaluation experiences. *Studies in Agricultural Economics*, 114(2), 71-78.
- Mazzetti, S. (1840). *Memorie storiche sopra l'Università e l'Istituto delle Scienze di Bologna e sopra gli stabilimenti ei corpi scientifici alla medesima addetti compilate da Serafino Mazzetti bolognese archivista arcivescovile*. tipi di S. Tommaso d'Aquino.
- Miguélez, E., Moreno, R., & Artís, M. (2011). Does social capital reinforce technological inputs in the creation of knowledge? Evidence from the spanish regions. *Regional Studies*, 45(8), 1019-1038. doi:10.1080/00343400903241543
- Ministero delle Politiche Agricole Alimentare e Forestali. (2014). *Piano strategico per l'innovazione e la ricerca nel settore agricolo alimentare e forestale*.
- Mirowski, P., & Sent, E. -M. (2008). The commercialization of science and the response of STS. In *The handbook of science and technology studies* (pp. 635-689). MIT Press Cambridge, Mass
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2001a). Patenting and licensing university inventions: Lessons from the history of the research corporation. *Industrial and Corporate Change*, 10(2), 317-355.
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2001b). University patents and patent policy debates in the USA, 1925--1980. *Industrial and Corporate Change*, 10(3), 781-814.

- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2005a). The bayh-dole act of 1980 and university-industry technology transfer: A model for other OECD governments? In *Essays in honor of edwin mansfield* (pp. 233-245). Springer.
- Mowery, D. C., & Sampat, B. N. (2005b). Universities in national innovation systems. *The Oxford Handbook of Innovation*, 209-239. Retrieved from Google Scholar.
- Mowery, D. C., & Ziedonis, A. A. (2002). Academic patent quality and quantity before and after the bayh-dole act in the united states. *Research Policy*, 31(3), 399-418.
- Nelson, R. R. (1971). Simple economics of basic scientific research, the. *J. Reprints Antitrust L. & Econ.*, 3, 725.
- Nosella, A., Petroni, G., & Verbano, C. (2005). Characteristics of the Italian biotechnology industry and new business models: the initial results of an empirical study. *Technovation*, 25(8), 841-855.
- Nuvolari, A., & Vasta, M. (2012). The ghost in the attic? The national innovation system in historical perspective, 1861-2011. *Quaderni Del Dipartimento Di Economia Politica E Statistica. Università Degli Studi Di Siena*, (665).
- Nuvolari, A., & Vasta, M. (2015). The ghost in the Attic? The Italian national innovation system in historical perspective, 1861–2011. *Enterprise & Society*, 16(02), 270-290.
- Odagiri, H., Goto, A., Sunami, A., & Nelson, R. R. (2012). *Intellectual property rights, development, and catch up: An international comparative study*. Oxford University Press.
- OECD. (2009). *Reviews of Regional Innovation: 15 mexican states*
- OECD. (2009). *Reviews of Regional Innovation: 15 mexican states*. OECD
- Oinas, P. (2005). Finland: A success story? *European Planning Studies*, 13(8), 1227-1244.
- Olivares Alonso, E. (2009, January 11). CONACYT remplaza el programa de estímulos fiscales a empresas. *La Jornada*. Retrieved from [www.jornada.unam.mx:2009/01/11/index.php?section=sociedad&article=032n1soc](http://www.jornada.unam.mx:2009/01/11/index.php?section=sociedad&article=032n1soc)
- Olivares Alonso, E. (2009, January 11). CONACYT remplaza el programa de estímulos fiscales a empresas. *La Jornada*. Retrieved from [www.jornada.unam.mx:2009/01/11/index.php?section=sociedad&article=032n1soc](http://www.jornada.unam.mx:2009/01/11/index.php?section=sociedad&article=032n1soc)
- Olsen, J. P. (2007). Understanding institutions and logics of appropriateness: Introductory essay. Centre for European Studies. ARENA Working Paper, 13(07).
- Orsenigo, L. (1989). *The emergence of biotechnology: institutions and markets in industrial innovation*. Pinter Publishers Ltd.
- Orsenigo, Luigi. (2001). The (failed) development of a biotechnology cluster: The case of Lombardy. *Small Business Economics*. 17.1-2: 77-92.

- Padberg, D. I., Ritson, C., & Albisu, L. M. (1997). *Agro-food marketing*. Cab International. Retrieved from Google Scholar
- Pavitt, K. (2001). Public policies to support basic research: What can the rest of the world learn from US theory and practice?(And what they should not learn). *Industrial and Corporate Change*, 10(3), 761-779.
- Plewa, C., Korff, N., Johnson, C., Macpherson, G., Baaken, T., & Rampersad, G. C. (2013). The evolution of university--industry linkages—A framework. *Journal of Engineering and Technology Management*, 30(1), 21-44. Retrieved from Google Scholar
- Pocchiari, F. (1990). Lo sviluppo delle biotecnologie in Italia: intuizioni e ruolo di Domenico Marotta. *Ann. ht. Super. Sanità*, 26(1), 15-20.
- Podolny, J. M., & Page, K. L. (1998). Network forms of organization. *Annual Review of Sociology*, 57-76.
- Poni, C. (1990). Per la storia del distretto industriale serico di Bologna (secoli XVI-XIX). *Quaderni storici*, 93-167.
- Portes, A., & Sensenbrenner, J. (1993). Embeddedness and immigration: Notes on the social determinants of economic action. *American Journal of Sociology*, 1320-1350. Retrieved from Google Scholar
- Posada, M., & Salinas, J. (2013, February). Slim y gates aportan 25 mdd para mejorar maíz y trigo en México. *Periódico La Jornada: Slim y Gates aportan 25 mdd para mejorar maíz y trigo en México* Retrieved from [www.jornada.unam.mx: http://www.jornada.unam.mx/2013/02/14/economia/029n1eco](http://www.jornada.unam.mx/2013/02/14/economia/029n1eco)
- Putnam, R. D. (2000). *Bowling alone: The collapse and revival of american community*. Simon and Schuster. Retrieved from Google Scholar
- Putnam, R. D., Leonardi, R., & Nanetti, R. Y. (1994). *Making democracy work: Civic traditions in modern italy*. Princeton university press. Retrieved from Google Scholar
- Quan Kiu Larios, A. (2012). *El desarrollo de la investigación científica en México: El caso de la institucionalización de la ciencia en la BUAP*. Master thesis.
- Quist, D., & Álvarez-Buylla, E. (2013, February 7). La ciencia y la realidad vs. El maíz transgénico en México. *La Jornada: La ciencia y la realidad vs. el maíz transgénico en México*. Retrieved from [www.jornada.unam.mx: http://www.jornada.unam.mx/2013/02/07/opinion/024a1pol](http://www.jornada.unam.mx/2013/02/07/opinion/024a1pol)
- Ramos-Vielba, I., & Fernández-Esquinas, M. (2012). Beneath the tip of the iceberg: Exploring the multiple forms of university–industry linkages. *Higher Education*, 64(2), 237-265. doi:10.1007/s10734-011-9491-2

- Rimmer, M. (2008). *Intellectual property and biotechnology: Biological inventions*. Edward Elgar Publishing.
- Rimmer, M. (2008). *Intellectual property and biotechnology: Biological inventions*. Edward Elgar Publishing.
- Rinaudo, M., 2006, Chitin and chitosan: Properties and applications, *Progress in Polymer Science*, 31(7), pp. 603-32
- Rodríguez Gómez, R. (2010, November 25). Las patentes. Campusmilenio. Retrieved from campusmilenio.com.mx.
- Rogers, E. M. (2002). The nature of technology transfer. *Science Communication*, 23(3), 323-341.
- Romero F., De Vries W. (2005). “Cambios en la oferta educativa y población escolar de la BUAP y del estado de Puebla desde 1990, in *Foro Calidad e Innovación Educativa*, Puebla, México.
- Romero-Muñoz, J. F., 2008, Experiencias de vinculación universidad-sector productivo y social en la BUAP, Serie I. Colecc. Biblioteca de la Educación Superior. ANUIES.
- Rosenberg, N. (2001). *Dentro la scatola nera*, trad. It. Bologna. Il Mulino.
- Ruuskanen, P. (2004). Social capital and innovations in small and medium sized enterprises. In DRUID summer conference (pp. 14-16). Retrieved from Google Scholar.
- Saxenian, A. (2001). Inside-out: Regional networks and industrial adaptation in silicon valley and route 128. In M. Granovetter & R. Swedberg (Eds.), *The sociology of economic life*. Westview Press.
- Schaan, J.-L., Kelly, M. & Tanganelli, D., 2012, *Gestión de alianzas estratégicas: construyendo alianzas que funcionen*, Pirámide, Madrid, España.
- Schienstock, G., 2007, From Path Dependency to Path Creation: Finland on its Way to the Knowledge-Based Economy, *Current Sociology*, 55(1), pp. 92-109.
- Serafini, M. (2010). Innovation in regional context: the case of Emilia Romagna (chapter), in Mazzotti and Pancaldi (ed.) 2010. *Impure Cultures. Interfacing science, technology and humanities*. Università of Bologna, dipartimento di Filosofia.
- Serafini, M., (2011). *Technological Innovation in Emilia-Romagna: Knowledge, Practice, Strategies*. University of Bologna. PhD Thesis.
- Shinn, T. (1998). The impact of research and education on industry: A comparative analysis of the relationship of education and research systems to industrial progress in six countries. *Industry and Higher Education*, 12(5), 270-89.

- Shinn, T. (2002). The triple helix and new production of knowledge prepackaged thinking on science and technology. *Social Studies of Science*, 32(4), 599-614. Retrieved from Google Scholar.
- Siegel, D. S., Waldman, D., & Link, A. (2003). Assessing the impact of organizational practices on the relative productivity of university technology transfer offices: An exploratory study. *Research Policy*, 32(1), 27-48. Retrieved from Google Scholar
- Sloop, C., & Bettini, O. (2015) *Agricultural Biotechnology Annual Italy*. USDA Foreign Agricultural Service, GAIN Report, Global Agricultural Information Network.
- SNICS-SAGARPA. (2013). Directorio de productores, obtentores y comercializadores de semillas. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-SAGARPA.
- SNICS-SAGARPA. (2013). Gaceta oficial de los derechos de obtentor de variedades vegetales. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-SAGARPA.
- SNICS-SAGARPA. (2014). Catálogo nacional de variedades vegetales. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas-SAGARPA.
- Sorek, G. (2012). Free licensing to boost aggregate odds for success. *Economics Letters*, 116(2), 183-185. doi:10.1016/j.econlet.2012.02.013
- Speziale, M. T. (2012). Differentiating higher education accountability in the global setting: A comparison between Boston University and University of Bologna. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 47, 1153-1163.
- Subramanian, A. M., Lim, K., & Soh, P. -H. (2013). When birds of a feather don't flock together: Different scientists and the roles they play in biotech R&D alliances. *Research Policy*, 42(3), 595-612. Retrieved from Google Scholar
- UNIONCAMERE EMILIA-ROMAGNA, 2015: Rapporto sull'Economia Regionale Consultivo 2015. Retrieved 2016.07.18 from <http://www.ucer.camcom.it/studi-ricerche/analisi/rapporto-economia-regionale/pdf/2015/2015-consuntivo-economia-regionale.pdf>
- Van Dongen, P., Winnink, J., & Tijssen, R. (2014). Academic inventions and patents in the netherlands: A case study on business sector exploitation. *World Patent Information*. doi:10.1016/j.wpi.2014.03.00
- Van Rooij, A. (2014). University knowledge production and innovation: Getting a grip. *Minerva*, 52(2), 263-272. Retrieved from Google Scholar.
- Ventura Rodríguez, M. T. (2006). La industrialización en Puebla, México, 1835-1976. In *Viejas y nuevas alianzas entre América Latina y España: XII encuentro de latino americanistas españoles*, Santander, 21 al 23 de septiembre de 2006 (p. 39).



- Verburg, R. M., & Andriessen, E. J. (2011). A typology of knowledge sharing networks in practice. *Knowledge and Process Management*, 18(1), 34-44.
- Villavicencio, D., Amaro, M., Bañuelos, E., Chiapa, A., Morales, A., & Souza, L. (2014). Innovación con huevos: IASA. In *Yo innovo, él innova, todos innovamos: 15 proyectos apoyados por el FIT*. CENGAGE Learning.
- Von Ledebur, S. (2008). Technology transfer offices and university patenting - a review . *Jena Economic Research Papers*, 2008(033)
- Williams, R., & Edge, D. (1996). The social shaping of technology. *Research Policy*, 25(6), 865-899.
- Winning, A. (2014). The research and innovation performance of the G20. REUTERS
- Wolf, D., & Otero, A., (2013). Agricultural Biotechnology Annual: Mexico Continues to Cautiously Move Forward with Biotechnology. USDA Foreign Agricultural Service, GAIN Report, Global Agricultural Information.
- Wolf, D., & Otero, A., (2015). Agricultural Biotechnology Annual Mexico. USDA Foreign Agricultural Service, GAIN Report, Global Agricultural Information
- Yanagisawa, T., & Guellec, D. (2009). The emerging patent marketplace. OECD. Retrieved from [www.oecd.org/sti/working-papers](http://www.oecd.org/sti/working-papers)
- Zanotti, G. (1739). *Storia dell'Accademia Clementina di Bologna aggregata all'Instituto delle Scienze e dell'Arti*. Volume primo [-secondo][Giampietro Zanotti]: Conteneute il primo e secondo libro (Vol. 1). per Lelio dalla volpe.

## **Anexo 1 Guías de entrevista y cuestionarios**



---

### Guía de entrevista (investigador IN)

<input type="checkbox"/> IN	<input type="checkbox"/> OUT	<input type="checkbox"/> Both
Fecha:		
Nombre:		
Ocupación:		
Organización:		

1. ¿Cómo nació la tecnología que usted ha desarrollado?
2. ¿Qué problema tecnológico resuelve y cómo llego a darse cuenta de que existía ese problema?
3. ¿Esta tecnología está en operación actualmente en alguna empresa? SI/NO ¿por qué?
4. ¿Cómo piensa que evolucionará esta tecnología en el futuro?
5. Si es el caso ¿por qué decidió solicitar la patente de esta tecnología?
6. ¿Usted ha colaborado realizando investigación con otras personas? ¿Quiénes y por qué?
7. ¿Por cuánto tiempo se desarrolló este proyecto y cómo concluyó?
8. ¿Qué conveniencias o beneficios obtuvo al realizar dicha colaboración?
9. ¿Qué condiciones se tuvieron que cumplir para que se diera exitosamente la colaboración?
10. ¿Qué problemas enfrentó y como los resolvió?
11. ¿De donde proviene principalmente el financiamiento a su trabajo de investigación?
12. ¿Conoce usted a personas que hagan investigación tecnológica compatible con la suya que trabajen en alguna empresa?
13. ¿Ha colaborado con ellos? SI/NO ¿Por qué?
14. De aquí a diez años ¿Qué trabajo estará realizando usted como investigador y dónde?
15. Si es el caso ¿Puedo tener una copia de su Currículum Vitae?



## Cuestionario (investigador IN)

<input type="checkbox"/> IN	<input type="checkbox"/> OUT	<input type="checkbox"/> Both
Fecha:		
Nombre:		
Ocupación:		
Organización:		

## 1. ¿En cuáles de este tipo de colaboración entre la universidad y la empresa ha participado?

	Marque aquellas en la que ha participado	Señale el número de veces (eventos) en las que ha participado
• Consultoría formal como investigador universitario (asesoría remunerada)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) financiados exclusivamente por la compañía	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Participación en proyectos de Investigación y Desarrollo con financiamiento compartido (universidad-empresa) o con financiamiento público	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Capacitación de posgraduados (maestría y doctorado).	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Guía de estudiantes realizando estancia en una empresa.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Intercambio temporal de personal con una empresa (trabajadores)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Capacitación específica de trabajadores provista por la universidad (cursos, talleres)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Uso o renta de instalaciones o equipamiento	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Explotación de patentes o modelos de utilidad por una empresa / participación en solicitud de patentes conjuntas (universidad-empresa)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Creación de una compañía nueva ( <i>spin-offs</i> y <i>start ups</i> )	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Participación en capital de riesgo para un centro de investigación híbrido (entre universidad y empresa).	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Relaciones informales con personas pertenecientes a una empresa (número de contactos entre amigos, familiares, conocidos, etc.)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Actividades extra-académicas de divulgación de conocimiento (presentación de productos, conferencias, seminarios, participación en congresos, ferias agrícolas, etc.). Todas las actividades de divulgación excepto la publicación de artículos y libros.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Otro tipo de actividades de colaboración (por favor especificar):	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	



### Guía de entrevista (investigador OUT)

<input type="checkbox"/> IN	<input type="checkbox"/> OUT	<input type="checkbox"/> Both
Fecha:		
Nombre:		
Ocupación:		
Organización:		

1. ¿Cómo nació la tecnología que usted ha desarrollado?
2. ¿Qué problema tecnológico resuelve y cómo llego a darse cuenta de que existía ese problema?
3. Si es el caso ¿por qué decidió solicitar la patente de esta tecnología?
4. ¿Por qué comenzó a trabajar en esta empresa, cómo fue su incorporación?
5. ¿Usted desarrolló su tecnología antes de trabajar para esta empresa, o más bien la desarrollo ya estando aquí?
6. ¿Usted ha colaborado realizando investigación con otras personas (sean de la misma empresa o fuera de ella)? ¿Quiénes y por qué?
7. ¿Por cuánto tiempo se desarrollo este proyecto y cómo concluyó?
8. ¿Qué conveniencias o beneficios obtuvo al realizar dicha colaboración?
9. ¿Que condiciones se tuvieron que cumplir para que se diera exitosamente la colaboración?
10. ¿Qué problemas enfrentó (en la colaboración con los demás o en el desarrollo de las invenciones) y como los resolvió?
11. ¿De donde proviene principalmente el financiamiento a su trabajo de investigación?
12. ¿Conoce usted a personas que hagan investigación tecnológica compatible con la suya que trabajen en la BUAP/UNIBO u otra universidad?
13. ¿Ha colaborado con ellos? SI/NO ¿Por qué?
14. De aquí a diez años ¿Qué trabajo estará realizando usted como investigador y dónde?
15. Si es el caso ¿Puedo tener una copia de su Curriculum Vitae?



## Cuestionario (investigador OUT)

<input type="checkbox"/> IN	<input type="checkbox"/> OUT	<input type="checkbox"/> Both
Fecha:		
Nombre:		
Ocupación:		
Organización:		

## 2. ¿En cuáles de este tipo de colaboración entre la universidad y la empresa ha participado?

	Marque aquellas en la que ha participado	Señale el número de veces (eventos) en las que ha participado
• Consultoría profesional (asesoría remunerada)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Proyectos de Investigación y Desarrollo (I+D) financiados exclusivamente por la compañía	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Participación en proyectos de Investigación y Desarrollo con financiamiento compartido (universidad-empresa) o con financiamiento público	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Capacitación de posgraduados (maestría y doctorado)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Guía de estudiantes realizando estancias de estudiantes en la empresa	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Intercambio temporal de personal con una universidad (trabajadores)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Capacitación específica de trabajadores provista por el investigador (cursos, talleres)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Uso o renta de instalaciones o equipamiento	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Explotación de patentes o modelos de utilidad por una empresa/ participación en solicitud de patentes conjuntas (universidad-empresa)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Creación de una compañía nueva (spin-offs y start ups)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Participación en capital de riesgo para un centro de investigación híbrido (entre la universidad y la empresa)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Relaciones informales con personas pertenecientes a una universidad (número de contactos entre amigos, familiares, conocidos, etc.)	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Actividades extra-académicas de divulgación de conocimiento (presentación de productos, conferencias, seminarios, participación en congresos, ferias agrícolas, etc.). Todas las actividades de divulgación excepto la publicación de artículos y libros.	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
• Otro tipo de actividades de colaboración (por favor especificar):	<input type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	