



Universidad Autónoma de Zacatecas
“Francisco García Salinas”

Doctorado en Estudios del Desarrollo

INVESTIGACIÓN PÚBLICA Y PATENTAMIENTO DE
VACUNAS BIOTECNOLÓGICAS EN MÉXICO 2000-2019

TESIS PRESENTADA POR:

Nancy Alejandra Cuevas Mercado

**PARA OBTENER EL GRADO DE DOCTORA EN ESTUDIOS
DEL DESARROLLO**

Directora:

Dra. Mónica Guadalupe
Chávez Elorza

Codirector:

Dr. Edgar Záyago Lau

Zacatecas, Zacatecas. México, agosto de 2020

Cuevas Mercado, Nancy Alejandra

Investigación pública y patentamiento de vacunas biotecnológicas en México 2000-2019, Zacatecas, Zac., México, 2020.

Directora: Dra. Mónica Guadalupe Chávez Elorza

Tesis (doctorado) Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad de Estudios del Desarrollo.

Palabras clave:

- | | |
|-------------------------|------------------|
| 1. Vacunas | 2. Biotecnología |
| 3. Ciencia y Tecnología | 4. México |

I. Dra. Mónica Guadalupe Chávez Elorza II. Universidad Autónoma de Zacatecas, Unidad de Estudios del Desarrollo III. Investigación pública y patentamiento de vacunas biotecnológicas en México 2000-2019.



DOCTORADO EN ESTUDIOS DEL DESARROLLO

Zacatecas, Zacatecas a 30 de junio de 2020

Dr. Antonio Guzmán Fernández
Rector de la Universidad Autónoma de Zacatecas
PRESENTE

Por este medio hacemos de su conocimiento que una vez leído y revisado el trabajo de tesis titulado "*Investigación pública y patentamiento de vacunas biotecnológicas en México 2000-2019*" para la obtención de grado y elaborado por la alumna **Nancy Alejandra Cuevas Mercado** con matrícula **25600331** del Doctorado en Estudios del Desarrollo, determinamos que cumple con los requisitos teórico - metodológicos para la obtención de grado.

Por tal motivo solicito a usted con toda mi atención disponer que se expida el ACUERDO correspondiente. Agradeciendo de antemano la atención que sirva prestar a la presente, le reitero las seguridades de mi atenta y distinguida consideración

ATENTAMENTE

Dra. Mónica Guadalupe Chávez Elorza
Directora de tesis

c.c.p. Unidad Académica
c.c.p. Archivo

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ZACATECAS "FRANCISCO GARCÍA SALINAS"

Avenida Preparatoria s/n , Colonia Hidráulica, Zacatecas, Zac. CP: 98068, Tel. 01 (492) 925 66 90, Ext. 3501 / 899 69 45
Correo Electrónico: uad@uaz.edu.mx

Dedicatoria

A mi familia, las personas más importantes de mi vida.

A mi esposo, que es mi luz en momentos de oscuridad; mi mayor soporte por su amor y apoyo incondicional.

A mis hijos: Isaac, mi sol que me da luz, calor y alegría todos los días. †Sergio y Santiago, las estrellas que guían mis pasos desde el cielo.

A mi madre, mi ejemplo a seguir por su muestra de valentía y perseverancia.

†A mi padre, que se fue demasiado rápido, pero sus enseñanzas prevalecen.

A mis hermanas, mis compañeras de viaje, por estar presentes en todo momento y creer en mí siempre.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación fue producto de la formación y apoyo obtenido de varias instituciones y personas. Agradezco a mi *alma mater*, la Benemérita Universidad Autónoma de Zacatecas, por su compromiso con la educación pública y por acogerme en sus aulas durante más de una década; al Doctorado en Estudios del Desarrollo por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación académica y profesional; y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por haber financiado mis estudios de doctorado por medio del programa de becas nacionales y permitirme ser parte del grupo de trabajo del proyecto (A1S9013) titulado “Evaluación del impacto de las políticas públicas en la productividad científica, tecnológica e innovadora en México”.

También debo mi gratitud, aprecio y reconocimiento a la Dra. Mónica Guadalupe Chávez Elorza, dado que su orientación, recomendaciones, apoyo y comprensión en cada etapa de este proyecto fueron parte fundamental para la conclusión de este trabajo en tiempo y forma; al Dr. Edgar Záyago Lau por sus atinadas recomendaciones, paciencia y críticas constructivas que abonaron a la construcción de un mejor trabajo y me incentivaron a crecer académicamente. Agradezco a ambos por su dedicación y compromiso constante.

Quiero agradecer, de igual manera, al Dr. Guillermo Foladori puesto que sus acertados comentarios y sus múltiples asesorías me permitieron avanzar en este proyecto desde sus primeras etapas; además de que en todo momento estuvo dispuesto a compartir sus conocimientos y experiencia, lo cual abonó enormemente a esta tesis y a mi formación. Asimismo, agradezco a las Dras. Marcela Amaro y Mayda Ramírez por sus comentarios y recomendaciones que sin duda fueron un apoyo fundamental para la conclusión de esta investigación.

Finalmente, agradezco infinitamente a mi familia, pues está a mi lado en cada paso que doy. A mi madre por creer en mí en todo momento y tener siempre las palabras indicadas para impulsarme; a mi esposo por su apoyo y amor incondicional; y a mi hijo por su paciencia y comprensión ante mis ausencias. Gracias por acompañarme durante todo este tiempo, sin ustedes no hubiera sido posible.

Índice general

Introducción.....	16
Objeto de investigación.....	16
Planteamiento del problema.....	16
Preguntas de investigación.....	26
Objetivos.....	26
Hipótesis.....	27
Contribución.....	27
Estrategia metodológica.....	28
Capítulo I. Salud, ciencia y tecnología en desarrollo en el capitalismo.....	31
Salud.....	31
1.1. La salud en el capitalismo.....	31
1.1.1. Capitalismo y enfermedad.....	37
1.2. Salud y desarrollo.....	41
Ciencia y tecnología.....	49
1.3. Modelos de cooperación entre actores para el progreso de la innovación.....	49
1.3.1. Triángulo de Sábato.....	49
1.3.2. Sistema Nacional de Innovación.....	53
1.3.3. Triple hélice.....	56
1.4. Marco conceptual.....	60
1.4.1. Biotecnología.....	60
1.4.2. Técnica, tecnología y ciencia.....	62
1.4.3. Capacidades científicas y tecnológicas.....	64
1.4.4. Invención e innovación.....	69
Reflexiones finales.....	73
Capítulo II. Aspectos generales de la biotecnología.....	75
2.1. Surgimiento y desarrollo de la biotecnología.....	75
2.1.1. Aplicaciones.....	82
2.2. Debate sobre el uso de la biotecnología.....	87
Reflexiones finales.....	95
Capítulo III. Marco normativo sobre biotecnología.....	97
3.1. Principales acuerdos y convenios internacionales sobre bioseguridad de la biotecnología en los que México está suscrito.....	97

3.1.1. Derechos de propiedad intelectual: patentes	100
3.1.2. Sistema de patentes en México	107
3.2. Legislación y normativa nacional	117
3.2.1. Plataforma mexicana de ciencia y tecnología. Breve recuento de 1930 al 2018	119
3.2.1.1. <i>Biotecnología en los planes de CTeI en México</i>	123
Reflexiones finales	126
Capítulo IV. Vacunas biotecnológicas: antecedentes, investigación y desarrollo en México	
128	
4.1. De las vacunas tradicionales a las vacunas biotecnológicas	129
4.2. Debate sobre el uso de vacunas	132
4.3. Breve recorrido histórico del uso de las vacunas	139
4.4. El sistema mexicano de vacunación: desarrollo y producción de vacunas.....	140
4.4.1. Del período colonial al Estado Desarrollista.....	140
4.4.2. Cambio en el rumbo de la política: entrada del modelo neoliberal	144
Reflexiones finales	148
Capítulo V. Panorama de la investigación pública y el patentamiento sobre vacunas	
biotecnológicas en México	150
5.1. Financiamiento público a la investigación sobre vacunas biotecnológicas en México ...	151
5.1.1. Fondos sectoriales	156
5.1.2. Fondos mixtos	160
5.1.3. Fondos y apoyos institucionales	160
5.1.4. Apoyos para infraestructura.....	162
5.1.5. Programa de estímulos a la innovación.....	162
5.1.6. Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT).....	165
5.2. Personal altamente calificado e infraestructura para el desarrollo de vacunas	
biotecnológicas en México	165
5.2.1. Formación de personal altamente calificado, investigadores y cuerpos académicos	166
5.2.2. Centros públicos de investigación y redes de colaboración	173
5.2.3. Producción académica	177
5.3. Panorama de patentamiento de vacunas de uso humano en México 2000-2018:	
metodología y resultados.....	184
Reflexiones finales	191
Conclusiones generales.....	193
Anexos	201
Referencias	211

Índice de cuadros, figuras, gráficas y mapas

Cuadros

Cuadro 1. Indicadores de crecimiento, gasto y salud de Cuba, Estados Unidos y México (2016).....	20
Cuadro 1.1. Matriz de capacidades tecnológicas.....	66
Cuadro 1.2. Fases y procesos de la innovación tecnológica.....	70
Cuadro 2.1. Aplicaciones potenciales de la biotecnología moderna	83
Cuadro 2.2. Normas sobre aspectos bioéticos para la regulación de investigaciones biomédicas	90
Cuadro 3.1. Tratados y acuerdos internacionales en materia de Biotecnología signados por México	98
Cuadro 3.2. Normativa y legislación nacional en materia de ciencia, tecnología y salud en México	117
Cuadro 3.3. Normativa y legislación nacional para la biotecnología en salud en México.	118
Cuadro 3.4. La biotecnología en los planes o programas de CTeI.....	124
Cuadro 4.1. Tipos de vacunas.....	131
Cuadro 4.2. Principales críticas al uso de vacunas	133
Cuadro 4.3. Avances en materia de vacunación en el mundo	139
Cuadro 4.4. Principales avances en materia de vacunación en México	141
Cuadro 4.5. Esquema de vacunación en México.....	143
Cuadro 5.1. Proyectos de investigación para el desarrollo de vacunas financiados por Fondos Sectoriales.....	159
Cuadro 5.2. Proyectos de investigación para el desarrollo de vacunas humanas financiados por Fondos Mixtos.....	160
Cuadro 5.3. PEI financiamiento de proyectos sobre biotecnología, salud y farmacéutica.	163
Cuadro 5.4. Proyectos sobre vacunas financiados por el Programa de Estímulos a la Innovación	163
Cuadro 5.5. Centros públicos de investigación CONACYT relacionados con biotecnología	174

Cuadro 5.7. Laboratorios nacionales CONACYT relacionados con biotecnología	175
Cuadro 5.6. Redes temáticas de investigación CONACYT relacionados con la biotecnología	176
Cuadro 5.8. Palabras usadas para la búsqueda	178
Cuadro 5.9. Método utilizado en la búsqueda de patentes de vacunas en México.....	184

Figuras

Figura 1.1. Relación pobreza-salud- enfermedad.....	48
Figura 1.2. Triángulo de Sábato	52
Figura 1.3. Triple hélice I	57
Figura 1.4. Triple hélice II.....	58
Figura 1.5. Triple hélice III	59
Figura 2.1 Transición de la biotecnología tradicional a la moderna	77
Figura 2.2 Áreas del conocimiento involucradas en el desarrollo de la biotecnología	82

Gráficas

Gráfica 3.1 Número de patentes biotecnológicas publicadas en México, por tipo de residencia	111
Gráfica 3.2. Número de patentes farmacéuticas publicadas en México, por tipo de residencia	113
Gráfica 5.1. Gasto en I+D de algunos países como porcentaje del PIB	152
Gráfica 5.2. Gasto en I+D por sector de financiamiento en México	153
Gráfica 5.3. Programas académicos de biotecnología (2010-2019).....	167
Gráfica 5.4. Matrícula de programas de educación superior en biotecnología (2010-2019) 168	
Gráfica 5.5. Matricula de programas de posgrado en biotecnología (2010-2019).....	169
Gráfica 5.6. Investigadores del SNI relacionados con vacunas biotecnológicas.....	171
Gráfica 5.7. Cuerpos académicos PRODEP dedicados a la investigación en biotecnología, por área.	172
Gráfica 5.8. Producción científica en la WoS relacionada a vacunas biotecnológicas en México	179
Gráfica 5.9. Tipo de publicación	180
Gráfica 5.10. Instituciones destacadas en publicaciones de vacunas biotecnológicas	181

Gráfica 5.11. Principales entidades financiadoras.....	183
Grafica 5.12. Solicitudes de patente de vacunas de uso humano en México	186
Gráfica 5.13. ¿Quiénes patentan vacunas de uso humano en México?.....	187
Gráfica 5.14. Países de origen de las solicitudes	187
Grafica 5.15. Principales solicitantes	190

Mapas

Mapa 5.1. <i>Origen de las instituciones de afiliación</i>	182
Mapa 5.2. <i>Países con solicitudes de patente en México 2000-2018</i>	188

Lista de siglas y acrónimos

A&HCI	Arts & Humanities Citation Index
ADN	Ácido Desoxirribonucleico
ADPIC	Acuerdo sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio
AMELAF	Asociación Mexicana de Laboratorios Farmacéuticos A.C.
ANUIES	Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior
BCG	Bacilo de Calmette-Guérin
BID	Banco Interamericano para el Desarrollo
Birmex	Biológicos y Reactivos de México
BM	Banco Mundial
CA	Cuerpos Académicos
CCC	Consejo Consultivo de Ciencias
CDB	Convenio sobre la Diversidad Biológica
CEDRSSA	Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria
CFE	Comisión Federal de Electricidad
CIBIOGEM	Comisión Intersecretarial de Bioseguridad de los Organismos Genéticamente Modificados
CICIC	Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica
CIIGB	Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología
Cinvestav	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados
COLMEX	Colegio de México
COLPOS	Colegio de Posgraduados
CONACYT	Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología
CONESIC	Consejo Nacional de Educación Superior y de la Investigación Científica
DOF	Diario Oficial de la Federación
DPI	derechos de propiedad intelectual
DTP	Difteria, tosferina y tétanos
EE.UU.	Estados Unidos de América
EFIDT	Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología.
ENV	Esquema Nacional de Vacunación
ESCI	Emerging Sources Citation Index
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
FOINS	Fondo Institucional
FONCICYT	Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología

FORDECYT	Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación
GATT	Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio
Grupo ETC	Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración
HepB3	Tercera dosis de la vacuna contra la hepatitis B
Ibt	Instituto de Biotecnología
IF	Industria Farmacéutica
IMPI	Instituto Mexicano de Propiedad Industrial
IMSS	Instituto Mexicano del Seguro Social
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
INAH	Instituto Nacional de Antropología e Historia
INCMNSZ	Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán
INEGI	Instituto Nacional de Estadística y Geografía
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias
INSP	Instituto Nacional de Salud Pública
INV	Instituto Nacional de Virología
IPN	Instituto Politécnico Nacional
ISET	Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales
ISI	Industrialización por Sustitución de Importaciones
ISR	Impuesto sobre la renta
ISSSTE	Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado
LBOGM	Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados
LGS	Ley General de Salud
OCDE	Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos
ODM	Objetivos de Desarrollo del Milenio
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OGM	Organismo Genéticamente Modificados
OMC	Organización Mundial del Comercio
OMPI	Organización Mundial de la Propiedad Intelectual
OMS	Organización Mundial de la Salud
ONU	Organización de las Naciones Unidas
ONU	Organización de las Naciones Unidas
OPV	Antipoliomielítica oral
PAHO	Organización Panamericana de la Salud
PAI	Programa Ampliado de Inmunizaciones
PDBB	Programa para el Desarrollo de la Bioseguridad y la Biotecnología
PECiTI	Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación
PEI	Programa de Estímulo a la Innovación
PEMEX	Petróleos Mexicanos
PI	Política industrial
PI	Propiedad intelectual

PIB	Producto Interno Bruto
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
PRODEP	Programa para el Desarrollo Profesional Docente
PTC	Tratado de Cooperación en materia de Patentes
SAGARPA	Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural
SCI- EXPANDED	Science Citation Index Expanded
SEMARNAT	Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales
SGM	Segunda Guerra Mundial
SHCP	Secretaría de Hacienda y Crédito Público
SIDA	Síndrome de inmunodeficiencia adquirida
SNCTI	Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación
SNI	Sistema Nacional de Innovación
SNI	Sistema Nacional de Investigadores
SR	Sarampión y rubéola
SRP	Sarampión, la rubéola y la parotiditis
SSA	Secretaría de Salud
SSCI	Social Sciences Citation Index
Td	Tétanos y difteria
Tdpa	Tétanos, difteria y pertussis acelular
TLCAN	Tratado de Libre Comercio con América del Norte
UNAM	Universidad Nacional Autónoma de México
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
UNICEF	Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia
VIH	Virus de inmunodeficiencia humana
VPH	Virus del Papiloma Humano
WoS	Web of Science

Resumen

En esta tesis se muestra la situación de la investigación pública y el patentamiento de vacunas biotecnológicas en México. El objetivo es identificar las capacidades científicas públicas y tecnológicas; y analizar la sincronía entre los objetivos de las agendas de investigación públicas -definidos en las leyes y programas en la materia- y lo que realmente se aplica para problematizar las implicaciones que esto trae al desarrollo social.

La hipótesis que guía este trabajo de investigación es que, en México, la investigación pública en biotecnología puede coadyuvar al desarrollo, sin embargo, su función social se pierde, ya que su trayectoria tecnológica está ligada a los intereses de las grandes corporaciones químico-farmacéuticas que controlan el sector, es decir, a la generación de ganancia. En esta lógica, el patentamiento surge con el objetivo de garantizar la utilidad de la inversión realizada por inventores y/o empresas; no obstante, esto resulta, entre otras cosas, en la concentración del conocimiento y en la orientación biotecnológica hacia sectores económicos más favorecidos. Lo anterior puede actuar en detrimento del papel que la biotecnología puede tener en el bienestar de la población en México.

En este contexto, la investigación pública sobre vacunas biotecnológicas es un instrumento indispensable para los sistemas de salud, adquiriendo una función social de relevancia; es un recurso para lograr el desarrollo económico; por ello, es deseable que el Estado actúe como coordinador de la trayectoria tecnológica y financiador de la actividad.

Los cambios de la estructura de salud o el perfil epidemiológico están relacionados con las características de las fases del desarrollo de capitalismo. El modelo neoliberal determina cuáles actividades deben ser desarrolladas por el Estado, como el mantenimiento de la salud, y su orientación al mercado permite que los avances de la investigación pública se transfieran a las empresas privadas vía el patentamiento; esto implica que la investigación pierda su función de propulsar el desarrollo social.

Palabras clave: ciencia y tecnología, biotecnología, vacunas, desarrollo.

Abstract

This dissertation shows the situation of public research and patenting of biotech vaccines in Mexico. Its objective is to identify public scientific and technological capabilities; and analyze the synchronicity between the objectives of public research agendas -defined in the laws and programs on the matter- and what is applied, to problematize the implications that this brings to social development.

The hypothesis that guides this research is that, in Mexico, public research in biotechnology can contribute to development, however, its social function is lost because its technological trajectory is linked to the interests of large chemical-pharmaceutical corporations that control the sector; guided to the generation of profit. In this logic, patenting arises with the aim of guaranteeing the utility of the investment made by inventors and/or companies; however, this results, among other things, in the concentration of knowledge and in the biotechnological orientation towards most favored economic sectors. This may act to the detriment of the role that biotechnology can have in the well-being of the population in Mexico.

In this context, public research on biotechnological vaccines is an indispensable instrument for health systems, acquiring a relevant social function. It is also a resource to achieve economic development; for this reason, it is desirable that the State can act as coordinator of the technological trajectory, in addition of financing the activity.

Changes in the health structure or epidemiological profile are related to the characteristics of the phases of capitalism development. The neoliberal model determines which activities must be developed by the State, such as health services, and its market orientation allows that the advances of public research could be transferred to private companies via patenting, this implies that research loses its function of promoting social development.

Keywords: science and technology, biotechnology, vaccines, development.

Introducción

Objeto de investigación

El objeto de estudio de esta tesis es describir y analizar la situación de la investigación pública¹ y el patentamiento² de la biotecnología orientada a la salud, en específico de vacunas biotecnológicas en México entre 2000 y 2019. En sintonía con el objetivo se hace un recuento de las capacidades científicas públicas (centros de investigación, universidades, personal altamente calificado e infraestructura) y tecnológicas (patentes); y se analiza la sincronía entre los objetivos de las agendas de investigación públicas -definidos en las leyes y programas en la materia- y lo que realmente se aplica, para problematizar las implicaciones que esto trae al desarrollo social. Para acercarse al objeto de estudio, se analiza la relación salud-desarrollo, lo cual ayuda a contextualizar el impacto del progreso biotecnológico en la población.

Planteamiento del problema

La búsqueda continua por incentivar el desarrollo, entendido este como progreso y bienestar social, involucra la articulación de diversas esferas: económicas, políticas, jurídicas, sociales y culturales. Las principales instituciones diseñadoras de política pública en el mundo realizan recomendaciones sobre las áreas estratégicas que los países pobres, semi-industrializados o periféricos, deben promover para acceder al desarrollo. Por ejemplo, el Banco Mundial (BM, 2018a) establece una serie de indicadores para medirlo, los cuales se agrupan en las siguientes seis áreas temáticas:

1. Pobreza y desigualdad: pobreza, prosperidad, consumo y distribución del ingreso.
2. Población: dinámica de poblaciones, educación, trabajo, **salud** y género.

¹ Esta investigación solo considera la investigación pública debido a que la información se encuentra disponible, mientras que la iniciativa privada la mantiene confidencial.

² La investigación es un eje en la generación de conocimientos científicos-tecnológicos y el patentamiento determina su aprovechamiento para la resolución de problemas sociales y/o económicos. Por lo tanto, el análisis de la dinámica entre ambas esferas es relevante, ya que orienta sobre el papel que juega la ciencia y tecnología en el desarrollo de un país.

3. Medio ambiente: agricultura, cambio climático, energía, biodiversidad, agua y saneamiento.
4. Economía: crecimiento, estructura económica, renta y ahorro, comercio y productividad laboral.
5. Estados y mercados: negocios, mercados bursátiles, militares, comunicaciones, transporte y tecnología.
6. Vínculos mundiales: deuda, comercio, dependencia de la ayuda, refugiados, turismo y migración.

Por su parte, el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2019a) establece diecisiete Objetivos para el Desarrollo Sostenible (ODS): i) poner fin a la pobreza, ii) hambre cero, iii) **salud y bienestar**, iv) educación de calidad, v) igualdad de género, vi) agua limpia y saneamiento, vii) energía asequible y no contaminante, viii) trabajo decente y crecimiento económico; ix) industria, innovación e infraestructura, x) reducción de desigualdades, xi) ciudades y comunidades sostenibles, xii) producción y consumo responsables, xiii) acción por el clima, xiv) vida submarina, xv) vida de ecosistemas terrestres; xvi) paz, justicia e instituciones sólidas; y xvii) alianzas para lograr los objetivos.

La salud es común denominador en las áreas consideradas como estratégicas en el desarrollo. Varios organismos internacionales y gobiernos nacionales reconocen su importancia como elemento indispensable para asegurar las condiciones mínimas de bienestar humano y social. Al respecto, el PNUD reconoce la complejidad e interconexión que esto tiene con el mejoramiento de las condiciones de vida de la población, y establece que: “la salud es un impulsor, un indicador y un resultado del desarrollo sostenible. Las personas sanas están mejor capacitadas para contribuir al desarrollo de sus países” (2019, párr. 1). En términos generales, no es posible trazar una ruta al desarrollo sin contar con una población sana. Esta lógica es compartida por el BM el cual argumenta, desde una perspectiva más economicista, que la salud “es una inversión fundamental en capital humano y en crecimiento económico; sin una buena salud, los niños no pueden asistir a la escuela y los adultos no pueden ir a trabajar” (BM, 2019a: 1).

Actualmente prevalecen problemas sanitarios en todo el mundo, pese a que los organismos internacionales y gobiernos nacionales se pronuncien en favor de procurar la salud. Por ejemplo, en América el acceso inadecuado a servicios de salud, educación, agua

potable y saneamiento básico permitió el incremento de enfermedades desatendidas pese a que la mayoría son tratables y pueden curarse con medicamentos que cuestan menos de un dólar. En la región hay 11 millones de personas en riesgo de padecer ceguera por tracoma, 390 000 casos de paludismo, 33 789 casos de lepra, 483 muertes en promedio anual por dengue y 14 000 muertes anuales por la enfermedad de Chagas, por mencionar algunos ejemplos (OPS, 2016). Otro muestra de esta situación tiene que ver con la presencia de Cólera en comunidades pobres de todo el mundo, pese a que se puede prevenir y tratar fácilmente con acceso a agua potable, saneamiento, higiene y vacunas anticoléricas orales (OMS, 2018a). Mientras que en el área de la vacunación: 1.5 millones de niños que viven en condiciones de vulnerabilidad o exclusión mueren anualmente a causa de enfermedades como difteria, sarampión, tétanos, tos ferina, diarrea o neumonía; todas ellas prevenibles por medio de la inmunización (Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia [UNICEF], 2019). La convulsión mundial provocada por el virus SARS-CoV-2 ha puesto en evidencia la necesidad de mantener sana a la población en edad productiva.

El goce de una buena salud es en primera instancia resultado de hábitos de alimentación e higiene, y del contexto económico y social en el cual se desenvuelve el ser humano. Por ello, no se puede separar la salud del acceso a un empleo, al ingreso a la disponibilidad al servicio de agua potable, a la buena alimentación, etcétera. Al respecto, Wagstaff (2002) señala que la pobreza y la ausencia de salud muchas veces están conectadas; por ello, los países pobres o con amplia desigualdad social ostentan resultados en los indicadores de salud inferiores a sus contrapartes ricas o desarrolladas. En el mismo sentido, el autor asegura que dentro de cada país hay diferencias en el desempeño sanitario y estas dependen del nivel de ingreso de las personas, así como las trayectorias socioeconómicas, que se convierten en factores que pueden perpetuar la condición de miseria; es decir, son elementos concomitantes, en sus palabras: “la pobreza genera mala salud, y la mala salud hace que los pobres sigan siendo pobres”(2002: 316).

Erróneamente se cree que elevar el gasto en salud permitirá solucionar los problemas sanitarios de forma automática. Sin embargo, los estudios muestran que no se trata de una relación técnica y mecánica. Hay elementos históricos, estructurales y de coyuntura que definen la salud de la población. Foladori (2003) asegura que las enfermedades se asocian a la pobreza y que un mejoramiento en el nivel de vida de la población disminuiría los

problemas de salud sin necesariamente implementar políticas específicas. Es decir, la inversión en salud por sí sola no es suficiente basta comparar algunos indicadores de crecimiento, gasto y salud entre países para confirmarlo (véase el cuadro 1); sino que mucho tiene que ver las áreas de énfasis en las que se basa la política de Estado del desarrollo.

El caso de Cuba llama la atención dado que no es considerado un país desarrollado ni presenta altos indicadores de crecimiento económico; pese a ello, su sistema de salud y de educación son ejemplo para muchos países Latinoamericanos. Al respecto, la OMS (2008: 1) señala que el sistema de salud cubano es uno de los más eficaces del mundo y sus indicadores son comparables a los de países desarrollados. Por ejemplo, en 2004 se registraban 7 defunciones por cada 1000 niños menores de cinco años, por debajo de las 46 muertes que se presentaban 40 años antes; además, la población cubana tenía de una de las mayores esperanzas de vida del mundo: 77 años. Más recientemente, Etienne (2018:1) directora de la Organización Panamericana de la Salud señaló:

Con una esperanza de vida al nacer de 78,4 años en 2016, una mortalidad infantil de 4,6 por 1 000 nacidos vivos, la eliminación de 11 enfermedades inmunoprevenibles y de la malaria a principios de los años setenta y, más recientemente, el haber sido el primer país del mundo en certificar la eliminación de la transmisión materno infantil del VIH/sida y la sífilis congénita, Cuba constituye un caso de estudio de alto interés para todos. La resiliencia de su SNS, su capacidad para prepararse y responder a emergencias y brotes epidémicos, la presencia de más de 48 000 colaboradores de salud en 62 países, las destacadas intervenciones de Cuba en situaciones de emergencia como la enfermedad del Ébola en el oeste de África en 2014 o en los terremotos de Ecuador en 2016 y México en 2017 –por nombrar solo algunos ejemplos–, y el haber graduado más de 28 000 médicos de más de 100 países, son todos elementos que redundan en la trascendencia de la experiencia cubana en el avance hacia la Salud Universal y reiteran la importancia de conocer mejor cómo se alcanzaron esos logros.

Sin embargo, la salud en la isla del Caribe está sujeta a cuestiones geopolíticas de coyuntura, tal es el caso de los años noventa en los que la población presentó pérdida de peso y desnutrición a razón de la caída de la Unión Soviética y el recrudecimiento del embargo comercial.

Indicador	Cuba	Estados Unidos	México
Crecimiento del Producto Interno Bruto [PIB] (% anual)	0.5	1.6	2.9
Gasto corriente en salud (% del PIB)	12.2	17.1	5.5
Gasto interno en salud del gobierno general (% gasto corriente en salud)	89.6	52.1	81.8
Gasto doméstico privado en salud per cápita (US \$ a precios actuales) ³	100.1	221.0	1 791.8
Esperanza de vida al nacer	79.9	77.3	78.5
Inmunización HepB3 (tercera dosis de la vacuna contra la hepatitis B) (% de niños de 1 año)	99	93	93
Inmunización DTP (% de niños de 12 a 23 meses)	99	97	95
Tasa de mortalidad, menores de 5 años (por cada 1000 nacidos vivos)	5.5	13.4	6.6
Causa de muerte por enfermedades no transmisibles⁴(% del total)	83.7	88.3	79.9

Fuente: elaboración propia con base en banco de datos del BM (2019b).

Por tanto, la buena salud es resultado de varios factores, no solamente del crecimiento económico sostenido y la inversión. Además de lo anterior, se debe garantizar empleo, alimentación, acceso a agua potable, vivienda y equidad en el servicio. Por ejemplo, el PNUD (2019) señala que 400 millones de personas no tienen acceso a servicios de salud básicos y el 40% de habitantes en el mundo carecen de protección social. Por su parte, el Banco Interamericano para el Desarrollo (BID, 2019a: 4) asegura que “los hogares más pobres enfrentan una doble desventaja: están más expuestos a factores de riesgo por las condiciones adversas de vivienda, agua y saneamiento y una alimentación inadecuada, y, por otro lado, tienen menor acceso a los servicios de salud”.

Los países utilizan distintas estrategias para mejorar sus indicadores de salud: esferas políticas para prevenir y atender, cobertura universal de servicios en salud, financiamiento directo a programas de cobertura médica y, desde luego, investigación y desarrollo (I+D) en áreas de entrega de fármacos, diagnóstico y tratamiento, por citar ejemplos. En este contexto, el uso de la ciencia y la tecnología (CyT) puede proporcionar herramientas para palear algunos problemas vinculados con la salud. Actualmente, el avance científico y tecnológico permite generar nuevas formas de tratar enfermedades y prevenir su manifestación; no obstante, como se ha dicho anteriormente, el goce de buena salud y el tratamiento de las

³ Gastos privados vigentes en salud per cápita expresados en dólares estadounidenses actuales.

⁴ La causa de muerte se refiere a la proporción de todas las muertes de todas las edades por causas subyacentes. Las enfermedades no transmisibles incluyen cáncer, diabetes mellitus, enfermedades cardiovasculares, enfermedades digestivas, enfermedades de la piel, enfermedades musculoesqueléticas y anomalías congénitas.

enfermedades van más allá de lo técnico, ya que hay aspectos sociales y económicos que inciden en el impacto de los nuevos avances en el área.

Las nuevas tecnologías influyen en todos los ámbitos relacionados con la prevención, diagnóstico y tratamiento de enfermedades. La biotecnología, por ejemplo, -definida como “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de los mismos, para alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimientos, bienes o servicios” (Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos [OCDE], 2005: 9)- tiene la capacidad de atender diversos problemas sociales. Algunos autores (Casas *et al.*, 1992; Correa, 1989) señalan que los países la incorporan a su matriz productiva con el interés de fomentar el progreso económico y social derivado de la diversificación de sus aplicaciones y beneficios en distintos sectores, incluyendo el de la salud.

El aporte de la biotecnología en la salud abarca distintos rubros: diagnóstico, prevención y tratamiento mediante la creación de proteínas terapéuticas, pruebas de diagnóstico y vigilancia; vacunas, medicina molecular y genómica; y biofármacos. Algunas de estas aplicaciones pueden ayudar, sin embargo, no se puede dejar de lado el debate que existe sobre los posibles efectos negativos de algunas aplicaciones. Véase el caso de la liberación de mosquitos⁵ genéticamente modificados en Brasil para tratar de controlar enfermedades como zika, dengue y fiebre amarilla. La intención era disminuir la población de mosquitos, sin embargo, partes de la alteración genética migraron a la población de insectos locales. Los efectos adversos tanto sanitarios como ambientales de esto aún se debaten (Forbes, 2019).

Otro caso que está en el centro de la discusión tiene que ver con el uso y consumo de alimentos genéticamente modificados. La OMS (2014a) reconoce que la discusión sobre efectos ambientales y a la salud que pueden causar aún está vigente y menciona algunos temas destacados: la transferencia de genes de resistencia a antibióticos de estos alimentos a las personas, la migración de genes modificados a cultivos locales y la reducción de poblaciones silvestres y como consecuencia la pérdida de biodiversidad, entre otros.

⁵ “Esos mosquitos macho contienen dos genes de la mutación genética OX513A, que provocan que no puedan tener crías que sobrevivan. Sus crías, llamadas F1, morirían antes de llegar a la etapa adulta” (Forbes, 2019: 1)

La biotecnología en sí misma no es una bala de plata, como se creía en los años ochenta, que resolverá todos los problemas relacionados con la salud. En este proyecto se concibe que algunas aplicaciones biotecnológicas pueden o no contribuir a mitigar a los problemas sanitarios, pero para que esto suceda es necesario un acompañamiento de políticas públicas que aseguren que los avances lleguen a quien lo necesita; y, además, que las agendas de investigación se orienten a atender problemas de prioridad nacional. En este mismo sentido, el Grupo ETC (2003: 4) señala que:

Lo que nos lleva a otra verdad a medias: que “la ciencia sirve a la humanidad”. Por sí solas, las nuevas tecnologías nunca son una solución a viejas injusticias. Mientras no haya sistemas políticos justos y equitativos, la ciencia es presionada a realizar actividades que exacerbaban los problemas fundamentales, en vez de resolverlos. Si las poderosas nuevas tecnologías quedan en manos de quienes se han beneficiado de la inequidad (y la han perpetuado), la brecha entre ricos y pobres será más grande. Es altamente irresponsable contemplar cambios tecnológicos masivos sin antes realizar verdaderos cambios sociales positivos.

La biotecnología se sujeta a estos procesos de inequidad y desigualdad, lo cual afecta regiones y países, con especial incidencia en los menos desarrollados. La histórica dependencia tecnológica tiene mucho que ver, pues el progreso científico-tecnológico toma normalmente lugar en los países centrales o en las instituciones a la vanguardia de la innovación. En este contexto, las agendas de investigación biotecnológicas responden a las necesidades sociales y productivas de los centros industrializados del mundo. Al respecto, Bisang *et al.* (2009: 61) señalan lo siguiente:

El grueso de los desarrollos biotecnológicos tuvo y tiene lugar en un conjunto acotado de centros de investigación y empresas de gran porte ubicados en los países centrales; si bien pueden identificarse contribuciones -tanto científicas como tecnológicas- provenientes de los países de la región, las mismas se insertan en proyectos y redes cuyos nodos residen en las economías desarrolladas.

En este sentido, el progreso de la investigación en países subdesarrollados, como México, se encuentra en un proceso de maduración, lo que hace indispensable buscar estrategias que permitan disminuir las brechas entre naciones.

Es apremiante que los países periféricos o subdesarrollados articulen esfuerzos en beneficio de las mayorías y en concordancia con las prioridades nacionales, pues no basta

con el aumento de los fondos destinados a la investigación. Asimismo, es indispensable la creación de sinergias y diagnósticos regionales que establezcan temas de prioridad nacional. Aunado a ello, Vessuri, Cruces, Ribeiro, y Ramírez (2008: 14) señalan que para aprovechar de la mejor manera las nuevas tecnologías es necesaria la coordinación entre diversos actores para desarrollar instrumentos adecuados de regulación y monitoreo orientados a asegurar la protección de la población y de la naturaleza.

En la actualidad, se observa una orientación de la biotecnología en salud hacia las necesidades del mercado de alto poder adquisitivo que deja de lado medicamentos, tratamientos y/o vacunas de la población más vulnerable -es decir, los que no pueden pagar por ellos-. Por ejemplo, miles de personas mueren por enfermedades que pudieron prevenirse con la inmunización, pero no consiguieron costearla o acceder a ella; al respecto, la UNICEF (2002) advierte que desde 1990 la producción de vacunas básicas para la inmunización de niños y niñas de países pobres disminuyó considerablemente. Una de las principales causas fue la creación de vacunas más avanzadas, costosas y rentables para las empresas fabricantes.

Los fabricantes de vacunas comenzaron a reducir gradualmente la producción de las vacunas tradicionales más económicas que se emplean en los países en desarrollo. Entre 1998 y 2001, 10 de las 14 firmas fabricantes interrumpieron parcial o totalmente la producción de las vacunas tradicionales. Ocho de esas compañías eran las principales abastecedoras de vacunas del UNICEF. Seis de esas ocho estuvieron involucradas en fusiones con empresas farmacéuticas más poderosas. También se han producido aumentos de los precios de las vacunas. Entre 2000 y 2001, por ejemplo, el costo de la vacuna DTP [Difteria, Tétanos y Tos ferina] sufrió un incremento del 15%; el de la BCG [Tuberculosis] del 27%; el de la vacuna contra el sarampión del 10%; y el de la tuberculosis del 23%. Y se calcula que los precios de esas vacunas seguirán aumentando (UNICEF, 2002: 2).

El modelo de desarrollo que se impulsa desde el Estado tiene mucho que ver en la definición de prioridades y articulación con las necesidades sociales. En términos de organización de la economía política del desarrollo, experiencias recientes indican que es indispensable la intervención pro-activa del Estado en cuanto a la articulación de las cadenas de valor; es decir de diseño, producción, comercialización y desecho de un producto (Henderson et al., 2002, Gereffi, Humphrey y Sturgeon, 2005, Yeung, 2014).

El objetivo sería coordinar verticalmente la investigación y desarrollo (I+D) con la producción, a la vez que estas se empatan con las prioridades de desarrollo del país. En este sentido, México ha tenido una trayectoria descoordinada, especialmente en los últimos 30 años, producto de una política con orientación exclusiva al mercado. Laurell (2015) asegura que estas políticas han tenido consecuencias sociales severas como resultado de la polarización de la riqueza; salarios decrecientes o estancados; surgimiento y paulatino incremento de actividades informales y precarias o trabajos criminales; migración nacional e internacional; y como resultado, altos niveles de pobreza. Al respecto el CONEVAL (2018) señala que entre 2008 y 2016 la pobreza aumentó en 3.9 millones de personas, el poder adquisitivo se redujo 10.6 % entre 2005 y 2017; la desigualdad en la distribución del ingreso se mantiene elevada y no se observan factores económicos, como una mejora en la productividad.

Asimismo, la política de orientación al mercado también tuvo efectos en el sistema mexicano de salud, por ejemplo, se disminuyó el gasto público provocando un proceso de deterioro de las instituciones en términos de infraestructura adecuada y suficiente, y también, en el ámbito laboral, ya que el personal generalmente está empleado por contratos temporales que no ofrecen seguridad social. A la par, se realizaron reformas a para establecer un sistema de servicios restrictivos que excluye enfermedades comunes de alto costo, lo cual favorece a las corporaciones que ofrecen servicios de salud privados y perjudica de forma directa a la población vulnerable que no tiene la capacidad de costear los tratamientos (Laurell, 2007). *Grosso modo*, el CONEVAL (2018) asegura que la organización del sector salud es fragmentada y que se ofrece una protección incompleta y desigual, lo cual limita la continuidad en la atención. A diferencia de México, en los países con índices de salud destacados, Canadá (Deber, 2003), Noruega, Finlandia y Suecia (Holm, Liss y Norheim, 1999), la salud y los sectores convergentes (farmacéutica, laboratorios, servicios de diagnóstico, biotecnología) no se subordinan exclusivamente a las oscilaciones del mercado.

La biotecnología en México se ha desarrollado en este contexto y en varios momentos no ha escapado a la lógica del libre mercado. Existen atenuantes que limitan el beneficio de la biotecnología en salud, por ejemplo, la concentración y apropiación del conocimiento en manos de pocas empresas, generalmente trasnacionales. PROMÉXICO (2016) señala ocho empresas de biotecnología roja que controlan el área de la salud a nivel mundial y que cuentan

con operaciones en México, a saber: Pfizer Inc., Hoffman-La Roche Ltd., Merck y Co. Inc., Astra Zeneca PLC, Boehringer Ingelheim GmbH, Teva Pharmaceutical Industries, Amgen Inc., y Baxter International Inc. Se identifican solamente tres de origen mexicano que tratan de competir con las multinacionales: Instituto Bioclón, Landsteiner Scientific y Probiomed. En conjunto, estas son las que dirigen y controlan las líneas de investigación, las patentes y la creación de productos en el área de salud en el país.

Otro ejemplo tiene que ver con la incapacidad de aprovechar las capacidades científicas y tecnológicas que surgen en las universidades y centros públicos de investigación; situación que es aprovechada por las empresas. En general, dichas instituciones cuentan con personal altamente calificado que genera conocimientos biotecnológicos, los cuales son utilizados posteriormente por empresas privadas, a pesar de que las investigaciones y la formación de los científicos y académicos se financiaron con dinero público. Tómese el ejemplo de la Facultad de Medicina de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) que recientemente anunció un convenio de colaboración con la Asociación Mexicana de Laboratorios Farmacéuticos A.C. (AMELAF), con el que pretenden crear nuevos fármacos, impartir cursos, publicar conjuntamente y patentar; esto presenta como fortaleza la capacidad del personal altamente calificado de la facultad, quienes transferirán conocimientos a las empresas para su posterior explotación económica y comercial, además, en dicho documento existe una cláusula de confidencialidad que obliga a las partes a mantener los datos e información en reserva (UNAM, 2019).

En tal sentido, a pesar de que existen avances en la biotecnología mexicana, la vinculación de los centros de investigación y las universidades está en ciernes; por ello es necesario crear y mejorar la infraestructura (primaria e insuficiente en la actualidad), así como regular las investigaciones financiadas con dinero público para que los resultados se orienten en primera instancia a la resolución de problemas sociales, y finalmente generar mecanismos que controlen los avances del área y se dirijan a beneficiar a la población y no a empresas privadas, como ha sido el caso de las paraestatales.

Esta tesis se ubica en el estudio de la CyT desde la esfera social; trata de ampliar la mirada de los estudios del desarrollo a temas estratégicos y que se consideran centrales a nivel nacional e internacional. Además, se estudia la biotecnología dedicada a la mejora de

la salud, en específico a la creación de vacunas.⁶ El análisis de este tema genera una oportunidad para ampliar la discusión existente desde una mirada diferente, que cuestiona su forma de conducción debido a que hay pocos estudios en las ciencias sociales que examinen su progreso y sus implicaciones para el desarrollo.

Preguntas de investigación

1. ¿De qué forma se vincula la investigación pública y el patentamiento de vacunas biotecnológicas con el desarrollo social?
2. ¿Cómo han incidido las políticas orientadas al mercado sobre las agendas de investigación pública y el patentamiento de vacunas biotecnológicas en México?
3. ¿Cuáles son las capacidades científicas y tecnológicas que tiene México y cómo se relacionan con el desarrollo de vacunas biotecnológicas?

Objetivos

1. Determinar hasta qué punto la investigación pública y el patentamiento de vacunas biotecnológicas en México se articulan con los objetivos de la política económica implementada en el país, especialmente en los últimos veinte años.
2. Analizar el papel de política de México en el progreso de la investigación pública y patentamiento del área.
3. Describir las capacidades científicas y tecnológicas que intervienen en el desarrollo de vacunas biotecnológicas en el país.
4. Identificar en qué medida las agendas de investigación sobre vacunas biotecnológicas del país contribuyen a disminuir los problemas sanitarios de las mayorías.

⁶ Se eligieron las vacunas debido a que son uno de los insumos más importantes para los sistemas de salud, tan es así que existe un cuadro básico que obligatoriamente se debe adquirir para cubrir las necesidades de salud de población. Otro motivo de elección está relacionado con el acceso que tiene el sistema de salud público mexicano a otros productos biotecnológicos, es decir, no se tiene la capacidad de financiarlos, por lo tanto, no se podrán analizar para el caso de este país.

Hipótesis

En México, la investigación pública en biotecnología puede coadyuvar al desarrollo mejorando el bienestar de la población, sin embargo, este objetivo se ha visto limitado por varias causas, entre ellas: i) el Estado no define la trayectoria de esta tecnología, ii) no se precisan los sectores estratégicos que deben impulsarse ni se unifican con las prioridades de desarrollo social, iii) no hay una orientación vertical que permita la articulación entre los actores que forman parte de la cadena de valor, iv) los esfuerzos no se dirigen a la vinculación entre la I+D, el patentamiento, la producción y la comercialización; y, v) el conocimiento patentado se concentra en manos de pocas empresas transnacionales, lo que incrementa la dependencia tecnológica y les permite controlar el precio de los productos. Todo esto abre espacio para que, por un lado, la industria dirija el progreso de la biotecnología a sectores que no necesariamente atienden las necesidades del país; y por otro, a que las capacidades científico-tecnológicas existentes no se aprovechen para colocar al país como líder en el área. Esto implica que la investigación pierda su función de propulsar el desarrollo social.

Explicación

La investigación pública sobre vacunas biotecnológicas es un instrumento indispensable para los sistemas de salud al adquirir una función social de relevancia; asimismo, es un recurso para lograr el desarrollo económico. Por ello es deseable que el Estado actúe como coordinador de la trayectoria tecnológica y dé prioridad a la investigación en vacunas biotecnológicas como área estratégica y la empate con los objetivos de desarrollo del país; para ello es necesario que dirija y controle el proceso de innovación, es decir, que articule todas las fases de la cadena de valor -la I+D, el patentado, la producción y la comercialización- con la intención crear una plataforma científico-tecnológica que atienda las necesidades y emergencias sanitarias del país.

Contribución

En cuanto al estudio del papel de la biotecnología dedicada a salud en México, la revisión de la literatura permitió observar que hay autores, cuerpos académicos y grupos de investigación que cuentan con una trayectoria amplia en el estudio, análisis y sistematización información sobre biotecnología en distintas áreas (como la agrícola, ambiental y farmacéutica); sin embargo, la rápida evolución de la tecnología y sus múltiples aplicaciones abren una ventana de oportunidad para que este proyecto se inserte en la discusión desde la mirada de los estudios del desarrollo. Además, este estudio cobra relevancia debido a la importancia actual de vacunas en todo el mundo.

Considerando lo anterior, se busca develar la relevancia de la biotecnología orientada a salud respecto del desarrollo en México, incluyendo variables sociales, políticas y económicas. Se identificarán las capacidades científicas y tecnológicas con las que se cuenta en país y se analizará si permiten atender las necesidades de la población; además, se pretende entender si estas obedecen a las líneas establecidas por las grandes corporaciones o por otro tipo de agentes hegemónicos.

Estrategia metodológica

El propósito de esta tesis es analizar el papel de la investigación pública y el patentamiento de la biotecnología dedicada a la salud humana, específicamente al caso de vacunas, en el desarrollo. Para la comprobación de la hipótesis se implementó una estrategia metodológica mixta, con énfasis en lo cuantitativo. Este trabajo es un estudio explicativo, no experimental y transversal, siendo la unidad de análisis el funcionamiento y los participantes de la investigación pública.

Cabe señalar que el presente proyecto está ubicado en el análisis histórico-estructural de las relaciones económicas, sociales, políticas y jurídicas en torno del papel que juegan el Estado, las instituciones y las políticas públicas en el progreso científico-tecnológico, en especial, la situación que prevalece en el país respecto de la creación de vacunas biotecnológicas.

La fase cuantitativa de la investigación contiene el análisis de estadísticas y bases de datos de secretarías y organismos nacionales e internacionales acreditados. Se revisaron los fondos y programas de financiamiento, laboratorios, centros públicos de investigación y

redes temáticas del CONACYT; se realizó un análisis bibliométrico en la Web of Science (WoS) y se identificaron las solicitudes de patente registradas en México ante la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (OMPI). Mientras que la fase cualitativa se centra la búsqueda y análisis de fuentes secundarias de información para enriquecer la parte cuantitativa.

El trabajo se hizo en etapas que a su vez se dividen en cuatro momentos:

- I. Se ubicó el objeto de estudio dentro de los estudios del desarrollo mediante la revisión de literatura sobre biotecnología, salud y desarrollo. A la par se realizó una exploración de las principales normas y leyes nacionales e internacionales que rigen el progreso del área.
- II. Se efectuó una revisión de literatura técnica sobre el funcionamiento de las vacunas biotecnológicas y se identificó su surgimiento en México.
- III. Se realizó el análisis de los programas o fondos con financiamiento público dedicados a impulsar la investigación pública en el país.
- IV. Finalmente, se hizo el mapeo de las capacidades científico-tecnológicas que hay en México relacionadas con vacunas biotecnológicas. Esta revisión incluyó: programas de educación superior y posgrado, centros públicos de investigación, laboratorios nacionales, redes temáticas de investigación, publicaciones y patentes.

El argumento de la tesis se organiza a partir de cinco capítulos en función de los lineamientos y objetivos que trazamos. En el primero se abordan los elementos teóricos y conceptuales que guiarán este estudio, mostrando las diferentes formas de apreciar las relaciones salud-capitalismo y salud-desarrollo. En el segundo se tratan aspectos generales del progreso de la biotecnología y las aplicaciones que se desprenden de ella; se presta atención a la evolución de la biotecnología tradicional a la moderna y en la importancia que esta última ha traído al ámbito de la salud. En el tercero se revisa el marco normativo internacional y nacional que rige el uso de esta tecnología, prestando especial atención en los derechos de propiedad intelectual y la plataforma mexicana de CyT. En el cuarto se explican aspectos técnicos de las vacunas, así como la historia del sistema de vacunación en el mundo y en México; se hace énfasis en el caso de Biológicos y Reactivos de México (Birmex), empresa con propiedad mayoritaria del Estado encargada garantizar la soberanía del país en la producción de biológicos; y posteriormente se discuten los problemas éticos, ideológicos, clínicos y

económicos que rodean a las vacunas. Finalmente, en el quinto se realiza un mapeo de las capacidades científico-tecnológicas para mostrar la situación que prevalece en México en torno de la investigación y patentamiento de vacunas biotecnológicas; para ello se analizaron programas de impulso a la investigación con financiamiento público; se contabilizaron las universidades, centros de investigación y laboratorios nacionales; y se identificaron los investigadores, las redes de investigación y los cuerpos académicos, así como las publicaciones realizadas en la WoS y las solicitudes de patentes para México registradas ante la OMPI.

Capítulo I. Salud, ciencia y tecnología en desarrollo en el capitalismo

El objetivo de este capítulo es exponer que la forma en que la salud se integra como un elemento indispensable para el desarrollo del capitalismo se da, al menos, de dos formas: la primera, al convertirse en un elemento nodal para la conservación y reproducción de la fuerza de trabajo; y la segunda, al transformarla en un nicho de mercado donde el consumo de medicamentos y vacunas se convierte en la principal forma de obtención de ganancias. Posteriormente, se abordan las visiones que existen sobre las causas del proceso salud-enfermedad, considerando que existe un sesgo al olvidar que la expansión del capitalismo influye directamente en el perfil epidemiológico de la población. Más adelante se examinan las distintas formas de relacionar la salud con el desarrollo, poniendo atención en que la concepción hegemónica la considerar elemento indispensable para el crecimiento económico, abonando a la necesidad de dotar al capital de trabajadores sanos y productivos. Finalmente, se muestra el marco conceptual que guiará esta investigación.

Salud

1.1. La salud en el capitalismo

Desde su instauración, el capitalismo ha definido la forma de organización económica, política y social en el mundo. Foladori y Melazzi (2016) señalan que entre los siglos XV y XVIII la expansión de la producción mercantil sentó las bases para el desarrollo del capitalismo. En este periodo la acumulación de excedentes se generalizó (resultado del desarrollo de avances técnicos y el incremento de la productividad del trabajo) y la producción ya no solo se orientó a la satisfacción de las necesidades familiares, sino que permitió realizar intercambios en el mercado.

Posteriormente, la producción mercantil no incluyó únicamente los productos del trabajo humano, sino la misma fuerza de trabajo. Las condiciones necesarias para la consolidación de este modo de producción fueron: la configuración de formas independientes -dejando de estar supeditados a las demandas de los señores feudales-; el surgimiento de

trabajadores asalariados y empresarios; y finalmente la concentración de recursos por parte de los dueños del capital. En este sentido, el capitalismo se cristalizó con el surgimiento de la Revolución Industrial en el XVIII.

Durante un largo proceso se creó una masa de trabajadores desocupados que no tuvieron los medios necesarios para subsistir de forma independiente, y se vieron obligados a emplearse en las manufacturas a cambio de un salario; para ello, las políticas de Estado jugaron un papel importante al respaldar y defender la acumulación de la clase capitalista (Foladori y Melazzi, 2016).

La propiedad privada de los medios de producción y el surgimiento de la burguesía, y de una masa de trabajadores que únicamente disponía de su fuerza de trabajo para sobrevivir, permitió la configuración de una marcada división de clases sociales, citando a Marx y Engels (1989 [1848]: 1) *“la sociedad tiende a separarse, cada vez más abiertamente, en dos grandes campos enemigos, en dos grandes clases antagónicas: la burguesía y el proletariado”* (las cursivas son de los autores).

La burguesía despojó de su halo de santidad a todo lo que antes se tenía por venerable y digno de piadoso acontecimiento. Convirtió en sus servidores asalariados al médico, al jurista, al poeta, al sacerdote, al hombre de ciencia (Marx y Engels, 1989 [1848]: 3)

La obtención de ganancias y la acumulación⁷ han sido el objetivo central del sistema capitalista en todas las fases de su desarrollo, siendo la explotación del trabajador el principal mecanismo para lograrlo. Los capitalistas establecían largas jornadas laborales, condiciones deplorables de trabajo y salarios bajos; aunado a ello, las mujeres y niños se incorporaron a la producción como fuerza de trabajo con un pago menor que el de los varones. Por ejemplo, Valencia (2007) señala que recién instalado el capitalismo se instituyeron jornadas de trabajo diarias de entre 18 y 20 horas para adultos y de 14 horas para niños (había niños de 6 años incorporados a la fuerza de trabajo).

⁷“La acumulación de capital es el proceso de desarrollo del capitalismo...Nos encontramos con desarrollos históricos, con innovaciones tecnológicas, con determinadas relaciones sociales, con necesidades del capital que obligan a utilizar recursos específicos para incrementar la ganancia, con una globalidad de fenómenos que muestran un proceso histórico concreto, una lógica implacable y consecuencias en ámbitos económicos y en nuestra calidad de vida” (Foladori y Melazzi, 2016: 145).

La baja remuneración era una constante, incluso había trabajadores que recibían de pago una comida al día. Las condiciones de trabajo eran inhumanas (poca ventilación, aire enrarecido, temperaturas insoportables, exposición a riesgos y accidentes de trabajo, posturas que causaban lesiones, etcétera) y sus viviendas eran una réplica de su situación en el trabajo.

El proletariado, esa clase obrera moderna que sólo puede vivir encontrando trabajo y que sólo encuentra trabajo en la medida en que este alimenta a incremento el capital. El obrero, obligado a venderse a trozos, es una mercancía como otra cualquiera, sujeta, por tanto, a todos los cambios y modalidades de la concurrencia, a todas las fluctuaciones del mercado... La extensión de la maquinaria y la división del trabajo quitan a este, en el régimen proletario actual, todo carácter autónomo, toda libre iniciativa y todo encanto para el obrero. El trabajador se convierte en un simple resorte de la máquina, del que sólo se exige una operación mecánica, monótona, de fácil aprendizaje. Por eso, los gastos que supone un obrero se reducen, sobre poco más o menos, al mínimo de lo que necesita para vivir y para perpetuar su raza. Y ya se sabe que el precio de una mercancía, y como una de tantas el trabajo, equivale a su coste de producción (Marx y Engels, 1989 [1848]: 6).

La precarización de la forma de vida de la clase obrera poco a poco se convirtió en un problema para el capitalista. El desgaste de la salud y la deficiente alimentación de los trabajadores disminuyeron su productividad.

La enorme productividad trae como consecuencia que el valor de la fuerza de trabajo disminuye desproporcionadamente, creando la aparente paradoja o, mejor, agravándola; de que el hombre, con dominio sobre la naturaleza, con gran capacidad de producción, en vez de producir bienestar, lo que crea son desigualdades sociales más profundas, y mientras en la cúpula hay exceso de todo, los sectores populares sufren todo tipo de privaciones, incluyendo la inanición (Valencia, 2007: 18).

Conforme la desigualdad social se extendió, se plantearon estrategias para disminuir los problemas sociales que de ella se desprendían; fue entonces cuando la necesidad de mejorar las condiciones de vida de los trabajadores cobró importancia. Por un lado, los trabajadores demandaban mayor salario, mejores condiciones laborales y de seguridad, entre otras cosas; por otro lado, el capitalista requería trabajadores sanos que no mermaran su productividad y, por tanto, sus ganancias.

En este sentido, el Estado se convirtió en un aliado del capital; según Castro (2009: 8), fue una herramienta fundamental en la gestión de la población y un recurso decisivo para la incorporación de los cuerpos en el orden productivo del capitalismo. De esta manera, se adquiere la responsabilidad de cubrir las necesidades más apremiantes de la población como transporte, educación, salud y vivienda para mantener el orden social y asegurar el funcionamiento del sistema económico.

El manejo del Estado continúa orientado a proveer las condiciones que requiere el capital para reproducirse. Esa entidad no se desliza hacia un autodesarrollo desconectado del poder burgués. La alta burocracia desenvuelve su propio sendero, pero mediante una relación privilegiada con los dueños de las tierras, las empresas y los bancos (Katz, 2011: 258).

En este contexto, la salud se convirtió en un elemento nodal para la conservación y reproducción de la fuerza de trabajo, puesto que, como señala Foucault (1977), en el capitalismo se concibe el problema de la salud con la finalidad de garantizar la existencia de la fuerza de trabajo necesaria para su progreso.

Otro proceso que llama la atención tiene que ver con la mercantilización generalizada de la medicina, que ocurrió durante la expansión de los antibióticos en la Segunda Guerra Mundial (SGM) como resultado de la necesidad de curar enfermedades durante el conflicto bélico. Al respecto, Del Valle (2014) señala que en este periodo comenzó a utilizarse de forma masiva de la penicilina. Estos sucesos dieron gran impulso a la industria farmacéutica, pero fue hasta finales del siglo XIX cuando la medicina se convirtió en una mercancía, cuando los individuos tuvieron los medios y autonomía para comprarla.

Páez (2011) explica que la industria farmacéutica siempre ha estado sometida a las leyes de mercado, siendo una de las rentables del sistema, por ello, condicionan sus objetivos de investigación a los intereses de ganancia de los accionistas. Este autor además menciona que: “el descubrimiento y el desarrollo de nuevos medicamentos por la IF están obligados a servir no solo a intereses científicos o médicos, sino también a la eficiencia económica” (Páez, 2011: 238).

En este tenor, la industria farmacéutica ha empleado distintas acciones para asegurar la obtención de ganancias, como la creación de grupos de presión para que los gobiernos compren medicamentos, fármacos y vacunas; la instauración de mercados cautivos; y la más importante: la creación de un monopolio a partir de las patentes, más aún, con la ampliación

de su tiempo de duración de estas a 20 años, acción promovida por Estados Unidos y otros países industrializados. Aunado a esto, los tratados de libre comercio (APDIC Plus) tienen mayores consideraciones respecto de las industrias que son intensivas en el uso de propiedad industrial, entre ellas la IF.

Además, se pueden vislumbrar procedimientos llamativos utilizados por la IF para asegurar la obtención de ganancias, aun evadiendo reglamentaciones, los cuales están relacionados con el incremento en el consumo de medicamentos, convirtiendo la salud en un bien de consumo. Al respecto, Ugalde y Homedes (2009: 306) aseguran que:

El aumento en el consumo de medicamentos se debe al crecimiento de la población, la detección temprana de las enfermedades crónicas, el alargamiento de la vida, las innovaciones terapéuticas, el crecimiento económico, la aparición de enfermedades nuevas y la medicalización de procesos fisiológicos normales.

El primer procedimiento tiene que ver con añadir un compuesto supuestamente novedoso a un producto que ya es utilizado con la promesa de que traerá mejores beneficios. Sobre esto Ugalde y Homedes (2009:313) apuntan:

la competencia ha forzado a la industria farmacéutica a utilizar una parte importante de sus fondos de I&D en la producción de me-toos⁸, medicamentos de grandes ventas para ganar una parte del mercado del medicamento original...La conducta de las empresas innovadoras cuando aparece un medicamento de grandes ventas, es desarrollar lo antes posible métodos para captar una parte del enorme mercado, lo que merma los ingresos del laboratorio innovador. En algunos casos los métodos presentan ventajas sobre los productos originales (por ejemplo pueden ser más fáciles de utilizar o de administrar) pero no siempre es este el caso. Son pocas las diferencias entre las diferentes estatinas que están disponibles en el mercado: Mevacor, Lipitor, Zocor, Pravachol, Lescol y Crestor.

La segunda acción tiene que ver con la comercialización anticipada de nuevos productos para acelerar la recuperación de los gastos en I+D y asegurar la obtención de ganancias sin conocer todos los efectos secundarios que pueden llegar a causar, o bien ignorándolos, situación que

⁸ Son medicamentos que no presentan ventajas terapéuticas sobre los medicamentos ya existentes, pero se comercializan a precios elevados en el mercado (Tobar, Drake y Martich, 2012: 461).

está relacionada principalmente con problemas de calidad y eficiencia de algunos ensayos clínicos.

Ugalde y Homedes, (2011) mencionan que algunos de estos problemas son: limitaciones de la investigación en humanos, errores voluntarios o involuntarios que no son reportados, efectos no reportados por los participantes, falsificaciones de datos clínicos, pacientes inventados, equipos de diagnóstico en malas condiciones, reclutamiento de pacientes ignorando los criterios de exclusión, manipulación de datos exagerado beneficios terapéuticos y minimizando la gravedad de los efectos secundarios, por mencionar algunos. Por ejemplo, algunos autores (Jara, 2007, Ugalde y Homedes, 2009) aluden el caso de Vioxx, un antiinflamatorio creado por la compañía Merck, retirado del mercado en 2004 por incrementar el riesgo de problemas cardiovasculares que podían resultar mortales, información que fue ocultada por la compañía. Otro caso es la solicitud de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los EE. UU. (FDA, 2020) de retirar del mercado todos los productos hechos a base de ranitidina, dado que una reciente investigación demostró que contiene una impureza cancerígena (N-nitrosodimetilamina) que se incrementa con el paso tiempo y al exponerse a fluctuaciones de la temperatura.

Por otro lado, en distintos países se ha observado un incremento en la esperanza de vida de su población, lo cual se atribuye a avances médicos importantes. Sin embargo, el uso constante de la medicina también ha estado acompañado de un incremento considerable de la dependencia a los sistemas de salud, sus agentes y tratamientos (Morell, Martínez, y Quintana, 2009). Se ha observado la progresiva medicalización⁹ de la vida, en la que algunos fenómenos biológicos normales se empezaron a tratar como padecimientos, incrementado el uso de medicamentos, fármacos y/o vitamínicos, siendo que se pueden curar o tratar con un cambio en el estilo de vida de la población.

En este contexto, se puede ubicar el tercer procedimiento usado por la IF para incrementar sus ganancias, el cual tiene que ver con la identificación de estos fenómenos biológicos y la promoción del desarrollo y uso de distintos productos, es decir, “cuando no

⁹ “*La medicalización*, es decir, el hecho de que la existencia, la conducta, el comportamiento, el cuerpo humano, se incorporaran a partir del siglo XVIII en una red de medicalización cada vez más densa y amplia, que cuanto más funciona menos se escapa a la medicina” [cursivas del autor] (Foucault, 1977: 4), o también se puede definir como: “la conversión en procesos patológicos de situaciones que son y han sido siempre completamente normales y el pretender resolver mediante la medicina situaciones que no son médicas sino sociales, profesionales o de las relaciones interpersonales (Orueta Sánchez *et al.*, 2011: 151).

encuentran nuevos mercados, los inventan. "Crean" dolencias, colocando nuevos títulos a situaciones que no demandaban tratamiento con fármacos" (Ribeiro, 2009), convirtiendo la salud en un bien de consumo que está sometido a criterios sociales, políticos y económicos. Este es el caso de la venta de sucedáneos de la leche materna, ligados a la búsqueda de nichos de mercados para incrementar las ganancias más que la promoción de la salud (Vallone, 2009).

Cabe señalar que este proceso de medicalización se lleva cabo mediante campañas de mercadeo o convenios con hospitales y médicos; esto facilita que los pacientes acepten el uso de los productos. Al respecto, Feo Acevedo y Feo Istúriz (2013: 91) señalan que el papel de los medios no se reduce "a la promoción de productos farmacéuticos, sino que actúan para crear matrices de opinión que favorecen la introducción de un determinado medicamento o la promoción de una determinada enfermedad".

De tal manera, se puede notar que a pesar de los cambios económicos, políticos y sociales que se producen en el seno del capitalismo, la salud se ha constituido de una forma u otra en un elemento indispensable para asegurar que las farmacéuticas y los sistemas de salud obtengan ganancias.

1.1.1. Capitalismo y enfermedad

La medicina química o científica¹⁰ se concibió como una herramienta para el sistema capitalista y para asegurar trabajadores sanos y productivos que tuvieran la capacidad física de cumplir con las jornadas laborales, es decir, "era preciso apoderarse del cuerpo en función de la fuerza de trabajo y, dentro de dicha operación compleja, la medicina constituyó un instrumento privilegiado" (Castro, 2009: 16). Con su nacimiento comenzó a argumentarse que las enfermedades tienen un agente biológico causante, propiciando el desarrollo de la concepción biológica del proceso salud-enfermedad (Valencia, 2007), la cual pierde de vista que hay otras causas de enfermedad creadas por el desarrollo y expansión del sistema

¹⁰ "El conocimiento científico sirve para demostrar sin sombra de duda, por primera vez en la historia de la humanidad, que hay una enfermedad, la tuberculosis, que es causada por un agente: el bacilo de la tuberculosis (conocido comúnmente como bacilo de Koch). Este es el inicio de la llamada medicina científica, que puede demostrar en el laboratorio la existencia del agente de la enfermedad" (Valencia G, 2007: 14).

capitalista, como las condiciones de trabajo inhumanas, la contaminación del agua, aire y suelo, el tipo de alimentación y el uso de productos químicos, entre otras.

La medicina química o científica predominó sobre la tradicional o alternativa, que tenía siglos de desarrollo, en algunos casos de manera exitosa. Este cambio hizo que los profesionales de la salud se enfocaran en atacar los agentes patógenos para disminuir los padecimientos que cobraban la vida de miles de personas y para ello utilizaron adelantos científico-tecnológicos, tales como vacunas, antibióticos y fármacos. De esta forma se logró tratar, reducir y/o erradicar problemas sanitarios graves. Poco a poco se modificó el perfil epidemiológico en todo el mundo a tal punto que se creyó que la batalla contra enfermedades contagiosas ya estaba ganada.

Este optimismo sobre el control de algunas enfermedades infecciosas resultó en un cambio de objetivos en las agendas de investigación en salud. Lewontin y Levins (1996) señalan como las principales causas de esta transformación: i) la disminución de la mortalidad y erradicación de enfermedades contagiosas y/o infecciosas, ii) el diseño de nuevos instrumentos para combatirlas (pruebas de laboratorio, medicamentos, antibióticos y vacunas), y iii) la idea de que todos los países se estaban desarrollando y, por lo tanto, serían ricos para adquirir la tecnología necesaria para tratarlas.

Con el paso del tiempo, los sistemas de salud en el mundo se enfrentaron a la reaparición de enfermedades y el surgimiento de nuevos padecimientos (no solo enfermedades infecciosas y contagiosas, sino crónico-degenerativas). Esto obedeció a cambios relacionados con la expansión del modo de producción capitalista, la cual se puede agrupar en dos campos de análisis: i) cambios económicos y sociales, como el incremento de la pobreza y la desigualdad; y, ii) los efectos que trae consigo el avance desmedido del sistema productivo.

Sin embargo, la visión clínica o biológica predominante no incorporó como causa del proceso salud-enfermedad los efectos del desarrollo capitalista antes mencionados (la movilidad de la población, el cambio de alimentación, la generalización de los químicos tóxicos en las cosas, el hacinamiento, etcétera); por tanto, fue un error adecuar las agendas

de investigación únicamente a los agentes biológicos. Levins (2000) afirma que esta visión¹¹ es reducida geográfica y temporalmente, pues se analiza a la historia de la salud humana de manera incompleta, dado que no se reconoce que los patrones de enfermedades están en función de los cambios en las relaciones sociales, características de la población, medios de producción, tipo de consumo y relaciones con la naturaleza.

Adicionalmente, Foladori (2003: 34–37) explica que existen otros problemas que no son tomados en consideración cuando se analiza el proceso salud-enfermedad de manera parcial, esto es, considerar únicamente la visión biológica: i) no se reconocen barreras políticas o de países, es decir, la inexistencia de enfermedades infecciosas en países desarrollados no garantiza su inmunidad mientras existan en los países pobres; ii) no se considera que las enfermedades están asociadas con la pobreza y los niveles de desigualdad en la distribución del ingreso; iii) se requiere de un sistema de vigilancia, previsión, y asistencia permanente, pero esto se dejó de lado con el desmantelamiento de los sistemas nacionales de salud; iv) el cambio de los ecosistemas, producto de la expansión de la globalización, produjo sustituciones de enfermedades; y, v) las migraciones y comercio internacional contribuyen al desplazamiento de enfermedades:

Las causas del resurgimiento de las enfermedades infecciosas cuestionan el moderno modo de vida. Cuestionan los efectos de la producción para el mercado, que guiada por la ganancia obliga al monocultivo, al uso de insecticidas y plaguicidas, al desplazamiento de la población rural y su concentración en áreas urbanas, a la concentración del ingreso e incremento de la pobreza. Cuestionan también la trayectoria tecnológica, cuando acelera el movimiento internacional de personas y mercancías, cuando genera cadenas alimenticias propicias al surgimiento de nuevas enfermedades, cuando interviene en la estructura genética creando incertidumbre sobre posibles resultados imprevistos, cuando concentra los esfuerzos curativos en fármacos que curan al individuo al tiempo que crean una sociedad menos inmune y microbios más resistentes (Foladori, 2005: 3).

Hasta ahora se ha enfocado el análisis de estos problemas a las causas del proceso salud-enfermedad, tanto biológicas como las relacionadas a estructuras socio productivas,

¹¹ Según Foladori (2005) este fenómeno puede ser analizado a partir de dos visiones: i) la clínica, que ve la existencia de un microorganismo causante de cada enfermedad y, ii) el enfoque de determinación social que considera a los microorganismos solo como agentes y la falta de desarrollo como la causa última de las enfermedades.

asimismo a las consecuencias de optar por una visión parcial para los sistemas de salud y, por tanto, para la población. Sin embargo, es importante no dejar de lado la función que han tenido los avances científico-tecnológicos en la prevención, erradicación y control de enfermedades en los sistemas de salud.

A finales del siglo XX es cuando surgen las tecnologías emergentes, tales como las ciencias cognitivas, tecnologías de la información y la comunicación, nanotecnología y biotecnología; las últimas tres con contribuciones importantes en el área que atañe a este estudio.

En específico, la biotecnología ha estado presente en la vida cotidiana de las personas desde hace siglos; su uso se remonta aproximadamente 8 000 años a. C.; por ejemplo, el uso de procesos biológicos [levaduras y fermentación] permitían la elaboración de vino, queso, yogurt, pan y otros productos. Con el tiempo, los avances científicos-tecnológicos permitieron que la biotecnología evolucionará de tradicional a moderna. Como señala Bolívar (2001), la biotecnología moderna ya no está ligada de manera exclusiva a la producción de alimentos y bebidas, ahora es una actividad multidisciplinaria que puede resolver problemas científicos y sociales de distintas áreas: agrícola, salud y medioambiental, entre otras. En tal sentido, de tipo moderno se define como: “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de los mismos, para alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimientos, bienes o servicios” (OCDE, 2005: 9).

Interesa resaltar el papel de la biotecnología en salud, ya que proporciona un sinnúmero de productos y servicios que pueden atender los cambios en el perfil epidemiológico mencionado. Una condición necesaria para ello sería que las políticas que dirigen las líneas de investigación considerasen una visión integral de las causas de la emergencia de las nuevas enfermedades y el resurgimiento de otras, asimismo, que sean prioritarias las enfermedades que el grueso de la población pobre padece, lo cual no se ha observado hasta ahora. El rol que la biotecnología tiene en la salud y sus potencialidades representan un reto. Si las políticas dirigidas a impulsar esta tecnología no se fundamentan en promover contextos igualitarios e inclusivos, su uso seguirá perpetuándolos e incluso acrecentándolos:

Ninguna cantidad de intervenciones médicas excelentes será suficiente para que la gente pobre (o sus países) se vuelvan ricos en un futuro si su economía nacional continúa estando estrangulada por deudas, condiciones de comercio injustas y el saqueo de sus recursos naturales. Las intervenciones médicas simplemente les permitirán a los individuos sobrevivir un poco más para poder contribuir con su trabajo al mismo sistema que, en primer lugar, los empobreció. A menos de que se trabaje sobre las condiciones de miseria en los países pobres, continuarán existiendo niveles vergonzosos de enfermedades prevenibles y muertes. Implica un reordenamiento radical de los acuerdos mundiales, incluyendo la redistribución del poder y los recursos (Katz, 2008: 2).

En conclusión, existe un distanciamiento entre el origen de los problemas de salud y las soluciones que se plantean al nivel de las políticas públicas, porque estas obedecen a una visión parcial que no ataca estructuras socio históricas. Tal como señala, Navarro (1998: 54):

Al centrarse en lo «micro», se dejó en un segundo plano lo «macro», es decir, el contexto social, político y económico de la enfermedad. El predominio de la visión biológica en medicina responde a estas coordenadas de poder. Pero hay que hacer hincapié en que la parte más importante en la mejora de la salud de una población es la salud pública, entendida en su sentido más amplio. La salud pública, así definida, no es una rama de la medicina, tal como se concibe en España sino, antes al contrario, la medicina constituye una rama de la salud pública.

Por ello, el impulso de la creación de nuevas herramientas y productos para el cuidado de la salud, entre ellos las vacunas biotecnológicas y biofármacos, debe considerar los cambios epidemiológicos producidos por el funcionamiento del sistema capitalista.

1.2. Salud y desarrollo

Este apartado tiene el objetivo de analizar el papel de la salud en el desarrollo, para ello es importante partir de un examen del desarrollo del sistema capitalista en el siglo XX, tomando como punto de referencia ciertos acontecimientos históricos que impactaron las relaciones

sociales, económicas y políticas a nivel mundial que, como consecuencia, transformaron el orden mundial y, entre otras cosas, permitieron el surgimiento de la idea del desarrollo¹².

El desarrollo emerge como concepto¹³ al concluir la SGM, cuando se planteó la necesidad de reconstruir los daños causados por crisis económicas y conflictos bélicos. Los organismos internacionales, gobiernos y académicos evidenciaron la urgencia de proponer políticas públicas que permitieran a los países acelerar su recuperación económica y social. Según Veltmeyer (2010), se tenía la expectativa de mejorar la vida de la mayoría de la población que estaba sumida en la pobreza, pero el interés por el desarrollo fue aprovechado por formuladores de políticas y funcionarios del Estado estadounidenses para configurar el emergente orden mundial de acuerdo con los intereses geopolíticos que representaban. Esteva (1996) explica que Estados Unidos quería consolidar su hegemonía mediante una campaña política global. El 20 de enero de 1949, el presidente Harry Truman en su toma de posesión mencionó la necesidad de crear un programa encargado de incentivar el desarrollo a través del crecimiento económico de áreas subdesarrolladas.

Al usar por primera vez en este contexto la palabra 'subdesarrollo', Truman cambió el significado de desarrollo y creó el emblema, un eufemismo, empleado desde entonces para aludir de manera discreta o descuidada a la era de la hegemonía norteamericana...Nunca antes una palabra había sido universalmente aceptada el mismo día de su acuñación política. Una nueva percepción, de uno mismo y del otro, quedó establecida de pronto. Doscientos años de construcción social del significado histórico-político del término 'desarrollo' fueron objeto de usurpación exitosa y metamorfosis grotesca...Desde entonces, el desarrollo connota por lo menos una cosa: escapar de una condición indigna llamada subdesarrollo (Esteva, 1996: 36)

A partir de entonces la palabra “desarrollo” figuró en discursos de políticos, académicos y organismos internacionales, aunque no todos coincidían en el objetivo y los medios que permitirían a las naciones acceder a él. Al respecto, Veltmeyer (2010) señala que el pensamiento y la práctica del desarrollo ha cambiado en respuesta a nuevos problemas o

¹² No se pretende agotar la discusión sobre el desarrollo, más bien mostrar el contexto de su surgimiento y describir el papel de la salud en su práctica.

¹³ Las ciencias sociales tomaron la palabra “desarrollo” de la biología para explicar el progreso de las sociedades. Valcárcel (2006) señala que anteriormente se relacionó con conceptos como civilización, evolución, riqueza y crecimiento.

necesidades, por tal razón, se ha interpretado de formas diversas, por ejemplo, algunos lo han relacionado simplemente con el crecimiento económico, mientras otros lo conciben como crecimiento con equidad o redistribución; y en los casos más radicales se han priorizado la equidad y el bienestar.

Como ejemplo de las distintas interpretaciones, se puede citar a Lewis, Baran y Rostow, quienes asocian el desarrollo con el crecimiento económico, olvidando elementos como la equidad, la distribución y el bienestar. Lewis (1957) concibe que el desarrollo está relacionado con un incremento en los volúmenes de capital y de otros recursos, como el crecimiento de la producción por habitante; además, señala que es en buena parte una elección personal. Mientras Baran (1957: 43) menciona lo siguiente: “Permítaseme definir el crecimiento —o desarrollo— económico, como el incremento de la producción per cápita de bienes materiales en el transcurso del tiempo”. Otro ejemplo representativo es Sen (2000a), quien considera que tiene que ver con un proceso de expansión de las libertades de las personas, aunque coloca el crecimiento de los ingresos individuales como medio para ampliar las libertades y no lo pone como el centro. Menciona que tanto los planes socioeconómicos como los derechos civiles y políticos condicionan la ampliación de las libertades. En esta misma línea, el PNUD supone que las elecciones individuales son el motor del desarrollo:

El desarrollo de un país no puede ser entendido desde la perspectiva única del crecimiento económico. El propósito final del desarrollo se encuentra en cada uno de sus habitantes y en las posibilidades que ellos tienen para elegir una vida en la que puedan realizar a plenitud su potencial como seres humanos (PNUD, 2019a: 1).

Finalmente, en el marco de esta investigación se considera que el desarrollo es una construcción histórica relacionada con un cambio de estructuras económicas, políticas y sociales, las cuales han definido por siglos la forma en que se desenvuelven los países, así como un proceso amplio y multidimensional en el cual intervienen diversas esferas (económicas, políticas, ideológicas, culturales, sociales, etcétera), es decir, va más allá del crecimiento económico y su objetivo es brindar elementos indispensables para mejorar la calidad de vida y el bienestar de la población, vía la disminución de las desigualdades.

Ahora bien, un punto de acuerdo entre las diferentes visiones del desarrollo es que la salud es un elemento imprescindible para el cumplimiento de sus objetivos, y es vista como un derecho indisoluble de todos los seres humanos. Por ejemplo, la Organización Mundial

de la Salud [OMS] (2015) señala que todo ser humano tiene como derecho fundamental el máximo grado de salud posible, por lo que es necesario dotarlo de servicios de salud oportunos y de alta calidad. Por su parte, Katz (2008: 3) considera que:

El derecho a la salud, como cualquier otro derecho social y económico, debe ser soportado por un orden internacional justo que incluya sistemas de impuestos redistributivos y progresistas, de modo que los Estados soberanos puedan satisfacer las necesidades básicas de su población, sin intervención extranjera.

A lo largo de la historia se presentan distintas definiciones sobre la salud y las implicaciones de esta en el desarrollo varían, dado que depende del marco analítico en el que se inserta cada una de sus concepciones. En algunos casos se concibe alineada con el desarrollo económico, el crecimiento, la productividad y la mejora de indicadores; y en otros, con la justicia social que busca la mejora en la calidad de vida de los individuos en un sentido amplio, incluso emancipatorio.

Por ejemplo, Sen (2000) afirma que el desarrollo debe estar orientado a ampliar las capacidades de las personas, al mejoramiento de la vida y las libertades, siendo la salud una de las más importantes; asimismo, reconoce que la prosperidad económica es una condición necesaria para brindar salud a la población, es decir, establece que el incremento de las oportunidades y del bienestar son producto del crecimiento económico; coloca a las personas como motor para el desarrollo, pero pierde de vista las condiciones histórico-estructurales que condicionan el quehacer de los individuos.

Una de las libertades más importantes de que podemos gozar es la de no estar expuestos a enfermedades y causas de mortalidad evitables. Es importante comprender el carácter condicionado y contingente de la relación entre la prosperidad económica y la buena salud, pero es igualmente necesario reconocer la importancia decisiva de esta relación (Sen, 2000b: 17)

Por su parte, Muñoz (2011) concibe la salud como un proceso dinámico y multidimensional indiscutiblemente relacionado con el bienestar y la calidad de vida; y que, además, está construido por el entramado social en el que se desenvuelve.

Las organizaciones internacionales incluyen la salud como uno de los elementos necesarios para el desarrollo; generalmente la conciben como una condición para que exista

crecimiento económico. Por ejemplo, el BM establece la existencia de una relación causal entre crecimiento económico y salud; parte de una visión evolucionista para sustentar mediante datos cuantitativos que la mejora de indicadores son producto de esta relación, sin embargo, olvida las causas sociales, históricas y estructurales que condicionan el acceso a la salud. Explícitamente menciona que:

El mejoramiento de la salud contribuye al crecimiento económico de cuatro maneras: reduce las pérdidas de producción por enfermedad de los trabajadores; permite utilizar recursos naturales que, debido a las enfermedades, eran total o prácticamente inaccesibles; aumenta la matrícula escolar de niños y les permite aprender mejor, y libera los diferentes recursos que de otro modo sería necesario destinar al tratamiento de enfermedades (1993:18).

El BID añade el componente social a su conceptualización sobre la salud, valorándola como un aspecto central para el *desarrollo social*, aún con ello, la sigue colocando como instrumento para mejorar la productividad económica y, por tanto, para dotar al capital de trabajadores saludables; explica que:

La salud es un importante componente del desarrollo socioeconómico a largo plazo. Se sabe indudablemente que el mejoramiento de la salud, como actividad de desarrollo social, tiene en sí un valor humanitario independiente de otras consideraciones económicas o políticas. Al mismo tiempo, se observa definitivamente una relación entre el mejoramiento de la salud y la productividad económica, pues la salud contribuye a la formación y preservación del capital humano. La salud es imprescindible para mantener y mejorar la productividad de la fuerza del trabajo y para hacer posible que la población que aún no se ha incorporado a esta, aproveche de manera eficiente la inversión en servicios educativos que es necesaria para su ulterior desempeño en la vida (BID, 2019b: 1)

La definición de salud mayormente aceptada y usada es la que provee la Constitución de la OMS enunciada como “un estado de completo bienestar físico, mental y social, y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades” (OMS, 2014b: 1). Aunque no se incluye el aspecto económico, las estrategias que se establecen para expandirla están ligadas con la mejora de indicadores, y en sus estadísticas no matiza las diferencias que existen entre regiones. Por ejemplo, se reporta la tasa de vacunación o de mortalidad infantil por país,

región y continente, pero no se explican las causas de desigualdad, pobreza y/o exclusión para comprender las diferencias, inclusive, de las bajas tasas dentro de un mismo país.

Por eso, autores como Navarro (1998) realizan una crítica al concepto hegemónico de salud. Este autor señala que el concepto es apolítico y ahistórico al no considerar que el conocimiento científico sobre salud y enfermedad, la práctica médica y las instituciones sanitarias están altamente influenciadas por el contexto social y político que les rodea; por lo tanto, la “salud” no se concibe de la misma forma en todos los grupos sociales ni en los períodos históricos. En el mismo orden de ideas, Muñoz (2011) señala que lograr un estado completo de bienestar es imposible; asegura que se presenta un carácter estático de la salud que es contradictorio con la naturaleza del ser humano, ya que los aspectos físico, mental y social son importantes para lograr el bienestar, pero no son las únicas dimensiones; señala que:

Y es que la salud más que un estado es un proceso, valorable en la seguridad de su carácter dinámico. Pues todo cuanto ocurre en el entramado social influye en la salud, al tiempo que esta interviene sobre el desenvolvimiento de las propias sociedades en las que se mueve y construye, participando activamente de una dinámica transformadora; donde los límites de dicha relación resultan dificultosamente definibles...Al hacer público reconocimiento de la salud como *proceso*, producto de interrelaciones entre elementos provenientes de diversas naturalezas, en que el orden social cumple un papel fundamental, se acrecienta la imposibilidad de analizar al individuo enfermo (o sano) como ente aislado. Por ende, se hace indudable la necesidad de poner atención al agregado social del que participa y los distintos factores que contribuyen a su salud (Muñoz, 2011: 171).

Como se ha visto, la salud ocupa un papel central en las distintas visiones del desarrollo, por tanto, se le ha incluido en políticas públicas de todos los niveles. Las agendas de desarrollo internacional ponen especial atención en la resolución de los principales problemas de salud. Por ejemplo, dentro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) pactados en 2000, se establecieron ocho objetivos apremiantes para el desarrollo, de los cuales tres están orientados a esta área: i) erradicar la pobreza extrema y el hambre; ii) lograr la enseñanza primaria universal; iii) promover la igualdad entre los sexos y la autonomía de la mujer; iv) **reducir la mortalidad infantil**; v) **mejorar la salud materna**; vi) **combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades**; vii) garantizar la sostenibilidad del medio ambiente y

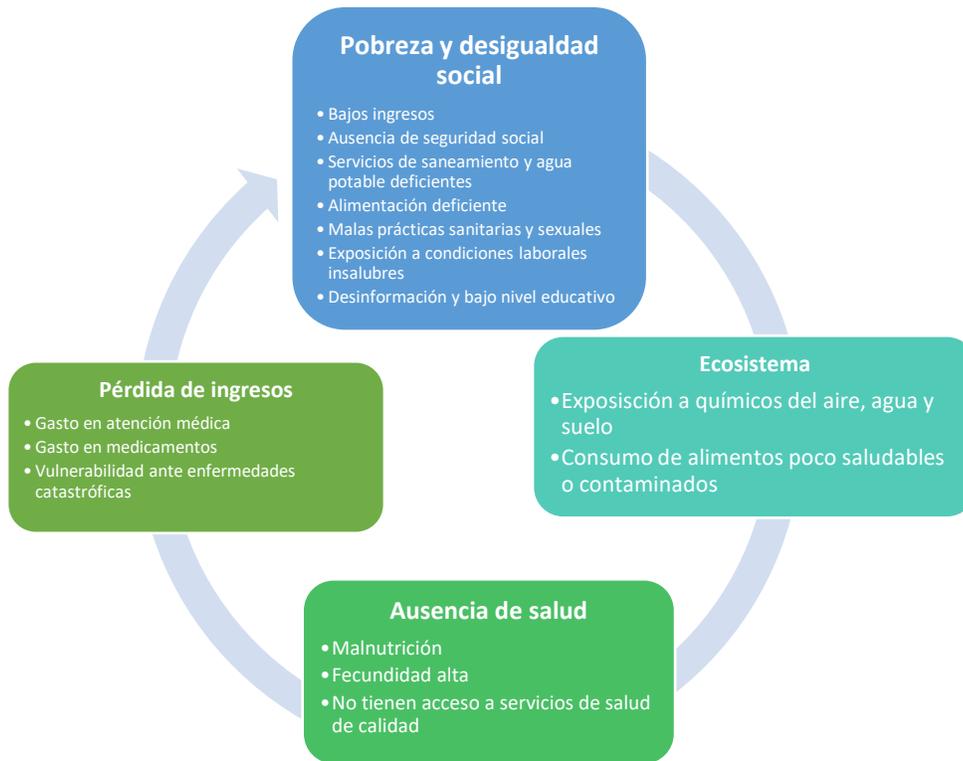
viii) fomentar una asociación mundial para el desarrollo (OMS, 2017). De igual forma, los ODS estipulados en 2015 para renovar esta agenda plantean metas a cumplir en el 2030. El tercer objetivo, titulado “salud y bienestar”, destaca las siguientes acciones: poner fin a las muertes evitables y epidemias, apoyar la investigación y desarrollo (I+D) de medicamentos y vacunas, así como garantizar su calidad y el acceso (Organización de las Naciones Unidas, 2015, 2017).

Sin embargo, hay autores como Katz (2008) que cuestionan el sistema de salud internacional y a las agencias que lo dirigen. Esta autora asegura que se presentan como autoridades objetivas y neutrales, con argumentos armados a partir de hechos científicos, pero las medidas que se proponen son politizadas, ahistóricas, incompletas y definidas por intereses geopolíticos y financieros de países centrales (p. e. el Grupo de los 8) que omiten actores, causas, intereses o luchas de poder causantes de enfermedades y muertes en el mundo, por lo tanto es poco probable que se den solución a las condiciones de vida miserables por medio de intervenciones¹⁴ diseñadas por la comunidad internacional; contrario a ello, propone un reordenamiento de los acuerdos mundiales en los que se incluya la redistribución del poder y los recursos, los cuales deben contener reformas macroeconómicas orientadas a la justicia social, por ejemplo, un sistema de impuestos redistributivo que permita a los Estados satisfacer las necesidades de la población.

En tal sentido, la disminución y, en el mejor de los casos, la erradicación de la pobreza y la desigualdad social deben considerarse como una de las principales estrategias en la mejora de la salud, dado que el nivel del salario, las políticas públicas de acceso a servicios médicos y el costo de medicamentos, entre otros, son factores que intervienen en el mejoramiento de los niveles de salud de la población (ver figura 1.1), lo que incluye un cambio en la estructura económica, política y social, pues esto tiene relación con el goce de una buena salud.

¹⁴ “Además, el derecho a la salud no es una cuestión de caridad o de ayuda internacional (incluso suponiendo que éstas fueran actividades genuinamente altruistas). Las fundaciones “filantrópicas”, que cuentan con una enorme riqueza derivada del mismo sistema que ha empobrecido a miles de millones de personas, no tienen un rol legítimo en el diseño de políticas de salud pública y su interés debe ser urgentemente investigado y expuesto” (Katz, 2008: 2–3).

Figura 1.1. Relación pobreza - salud - enfermedad



Fuente: elaboración propia.

Al respecto, Navarro (2008: 40–42) propone tres componentes necesarios para una política nacional de salud: el primero incluye intervenciones públicas dirigidas al establecimiento, mantenimiento y fortalecimiento de los determinantes estructurales de la buena salud; a saber intervenciones políticas, económicas, sociales y culturales encaminadas a mejorar la salud. El segundo contiene políticas enfocadas en lograr cambios en el comportamiento individual y de los estilos de vida. El tercer tipo se refiere a establecer una fuerte relación entre las responsabilidades colectivas e individuales, motivando a los individuos a colaborar en el mejoramiento de los determinantes estructurales de la salud.

A manera de resumen, la salud es considerada como un elemento indispensable para acceder al desarrollo, tanto económico como social. Sin embargo, la visión dominante es parcial al no considerar los determinantes estructurales (económicos, políticos, sociales y culturales) que influyen en el goce de una buena salud. En este sentido, es necesario que las

políticas de salud consideren el carácter multifactorial de esta y se vinculen con agendas de desarrollo orientadas a la disminución de la pobreza, la marginación y la desigualdad social.

Ciencia y tecnología

1.3. Modelos de cooperación entre actores para el progreso de la innovación

1.3.1. Triángulo de Sábato

Las secuelas de la SGM obligaron a las economías a buscar herramientas y estrategias que permitieran acelerar su recuperación económica y social. Bajo el liderazgo de los países mayormente desarrollados, diversos organismos internacionales hicieron recomendaciones a los menos avanzados sobre la importancia de usar la CyT para acceder al desarrollo, preservando la idea de que el subdesarrollo era una etapa previa y que su tránsito se podía agilizar mediante el incremento de la inversión en este rubro.

Académicos de todo el mundo propusieron distintas alternativas para que las naciones menos avanzadas mejoraran su condición socioeconómica. América Latina no fue la excepción y se colocó en el centro de la discusión la situación de dependencia en la que se encontraba la región, realizando estudios sobre diferentes sectores, entre ellos la CyT. La mayoría de los trabajos proponían la creación de industrias nacionales dirigidas por el Estado, la protección del mercado interno y actividades estratégicas, así como el impulso a la ciencia, tecnología y educación como instrumentos necesarios para cumplir todos los objetivos propuestos.

En relación con la CyT, se analizó su vinculación con los procesos de desarrollo, surgieron académicos -principalmente provenientes de las ciencias aplicadas- que realizaron distintos análisis y propuestas de políticas públicas en la materia. Estos esfuerzos desde la región conformaron lo que se llamó “Pensamiento latinoamericano sobre ciencia, tecnología y sociedad”. Es así como entre 1950 y 1960 se multiplicaron los trabajos de la triada ciencia-tecnología-sociedad. A grandes rasgos, se pensaba que la CyT podía funcionar como una

herramienta para los países subdesarrollados o semi-industrializados para acceder al desarrollo y dejar atrás la dependencia.

Según Sábato (2011a), uno de los principales problemas era que algunas naciones concentraban los avances en científicos-tecnológicos y otras los compraban, estableciéndose así una relación de dependencia. Así se le otorga doble carga valorativa a la tecnología: en el mercado y como insumo estratégico y de poder. Este autor añade que:

Probablemente sea justamente la tecnología el instrumento más poderoso de penetración en el mercado mundial. Esas corporaciones son además cada vez más *research intensive*, con lo que fortalecen su dominio tecnológico (Sábato, 2011b: 323).

De tal manera, se propuso que las naciones menos desarrolladas crearan las condiciones necesarias para incentivar el progreso científico-tecnológico y la introducción de tecnología importada en los sistemas productivos dejaría de ser su principal objetivo, pues se trataría de incentivar su creación de forma endógena. Sin embargo, no sucedió y solo se logró la creación de industrias incipientes que usaban tecnologías atrasadas por lo que no lograron competir a nivel mundial.

En este contexto, uno de los enfoques de impulso a la CyT que tuvo mayor difusión fue el llamado “Triángulo de Sábato”, propuesto en los años sesenta por Jorge Alberto Sábato. Según Guerrero (2004), este marco de analítico nació de las visiones menos críticas y/o revolucionarias de la región y sostenía la necesidad de impulsar desde el Estado interacciones entre actores clave para que el progreso científico y tecnológico tuviera injerencia en los procesos de desarrollo y, con ello, los países latinoamericanos pudieran salir del atraso.

Sábato (1997) sostenía la necesidad de cambiar la forma en que se insertaba la tecnología en el sector productivo mediante una política industrial específica. Señalaba que la introducción de la CyT en la economía de “afuera hacia dentro” o de “arriba abajo” era incorrecta -como sugerían los organismos internacionales-, ya que los nuevos conocimientos e innovaciones no se insertan en la realidad (proceso productivo) de forma automática y difícilmente corresponden a sus necesidades. Es así como proponía insertar la tecnología de “adentro hacia afuera”, es decir, que surja desde el núcleo los procesos de producción.

Cabe mencionar que todas las estrategias implementadas estuvieron diseñadas para cumplir el objetivo de crear industrias nacionales, pero no se propusieron vincular el progreso

económico con el social, y la orientación al mercado estuvo marcada desde la definición de tecnología:

conjunto ordenado de conocimientos utilizados en la producción y comercialización de bienes y servicios”, “...constituye un objeto de comercio entre los que la poseen y están dispuestos a cederla, canjearla o venderla, y los que no la poseen y la necesitan. La tecnología adquiere así un precio de venta y se convierte en mercancía (Sábato, 2011b: 310–311).

Bajo este enfoque, los avances científicos tecnológicos se consideraban una mercancía que solo podrá ser comprada por quienes tuvieran los recursos monetarios necesarios para adquirirla, además, se concebía a los centros de investigación –que en la época eran mayormente públicos- como fábricas dedicadas a la producción de mercancías. Sábato (2011: 309) añade que “en el actual sistema socioeconómico la tecnología es algo que se produce y se comercializa; es, pues, una mercancía más del circuito económico, una verdadera *“commodity of commerce”*”.

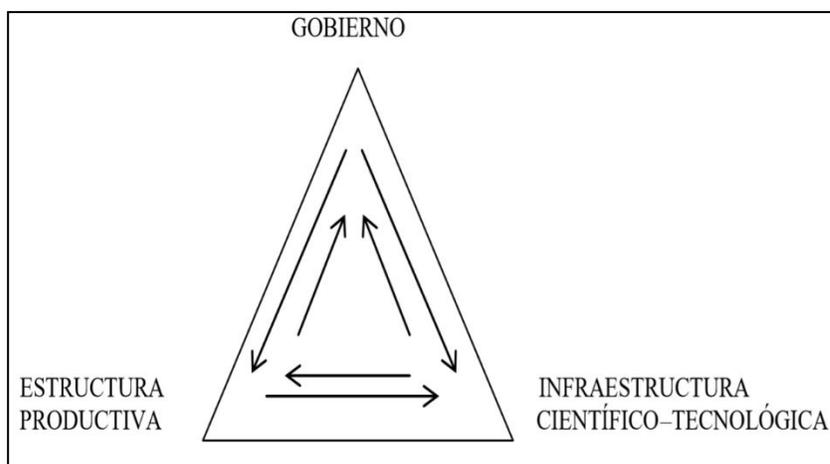
Como es sabido, la producción de mercancías se realiza en fábricas o talleres. Y bien: lo mismo ocurre con la tecnología, con la diferencia de que las fábricas o talleres de tecnología se llaman “laboratorios de investigación y desarrollo”, o “departamento de IyD [investigación y desarrollo]” o nombres similares en los que siempre figura al menos la palabra “investigación”. Son verdaderas fábricas –y así debieran llamarse, para evitar confusiones– porque su objetivo es producir una mercancía: Tecnología (Sábato, 2011b: 314).

Por otro lado, para insertar la CyT en el proceso productivo considera necesario establecer un régimen de tecnología, que se define como “el conjunto de disposiciones que normarían la producción y comercialización de la T [tecnología] necesaria para llevar adelante la PI [política industrial]” (Sábato, 1997: 122). El régimen de tecnología implementado sería comandado y planificado por el Estado. Tal como se señaló con antelación, las políticas de CyT tendrían que orientarse a la producción de conocimientos (en los laboratorios de IyD) que sirvieran a las empresas, es decir, que se pudieran insertar en el sistema productivo.

El Triángulo de Sábato concebía la participación de tres actores clave para el desarrollo científico-tecnológico: la infraestructura científico-técnica, el gobierno y la estructura productiva. Las interacciones entre estos actores se representaron por medio de un triángulo; en cada vértice se ubican los actores y los lados muestran las interacciones surgidas entre ellos (ver figura 1.2). Además, se resalta que en cada nación se pueden formar tantos

triángulos como sectores o subsectores existan, de tal forma que su unión forme uno que integre a todos. La perfección de las figuras dependería del nivel de interacciones y la calidad de la articulación de los vértices de cada triángulo y, por su puesto, de todos los sectores representados en su conjunto (Sábato y Botana, 1993, Sábato, 1997).

Figura 1.2. Triángulo de Sábato



Fuente: Extraído de Sábato y Botana (1993: 7).

En sentido estricto, el vértice de la infraestructura científico-tecnológica se conforma por: sistema educativo, personal altamente calificado, centros de investigación, sistema o consejo de coordinación e impulso a la investigación y los recursos destinados al desarrollo de sus actividades. Los actores incluidos en este vértice eran responsables de la creación de nueva tecnología e investigaciones, las cuales serían insertadas en las industrias mejorando y acelerando los niveles de producción. El vértice donde se ubica la estructura productiva está constituido por el sector público y privado encargado de proveer bienes y servicios a la sociedad. Finalmente, el vértice del gobierno comprende las instituciones encargadas de la formulación políticas y de financiar a los otros actores (Sábato, 1997).

Sin embargo, Sábato y Botana (1993) indican que no se trata de un simple análisis de las relaciones entre gobierno, CyT y la estructura productiva. El objetivo central del enfoque es interpretar la realidad y así saber cómo, qué y cuándo innovar para cumplir con los objetivos específicos [creación de capacidad científico-tecnología y trasladar los resultados

de investigación (innovaciones) a la esfera productiva] para lograr la inserción de la CyT en el proceso de desarrollo.

Cabe señalar que a pesar de que esta visión sostiene que los beneficios del progreso en la CyT tendrán un impacto positivo en el desarrollo, la orientación hacia el mercado es la que prevalece. Pareciera que se pensaba que la introducción de la tecnología en el sistema productivo era automática y que permitiría mejorar la calidad de vida y bienestar de la población.

Finalmente, es importante señalar que desde mediados de 1940 hasta los años ochenta se desplegó lo que se llamaría biotecnología moderna. El marco de este enfoque -Triángulo de Sábato- aún no da impulso sobresaliente a esta área en específico.

1.3.2. Sistema Nacional de Innovación

A inicios de los años ochenta, el modelo de Industrialización por Sustitución de Importaciones (ISI), dentro del cual se había desenvuelto el triángulo de Sábato, se agotó. La principal causa de su deterioro fue la conducción deficiente de los Estados-nación. Varios países, entre ellos México, se enfrentaron a fuertes crisis económicas, inestabilidad política y financiera e incremento de problemas sociales.

Los organismos internacionales no tardaron en realizar sugerencias sobre el modelo económico que debía sustituir al que había fracasado. La implementación de recetas que permitieran la rápida adopción neoliberalismo fue la única condicionante de estos organismos para proporcionar ayuda financiera a las naciones que así lo necesitarán. Veltmeyer (2010) expone siete lineamientos sugeridos: i) políticas fiscales y monetarias fijas, ii) privatización de empresas de propiedad estatal, iii) apertura comercial mediante la eliminación de políticas de protección, iv) desregulación de la economía, v) reforma laboral para evitar la protección al empleo, vi) adelgazamiento del Estado, e vii) instauración de políticas de libre mercado.

Todos estos cambios en la plataforma de desarrollo tuvieron impacto en materia de CyT, ya que era necesario e indispensable hacer compatibles sus objetivos con los del nuevo modelo económico. En este contexto surge el concepto “Sistema Nacional de Innovación

(SNI)”, con la finalidad de aterrizar los cambios propuestos en la esfera internacional a escala nacional.

Foladori (2012) asegura que los SNI tienen como meta principal vincular la investigación que se realiza en las universidades y centros de investigación con el sector productivo, donde el principal mecanismo de integración es la triple hélice. Resalta que el surgimiento de este concepto ubicó la innovación como un elemento indispensable para crecer económicamente, de esta manera se comenzó a agregar la palabra “innovación” a las políticas, planes, programas y a los nombres de las instituciones encargadas de esta área.

De acuerdo con este enfoque, la innovación es “un proceso social e interactivo en un entorno social específico y sistémico” (Lundvall y Johnson, 1994: 696). Además, Lundvall y Johnson (1994), precursores, añaden que la innovación se caracteriza por ser un proceso acumulativo, incierto e institucionalizado.

Explícitamente, la innovación es un proceso acumulativo debido a dos causas: i) el más mínimo desarrollo científico y/o técnico necesita forzosamente de conocimientos acumulados a través del tiempo, y ii) su incorporación en la esfera económica se realiza de forma segmentada, pues la difusión se suscita décadas posteriores cuando se equilibra el precio con la utilidad que provee la innovación; es interactivo y social debido a que es sumamente indispensable la comunicación entre los actores o agencias portadoras de conocimiento y porque es preciso considerar las necesidades que establece el mercado; finalmente, es incierto e institucionalizado dado las innovaciones constituyen algo nuevo en un sistema económico en donde la elección racional es contradictoria, debido a que el mundo real es complejo y la mente humana limitada y en este contexto es difícil definir lo que constituye un comportamiento racional. Es así que la sociedad se rige por normas y reglas establecidas por instituciones para crear un entorno de racionalidad estratégica (Lundvall y Johnson, 1994).

dado que la innovación y el progreso técnico son el resultado de una compleja serie de relaciones entre los agentes que producen, distribuyen y aplican varios tipos de conocimiento, el desempeño innovador de un país dependerá en gran medida de cómo esos agentes se relacionen entre sí como partes o elementos integrantes de un sistema colectivo de generación de conocimientos (Rincón, 2004: 98).

En este tenor, la innovación es resultado de los tipos e intensidad de las interacciones que surgen entre agentes e instituciones que son encargados de conducirla en una nación. En este sentido, conviene apuntar que existen diversas definiciones de SNI -aunque no hay una definición aceptada por la mayoría- y se presentan conceptos similares o complementarios. Por ejemplo, Dutrénit (1994) la conceptualiza de la siguiente manera:

como el conjunto de agentes, instituciones, articulaciones y prácticas sociales vinculados a la actividad innovadora en el interior de las naciones. Este constituye el entorno institucional en que ocurren los procesos de aprendizaje (1994: 667).

Por otro lado, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO] (2018) la explica como:

El sistema de innovación de un país constituye el conjunto de agentes, instituciones y prácticas interrelacionadas que conforman, actúan y participan en los procesos de innovación tecnológica y social que suceden en el país, generando un ecosistema favorecedor para las actividades de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación (2018: 1).

Es importante señalar que una de las principales críticas al enfoque se refiere a la falta de precisión sobre qué es y qué no es un SNI, así como de su objetivo. Por ejemplo, Caballero, 2008 (111–112) menciona algunas de sus debilidades:

1. El SNI no es una teoría sino un enfoque o marco conceptual; constituye una red que intenta mostrar los determinantes del proceso de innovación.
2. Hay confusión en cuanto a conceptos centrales.
3. No hay un acuerdo de qué incluye y qué no un SNI.
4. No se explicitan los niveles de jerarquía de los participantes de los SNI.
5. No se establecen funciones y actividades del SNI, ni se especifican límites.
6. No hay una explicación de sobre cómo el SNI ha incidido en el desempeño económico.
7. No se pone énfasis en el papel que juega la política de innovación como complemento al desarrollo “espontáneo” de un SNI.

Para el caso de la biotecnología hay autores que consideran indispensable la construcción de un SNI sólido para el progreso de este sector. Vera-Cruz (*et al.*, 1994) resalta el papel de los SNI para que la biotecnología como área estratégica coadyuve en el crecimiento económico

y el desarrollo social. Consideran que la creación y difusión de la tecnología son mayores cuando surgen en las empresas, pero otras instituciones -que se incluyen en el SNI- juegan un papel determinante en la aplicación de la ciencia, tecnología e innovación (CTeI) en la esfera productiva.

La aplicación del concepto de Sistema Nacional de Innovación al estudio del desarrollo de la biotecnología debe incluir la investigación tecnológica y su uso productivo y comercial, no simplemente la investigación básica. Debe incorporar un amplio conjunto de elementos estructurales, actores o nodos relacionados tanto con la oferta de nuevos conocimientos susceptibles de incorporarse a la producción (centros, institutos y unidades de investigación biotecnológica), como con la demanda de dichos conocimientos para posteriores desarrollos y aplicaciones productivas y comerciales (empresas y organismos públicos o privados que son usuarios reales o potenciales de la biotecnología) (Vera-Cruz, Villa y Villegas, 1994: 707).

De esta manera, se puede notar que los estudiosos de la biotecnología aplicada a cualquier área, efectivamente, utilizan el SNI como una plataforma a nivel macro para integrar la investigación al sistema productivo. Vera-Cruz, Casas, De Fuentes, y Torres (2013) apuntan que el objetivo de los SNI no se orienta a mejorar aspectos del desarrollo social y no atienden problemas relacionados con otras políticas (salud, educación, pobreza, medio ambiente, etcétera), en realidad, solamente se centran en el desarrollo tecnológico, desarrollo de innovaciones exitosas y, por supuesto, en el progreso de esfera económica.

1.3.3. Triple hélice

Este modelo es complementario a los que le antecedieron temporalmente: el triángulo de Sábato y el SNI, es decir, su marco teórico y metodológico está construido a partir de ellos. La diferencia radica en el papel que se otorga a los agentes involucrados en la creación de innovaciones y en el tipo de interacciones que deben de surgir.

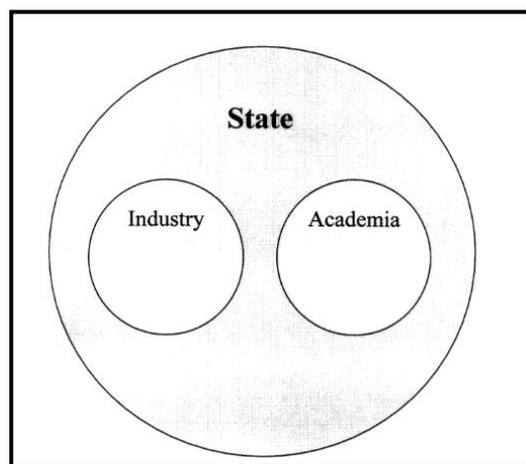
Este marco de análisis fue diseñado por Henry Etzkowitz y Loet Leydesdorff en los años noventa. En él estudian las interacciones entre las principales agencias que -según estos autores- propician el progreso de la CTeI: la universidad, la industria y el gobierno. Textualmente, Etzkowitz (2002: 2) señala que: “La triple hélice es un modelo espiral de

innovación que capta las múltiples y recíprocas relaciones en diferentes puntos del proceso de capitalización del conocimiento”.

Este modelo considera que para hacer frente a una sociedad basada en el conocimiento es necesario incentivar la interacción y cooperación entre la academia, industria y el gobierno con el objetivo de generar mecanismos para la creación de entornos innovadores. Záyago (2011) apunta que la política diseñada bajo este esquema ha tratado de vincular la CyT con la producción y el consumo, es decir, que se ha utilizado al mercado para transferir a la sociedad los posibles beneficios tecnológicos. Por otro lado, este marco analítico ha evolucionado desde su surgimiento, por lo tanto se pueden observar tres tipologías:

- i) Triple hélice I -modelo estatista de relaciones entre universidad-industria-gobierno- donde las esferas de innovación se definen por medio de las instituciones, las interacciones se delimitan por relaciones contractuales, transferencia de tecnologías y vínculos con la industria. Este modelo fue considerado como un fracaso debido a que limitaba la creación y difusión de innovación desde abajo (Leydesdorff y Etzkowitz, 1998, Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

Figura 1.3. Triple hélice I

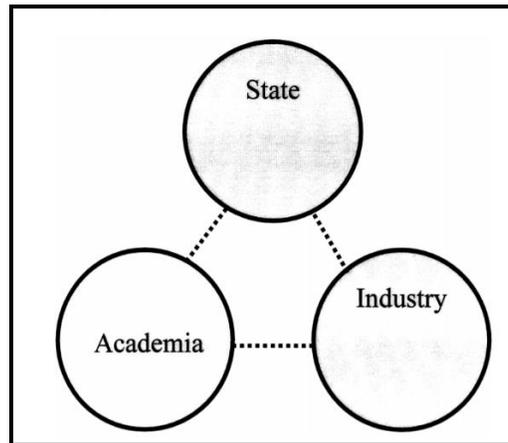


Fuente: Etzkowitz y Leydesdorff (2000: 112).

- ii) Triple hélice II -modelo “*laissez-faire*” de relaciones entre universidad-industria-gobierno-, como lo señala su nombre esta segunda tipología se enmarca en el contexto de la implementación de una plataforma de desarrollo de económico específica, la cual tenía como principal objetivo el desmantelamiento del aparato estatal y la reducción de

su participación en diferentes sectores, entre ellos la CyT. En este las relaciones surgen mediante la operación de mercados, la creación de innovaciones y el control de interfaces (Leydesdorff y Etzkowitz, 1998, Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

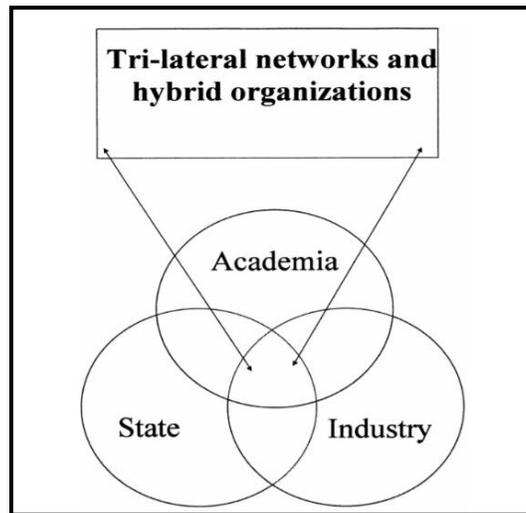
Figura 1.4. Triple hélice II



Fuente: Etzkowitz y Leydesdorff (2000: 112).

iii) Triple hélice III -modelo de triple hélice de las relaciones entre universidad-industria-gobierno- en el cual se rompen las barreras entre cada una de la hélices, ya que considera la necesidad de que se formen interacciones híbridas donde todas pueden realizar el papel de la otras (Etzkowitz y Leydesdorff, 2000).

Figura 1.5. Triple hélice III



Fuente: Etzkowitz y Leydesdorff (2000: 111).

Estos cambios en los arreglos y formas de interacción entre cada una de las hélices coinciden con los cambios a nivel mundial de los modelos de desarrollo y de las políticas económicas efectuadas. La primera tipología se relaciona con la implementación de las políticas de corte keynesiano, en la que el Estado era el encargado de guiar e impulsar el desarrollo económico. La segunda tipología surge para empatar los objetivos del desarrollo científico-tecnológico con la ejecución del modelo neoliberal. Aquí se inicia con el desmantelamiento del aparato estatal. Finalmente, la triple hélice III se modifica después de la llamada década perdida cuando se replantea la necesidad de incorporar al Estado en las actividades económicas y sociales de las naciones, pero solo para financiar algunas acciones y establecer regulaciones que permitan incrementar la rentabilidad de las empresas.

Es importante señalar que cada una de las hélices cuenta con un papel en el proceso de creación de innovaciones. Las empresas son las receptoras de la transferencia de conocimiento e innovación proveniente de las universidades, asimismo, son las encargadas de insertar las innovaciones en el sector productivo. Por su parte, la universidad es considerada como el “laboratorio” para la creación de conocimiento e innovaciones. Por último, Etzkowitz y Leydesdorff (2000) mencionan que el gobierno suele estimular arreglos entre centros de investigación y empresas, pero no los controla, además está encargado de otorgar financiamiento directo o indirecto y dar asistencia de cualquier índole.

La triple hélice contempla las mutaciones que pueden tomar las instituciones (universidad, industria y gobierno) a partir de las nociones que tienen los individuos que las conforman, es decir, considera los diferentes contextos entre naciones. En otras palabras: “la transferencia ya no se considera un proceso lineal desde un origen hasta una aplicación. Patrones históricos de interacción pueden ser reconstruidos” (Leydesdorff y Etzkowitz, 1998: 197). Este indica que existe una serie de interacciones entre las instituciones, las cuales modifican la organización y relación entre ellas. Estos arreglos permiten que se formen redes y mecanismos de trabajo conjunto entre las hélices, lo que resulta en organizaciones híbridas.

Actualmente, este enfoque domina en las políticas de CTeI a nivel mundial y particularmente en México. A pesar de que existe una discusión sobre su pertinencia, ya que se cree que ha sido rebasado por la realidad, las instituciones y autoridades mexicanas han hecho oda de su implementación, por ejemplo, durante el Diálogo de Alto Nivel por el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI), el doctor Enrique Cabrero Mendoza -director general del CONACYT- mencionó lo siguiente:

Necesitamos reforzar nuestros vínculos, una triple hélice de una sola pieza, y eso requiere un sector productivo fortalecido y comprometido; sin ustedes no será posible alcanzar la meta del 1% del PIB en ciencia y tecnología, como tampoco convertirnos en un país más innovador y competitivo (Cabrero, 2017, párr. 5).

Esto demuestra que las políticas de CTeI en México, por lo menos durante el periodo de análisis, estuvieron basadas en el enfoque de la “triple hélice” como principal estrategia de empuje. Ante la falta de resultados también se pensó implementar una cuarta hélice en la cual se agrega como agente a la sociedad, pero los objetivos generales de las políticas no cambiaron, por tanto siguieron aplicando estrategias, atrasadas y/o alejadas de las necesidades y la realidad del país, por lo que es necesario buscar otras formas.

1.4. Marco conceptual

1.4.1. Biotecnología

La palabra biotecnología tiene sus raíces en tres vocablos griegos: i) *βίος* que significa vida, ii) *tekhn- τέχνη* que se refiere a la técnica o arte; y iii)-*logiā -λογία* que quiere decir estudio (Universidad de Salamanca, 2018). Es decir, se refiere al estudio de las técnicas para manipular y/o modificar organismos vivos para la obtención de productos. Este neologismo fue acuñado en 1919 por el ingeniero agrícola de origen húngaro, Karl Ereky, considerado el padre fundador, quien la definió como: “todos los métodos utilizados para convertir materia prima en bienes y servicios para comunidad, utilizando en alguna etapa organismos vivos o sus productos” (Mauriz et al., 2014: 13). Ereky utilizó esta palabra por primera vez en su libro *Biotechnologie der Fleisch-, Fett-und im Milcherzeugung landwirtschaftlichen Grossbetriebe* (Biotecnología de la producción de carne, grasa y leche en una granja agrícola a gran escala) publicado en Berlín, en el que explicaba que el futuro de la tecnología estaba en el uso de la bioquímica, además, describió nuevos procesos de industrialización en el sector agrícola basados en aplicaciones de esta (Bud, 1991, G. y P., 2006).

Según la OCDE la biotecnología se refiere a: “la aplicación de la ciencia y la tecnología a los organismos vivos, así como a partes, productos y modelos de los mismos, para alterar materiales vivos o no, con el fin de producir conocimientos, bienes o servicios” (OCDE, 2005: 9). Sin embargo, esta conceptualización está centrada básicamente en elementos técnicos de la biotecnología propios de su funcionamiento, por lo cual es bastante restringida.

Con el paso del tiempo, se incluyeron las nuevas aplicaciones y sectores en los que comenzó a tener injerencia dentro de la definición; por ejemplo, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2017: 1) dice que:

La biotecnología incluye una amplia gama de tecnologías aplicadas a la agricultura, ganadería, silvicultura, pesca y acuicultura, y la agroindustria que se utilizan para diversos fines, como el mejoramiento genético de plantas y animales para aumentar sus rendimientos o eficiencia; caracterización y conservación de los recursos genéticos para la alimentación y la agricultura; diagnóstico de enfermedades de plantas y animales, desarrollo de vacunas o la producción de alimentos fermentados.

Mientras que Bolívar (2001: 20) realiza una conceptualización más amplia que no solo incluye aspectos técnicos, sino que consciente de las críticas realizadas a muchas de sus aplicaciones, propone usar esta tecnología de forma responsable:

La biotecnología moderna se puede definir como una actividad multidisciplinaria, cuyo sustento es el conocimiento de frontera generado en diversas disciplinas...que permite el estudio integral y la manipulación de los sistemas biológicos. A partir de dicho estudio integral y de la manipulación de los sistemas biológicos, la biotecnología moderna busca hacer un uso inteligente y respetuoso de la biodiversidad, mediante el desarrollo de tecnología eficaz, limpia y competitiva para facilitar la solución de problemas importantes...

En el marco de esta investigación se pretende incluir las variables económicas, políticas y sociales en su conceptualización, entendiendo que los posibles beneficios o perjuicios que puede traer dependen de la política pública que la dirija. En tal sentido, la biotecnología moderna es una que, sustentada en técnicas y conocimientos provenientes de diversas disciplinas, por tanto, multidisciplinaria, tiene la capacidad de estudiar y manipular organismos vivos y sus partes con la finalidad de incrementar el entendimiento de los sistemas biológicos. Esto le permite participar en la elaboración de procesos y productos relacionados con diferentes sectores importantes para el desarrollo como el agrícola-alimentario, sanitario-farmacéutico, químico, energético, ambiental e industrial, entre otros; de tal forma, puede incidir en la solución de problemas en distintos ámbitos. Aunque, vale la pena señalar que al igual que otras tecnologías, la biotecnología surgió ligada a las corporaciones químicas y farmacéuticas, y por tanto a la trayectoria basada en la necesidad de buscar estrategias que permitan abaratar los costos de producción, lo que tiene implicaciones importantes en el rumbo que toma el progreso de la biotecnología, es decir, define qué y cómo se investiga.

1.4.2. Técnica, tecnología y ciencia

El progreso material surge desde que el ser humano comienza a transformar la naturaleza para la elaboración de procesos y productos que le permitieran solucionar problemas cotidianos o facilitar la vida misma, para ello, fue necesario el uso de técnica, la cual es entendida como una serie de “procedimientos operativos útiles desde el punto de vista práctico para determinados fines. Constituye un saber cómo, sin exigir necesariamente un saber por qué” (Núñez, 1999: 11). Esta palabra tiene sus raíces en el latín *technicus* y en los conceptos griegos *τεχνικός* y *τέχνη*, que son relativos al arte, entendiéndolo como habilidad de transformar algo natural en artificial. Plata (2010) se refiere a la técnica como la capacidad

de realizar procedimientos de forma mecánica, sin considerar el conocimiento científico para su consecución.

Posteriormente, la observación permitió al ser humano descubrir que los fenómenos se suscitan por una relación de causa y efecto, lo que despertó el interés por entender el porqué de las cosas y como resultado surge la ciencia. Esta palabra tiene sus raíces en el latín *sci* que significa 'saber o conocer', constituye el porqué, es decir, la capacidad de ofrecer explicaciones (Núñez, 1999; Universidad de Salamanca, 2018). En otras palabras, la ciencia sistematiza los conocimientos aplicados mediante la técnica y da una explicación general a los fenómenos (Corona-Treviño y Instituto Politécnico Nacional, 1999). Además, se entiende como un conjunto de conocimientos y procedimientos sistemáticos y objetivos sobre la realidad (Lara, 1998), siendo su función “la adquisición de conocimientos, al proceso de conocer, cuyo ideal más tradicional es la verdad, en particular la teoría científica verdadera. La objetividad y el rigor son atributos de ese conocimiento” (Núñez, 1999: 11)

Fue hasta el siglo XIX cuando se empezó a hablar de tecnología sin asociarla con la ciencia, sino con la mecanización y profesionalización de la ingeniería (Guajardo S., 2006). Las raíces etimológicas de esta palabra provienen del griego *τεχνικός* y *λογία* (logía, estudio), es decir, engloba los elementos constitutivos de la técnica y un conjunto de conocimientos y hallazgos sometidos al escrutinio de la razón, por medio de los cuales se domina el medio natural (Derry y Williams, 1998; Plata, 2010).

Más adelante se relacionó la ciencia con la tecnología como resultado de dos fenómenos importantes: i) desarrollo explosivo de la física, química y las matemáticas, es decir, ciencias aplicadas, al finalizar la Revolución Industrial; y ii) la asociación del desarrollo tecnológico de las naciones con su capacidad de recuperarse y resolver problemas sociales agravados por la SGM; esto permitió que dichas disciplinas se entretajaran y quedaran imbricadas (Lara, 1998).

Desde entonces, la ciencia y la tecnología se conciben juntas y es difícil entender la una sin la otra. No obstante, es tendencia que la tecnología determine el quehacer de la ciencia, por algunas razones primordiales: i) la tecnología permite que el conocimiento deje de ser "puro" para ser práctico, es decir, convertirlo en mercancía; ii) porque rápidamente los propios científicos requieren de la tecnología (equipo de laboratorio sofisticado, softwares, etcétera) para hacer ciencia; y iii) el desarrollo de la tecnología crea nuevas especialidades

que en algunos casos no requieren la ampliación o profundización de los conocimientos, resultado de ello, el científico pierde la visión de conjunto y restringe su conocimiento a la relación causa-efecto inmediata del proceso técnico. Al respecto, Foladori (2016: 4) señala que:

Llevó más de medio siglo de industrialización (fines del siglo XVIII a mediados del XIX) que la ciencia, como esfera independiente de la división social del trabajo, comenzase a guiar la producción. Para mediados del siglo XIX la ciencia adquiere ese lugar en la división social del trabajo como actividad con identidad propia. Esto se manifiesta cuando es utilizada por las empresas como medio para mejorar procesos tecnológicos y aumentar la productividad del trabajo. Se crean los departamentos de C&T al interior de las grandes empresas.

La inserción de la ciencia como una rama de la división social del trabajo permite que sus objetivos se orienten a producir ganancia, es decir, se incorpora como ámbito de valorización del capital. Esto ocurre de dos formas: en la primera, los científicos trabajan en los centros de investigación de empresas cuyo objetivo inmediato es producir ganancia, por tanto, cualquier inversión es regida por la lógica del costo-beneficio. La segunda forma tiene que ver con las universidades y centros públicos de investigación financiados con recursos públicos que, aunque su objetivo directo no es producir ganancia sino dar un servicio a la comunidad, indirectamente colaboran al proceso de acumulación y a incrementar la ganancia al disminuir los costos en I+D al generar conocimiento científico básico, en el que la inversión privada no se arriesga a invertir y forma científicos cuyo costo de formación no recae sobre la empresa privada (Foladori, 2016).

1.4.3. Capacidades científicas y tecnológicas

El impulso a la ciencia y la tecnología como estrategia para el desarrollo ha tenido presencia en el discurso público por casi medio siglo en América Latina. En los últimos cincuenta años se han formulado explicaciones, modelos, agendas e instrumentos de política donde se enuncia la importancia de construir capacidades científicas y tecnológicas para ayudar a los países semi-industrializados o subdesarrollados a transformarse en sociedades modernas y desarrolladas (Gómez, 2005).

La capacidad tecnológica fue definida en los ochenta por Westphal, Kim y Dahlman (1984: 4) como “la habilidad para hacer un uso efectivo del conocimiento tecnológico[...];

esta no radica en el conocimiento que se posee sino en el uso del conocimiento y en la capacidad para ser utilizado en la producción, inversión e innovación”. Además, señalan que debido a la existencia de capacidades tecnológicas distintas se pueden clasificar de numerosas formas dependiendo del conocimiento tecnológico utilizado y sus aplicaciones.

Las capacidades tecnológicas se pueden separar en tres grandes áreas: producción, inversión e innovación. La primera capacidad es para operar instalaciones productivas, la segunda es para expandir la capacidad y establecer nuevas instalaciones productivas, y la tercera es para desarrollar tecnologías. El dominio de la capacidad de producción se refleja en la eficiencia técnica y en la capacidad de adaptar las operaciones a las circunstancias cambiantes del mercado. El dominio de la capacidad de inversión se refleja en los costos del proyecto y en la capacidad de adaptar los diseños del proyecto a las circunstancias de la invención. El dominio de la capacidad de innovación se refleja en el capacidad de desarrollar tecnologías que son menos costosas y más efectivas (Westphal, Kim y Dahlman, 1984: 6).

Este concepto ha sido analizado desde dos dimensiones: la primera como acervo de conocimiento y, la segunda, como el uso del mismo; aunque desde los noventa la última dimensión cobró mayor importancia ante la necesidad de las empresas de mantener la competitividad en los mercados con ayuda de un alto dinamismo tecnológico (Dutrénit, Vera-Cruz y Arias, 2003). Por ejemplo, Bell y Pavitt (1995) señalaron que la eficiencia no se sigue automáticamente de la adquisición de nuevas tecnologías y la acumulación de conocimientos, sino que depende de las capacidades nacionales para generar y gestionar el cambio en las tecnologías utilizadas en la producción. Por su parte, el Foro Consultivo Científico y Tecnológico A.C. (2012) las define como recursos especializados de una organización que sirven para generar y administrar el cambio tecnológico y hacer uso efectivo del conocimiento. En el mismo sentido, Tapias (2005: 109) indica que las capacidades tecnológicas son indispensables para el desarrollo de la competitividad; considera que su acumulación es necesaria para mejorar los procesos y productos de una empresa, así como para incrementar la productividad vía un aumento de los flujos de innovaciones. Este autor retoma el concepto de capacidades tecnológicas de Katz, Dahlman y Lall, entre otros, y señala que son:

un conjunto de conocimientos requeridos para planear, organizar, dirigir, ejecutar y controlar la adquisición, adaptación, mejoramiento, creación y uso efectivo de tecnología. Es decir, conocimientos para gestionar el cambio tecnológico, y para producir los bienes y servicios con la calidad, la diferenciación, la flexibilidad y la oportunidad con que lo demanda el mercado. Ellas permiten operar eficientemente las instalaciones productivas, pero también adaptarla, optimizarla, mejorarla, recrearla y generar nuevas.

Mientras que Bell y Pavitt (1992: 261) afirman que:

La capacidad tecnológica incorpora los recursos adicionales y distintos necesarios para generar y gestionar el cambio técnico, incluidas las habilidades, el conocimiento y la experiencia, y las estructuras y vínculos institucionales. Esta distinción es importante porque estamos interesados en la dinámica de la industrialización y, por lo tanto, en los recursos necesarios para generar y gestionar ese dinamismo.

En general, la discusión se ha centrado en el análisis de los procesos de aprendizaje y en los niveles de acumulación de capacidades de las empresas para explicar cómo avanzar de capacidades mínimas a emprender actividades innovadoras (Dutrénit, Vera-Cruz y Arias Navarro, 2003). En este sentido, el trabajo de Bell y Pavitt (1995) es considerado un marco importante dentro de la literatura sobre el estudio y la clasificación de capacidades tecnológicas. Estos autores utilizaron trabajo de Lall (1992) para desarrollar una taxonomía de capacidades tecnológicas por función de producción (primarias y técnicas de apoyo), en el que distinguen los diferentes niveles de innovación (básicas, innovadoras básicas, innovadoras intermedias e innovadoras avanzadas) expuestos aquí (ver cuadro 1).

Cuadro 1.1. Matriz de capacidades tecnológicas

Nivel de capacidades	Funciones técnicas primarias				Funciones técnicas de apoyo	
	Inversión		Producción		Vinculación externa	Producción de bienes de capital
	Toma de decisiones	Preparación y ejecución del proyecto	Centrada en procesos de organización de la producción	Centrada en el producto		
Capacidades de producción rutinarias: para usar y operar la tecnología existente						
Capacidades operativas básicas	-Estimación de desembolsos	-Planeación de protocolo -Preparación de protocolo -Construcción de la obra civil básica	-Operación rutinaria y mantenimiento básico de instalaciones -Mejora de la eficiencia a partir de la experiencia en tareas existentes	-Copia de especificaciones y diseños fijos -Control de calidad rutinario para mantener los estándares y las especificaciones	-Búsqueda de insumos disponibles de proveedores -Venta de productos existentes	-Copia simple de especificaciones de planta y maquinaria

Capacidades tecnológicas innovadoras: para generar y administrar el cambio técnico						
Capacidades innovadoras básicas	-Supervisión activa y control de estudios de factibilidad, selección de tecnología / proveedores, programación de las actividades	-Estudios de factibilidad de equipo estándar -Ingeniería básica	-Designación de grupos de trabajo para hacer pruebas y eliminación de fallas -Mejora del <i>layout</i> , programación y mantenimiento -Adaptaciones menores	-Adaptaciones menores a las necesidades del mercado y mejoras incrementales en la calidad del producto	-Búsqueda y absorción de nueva de proveedores, clientes e instituciones locales	-Copia de nuevos tipos de planta y maquinaria -Adaptación simple de diseños y especificaciones
Capacidades innovadoras intermedias	-Búsqueda, evaluación y selección de tecnología / proveedores -Negociación con proveedores -Administración del proyecto completo	-Ingeniería de detalle -Adquisición de equipos -Estudios de medio ambiente -Administración y seguimiento del proyecto -Designación del grupo de trabajo -Capacitación y reclutamiento -Puesta en marcha	-Mejora del proceso y estiramiento de las capacidades de producción (<i>stretching</i>) -Licenciamiento de nueva tecnología -Introducción de cambios organizacionales	-Licenciamiento de nueva tecnología de producto y/o ingeniería inversa -Diseño incremental de nuevos productos	-Transferencia de tecnología a proveedores y clientes para incrementar la eficiencia, calidad y abastecimiento local	-Mejoras menores a partir de ingeniería inversa -Diseño original de planta y maquinaria
Capacidades innovadoras avanzadas	-Desarrollo de nuevos sistemas de producción y componentes	-Diseño de procesos y desarrollo de la ID relacionada	-Innovaciones de proceso de ID relacionada -Innovaciones radicales en la organización	-Innovación de producto y desarrollo de la ID relacionada	-Colaboración de desarrollo tecnológicos con proveedores, clientes y socios	-ID orientada a establecer especificaciones y diseño de nuevas plantas y maquinaria

Fuente: tomado de Dutrénit, Vera-Cruz y Arias (2003).

Sin embargo, algunos autores (Dutrénit, Vera-Cruz y Arias, 2003; Torres, 2006) mencionan que esta matriz presenta algunas limitaciones importantes: i) el proceso de acumulación de capacidades es estático, dado que se muestra una secuencia de etapas o fases por las que las empresas tienen que transitar para llevar a cabo actividades innovadoras; ii) no ofrece información sobre el proceso de acumulación y el tiempo para necesario para avanzar en cada etapa, iii) se centra en aspectos estrictamente técnicos dejando de lado aspectos organizacionales y el contexto económico y político; iv) la taxonomía es útil para estudios de caso, por tanto, los resultados no se pueden generalizar; v) no considera las particularidades y trayectorias de cada empresa, dado que algunas de ellas dan prioridad a ciertos ámbitos de acumulación de capacidades.

Respecto de las capacidades científicas, el Manual de Frascati (2015) señala que la I+D comprende “el trabajo creativo y sistemático realizado con el objetivo de aumentar el volumen de conocimiento (incluyendo el conocimiento de la humanidad, la cultura y la

sociedad) y concebir nuevas aplicaciones a partir del conocimiento disponible” (OCDE, 2015: 47). Además, este manual indica que la I+D comprende tres tipos de actividades:

- **Investigación básica:** trabajos experimentales o teóricos que se emprenden fundamentalmente para obtener nuevos conocimientos acerca de los fundamentos de fenómenos y hechos observables, sin intención de otorgarles ninguna aplicación o utilización determinada.
- **Investigación aplicada:** trabajos originales realizados para adquirir nuevos conocimientos, pero está dirigida fundamentalmente hacia un objetivo práctico específico.
- **El desarrollo experimental:** trabajos sistemáticos fundamentados en los conocimientos existentes obtenidos a partir de la investigación o la experiencia práctica que se dirigen a producir nuevos productos o procesos o a mejorar los productos o procesos que ya existen.

En este sentido, se puede decir que las capacidades científicas y tecnológicas constituyen el cúmulo de recursos tangibles e intangibles necesarios para generar conocimientos y aplicaciones tecnológicas. Reyes (2016, párr. 3) señala que estas capacidades incluyen:

Por un lado, refieren elementos físicos o tangibles como: el capital humano especializado, la infraestructura científica y tecnológica, la investigación básica, la investigación aplicada, los proyectos de desarrollo científico y tecnológico; y por otro, incluye elementos intangibles pero de gran valor como: la vinculación entre los actores estratégicos como Instituciones de Educación Superior, Centros de Investigación, empresas, sociedad y el sector público, la consolidación de acuerdos de colaboración, la generación de programas de impulso a las actividades de ciencia y tecnología y por supuesto, el impulso y consolidación de un marco normativo congruente con el entorno de una sociedad que aplica el conocimiento nuevo o existente a la generación de riqueza.

La generación del conocimiento es considerada indispensable para el desarrollo de procesos exitosos de innovación tecnológica, dado que es necesaria para la construcción de capacidades tecnológicas (Morales y Villavicencio, 2015) que puedan transformarse en nuevos procesos y productos (Amaro y Robles, 2013).

En este contexto, Albornoz (1997: 97) asegura que el pensamiento sobre CyT se centra en la generación de innovación. Esta perspectiva implica la reducción del conocimiento científico y tecnológico a un hecho fundamentalmente económico y se considera un instrumento para la competitividad. Es decir, se privilegia la investigación aplicada y el desarrollo experimental por encima de la investigación básica, ya que permiten que el conocimiento se materialice en productos que permitan la obtención de ganancias.

Debido a la importancia de estas capacidades para el desarrollo económico y social, constantemente se buscan estrategias para incrementarlas y mejorarlas, como la implementación de herramientas legislativas (planes, leyes, programas) y la creación de instituciones que se encargan de su fomento. Algunos autores como Flores y Cárdenas, (2017) señalan que la importancia del impulso a la CyT radica en que “la capacidad de una nación para resolver problemas, reducir la pobreza y generar desarrollo sostenible, depende de sus capacidades científicas, tecnológicas y de innovación”.

Sin embargo, existen intereses políticos y económicos que limitan el uso de la CyT en la resolución de problemas sociales. Al respecto, Foladori (2015: 55–56) señala que hay lineamientos comunes en esta legislación que “benefician la extranjerización de la producción, a las corporaciones transnacionales, la orientación de la investigación hacia intereses de los países desarrollados y el distanciamiento de los investigadores respecto de las necesidades sociales”, por ejemplo, la orientación de las políticas hacia sectores que compiten en el mercado mundial se invierte en educación de calidad que favorece a pocos y aleja a los investigadores de las necesidades poblacionales; se establece una alianza entre universidad y empresa lo que permite que la investigación pública financiada por el Estado se convierta en ganancia privada; y finalmente, se establece un trabajo en redes donde los investigadores de los países desarrollados son los que acceden a más y mejores fondos, cuentan con mejores equipos y determinan los temas de investigación.

1.4.4. Invención e innovación

El desarrollo tecnológico comprende dos actividades distintas: invención e innovación. La primera consiste en desarrollar nuevas tecnologías, mientras que la segunda tiene que ver con explotar comercialmente o poner en práctica nuevas tecnologías. La invención proporciona

las bases para la creación de una innovación, y esta última influye directamente en la eficacia, la productividad y el aprovechamiento, es decir, está relacionada con crecimiento económico (Beatty y Orensanz, 1996: 570).

Lara (1998: 17) apunta que el proceso de innovación tecnológica abarca cuatro fases: la investigación, el desarrollo tecnológico, la aplicación y adopción, y el perfeccionamiento. Cada fase se puede dividir en etapas, tiene mecanismos de evaluación, persigue objetivos diversos y se ubica en diferentes lugares (ver el cuadro 1.1).

Cuadro 1.2. Fases y procesos de la innovación tecnológica

Fases	Investigación		Desarrollo tecnológico		Aplicación y adopción		Perfeccionamiento
Etapas	Básica	Aplicada	Invencción	Desarrollo prototipo industrial	Mejora de procesos de manufactura	Creación de mercados	Ampliación de mercados
Evaluación	Publicación, citas, pares	Cliente, pares	Patentes	Patentes oportunas.	Ahorro de costos de producción	Ventas	Participación en el mercado
Objetivos	Conocimiento de la naturaleza y la sociedad	Solución de un problema	Desarrollo de tecnología central	Desarrollo de tecnología específica	Desarrollo de tecnologías de producción	Comercialización y consumo	Mejoras y variación
Ubicación	Universidades	Centros de investigación aplicados	Centros de desarrollo de tecnología	Laboratorios empresariales	Departamentos de ingeniería	Departamentos de mercadotecnia	Departamentos de ingeniería

Fuente: extraído de Lara, R. F. (1998). Actores y procesos en la innovación tecnológica. En *Tecnología: Concepto, problemas y perspectivas* (1ra Edición: 5–21). Siglo Veintiuno Editores S.A.

El papel que se le ha otorgado a la tecnología e innovación (dejando como un prerrequisito a la ciencia), como elementos indispensables para el desarrollo económico al ser necesarios para llevar a cabo una renovación industrial, permitió su inclusión en planes, programas e informes de gobiernos y organismos multilaterales. Según Albornoz (2013), es a partir de los años setenta cuando se incluyó la palabra “innovación” en las políticas públicas, debido a que fue considerada un elemento estructurador de la reconversión industrial en los países desarrollados.

Sin embargo, el papel del cambio tecnológico y la innovación en el desarrollo económico ya había sido discutido por Joseph A. Schumpeter (1883-1950) en su libro *The Theory of Economic Development. An Inquiry into Profits, Capital, Credit, Interest, and the Business Cycle*, publicado en 1911; y anteriormente por Marx cuando explicó su teoría del plusvalor relativo en sus múltiples obras. Aunque se considera que Schumpeter es el principal

expositor, bien señalan Foladori y Invernizzi (2009) que el bagaje teórico y conceptual de las políticas de CyT es schumpeteriano y neoschumpeteriano; por eso emplean términos como innovación, *catching up*¹⁵, *start ups*¹⁶, *spinover*¹⁷ [sic], entre otros.

Schumpeter retomó las ideas de Jean B. Say sobre la función del empresario, además empleó el término “innovación” para delinear los efectos de las transformaciones en el sistema económico, ya fuera por la introducción de un nuevo bien, la apertura de un nuevo mercado o la creación de una nueva organización de cualquier industria (Guajardo, 2006); además, basándose en las ideas de Marx, sostuvo que:

el cambio tecnológico es endógeno al sistema capitalista, puede ser explicado por su propia lógica interna, es un proceso acumulativo (evolutivo en términos schumpeterianos) y genera diferenciación entre aquellos que mejoran sus condiciones productivas por la innovación y quienes permanecen con las tecnologías (Foladori y Invernizzi, 2009: 5).

Foladori y Invernizzi (2009) explican que para Marx la innovación tecnológica está basada en la tendencia a incrementar productividad del trabajo para obtener una ganancia extraordinaria. Aunque la productividad puede aumentarse exclusivamente por medio de la intensificación de la explotación de la fuerza de trabajo (plusvalor absoluto), Marx explica que las luchas sociales y la difusión de adelantos tecnológicos (plusvalor relativo) igualan la posibilidad de incrementar la productividad en las sociedades capitalistas avanzadas.

Para el marxismo el cambio tecnológico equivale al desarrollo cualitativo de las fuerzas productivas en un cuadro de relaciones de propiedad definidas por el modo de producción prevaleciente. Innovar significa incrementar la fuerza social del trabajo en condiciones impuestas por las relaciones de producción dominantes. Bajo el capitalismo las normas que definen cómo, cuándo, y para qué se innova son las leyes de acumulación. El

¹⁵ Se refiere a “un modelo de transferencia tecnológica basado en la imitación y captación de tecnología creada por un tercero, esquema que ha sido empleado activamente en Corea y Japón, países que han basado su desarrollo en la captación e imitación de tecnologías de terceros países” (López G., Mejía C. y Schmal S., 2006: 77).

¹⁶ “Podría definirse una ‘startup’ como una empresa emergente, normalmente con un alto componente tecnológico, con grandes posibilidades de crecimiento y que, por lo general, respalda una idea innovadora que sobresale de la línea general del mercado” (BBVA, 2020: 1).

¹⁷ “A la derrama de conocimientos tecnológicos en una economía se le conoce como *spillovers* de conocimientos” (Méndez, 2017: 1).

cambio tecnológico es un fenómeno social, porque está enteramente determinado por las características de sistema capitalista (Katz, 1996: 4).

Schumpeter retoma estas ideas explicadas por Marx con la finalidad de realizar una crítica a la teoría neoclásica, que considera al cambio tecnológico una variable exógena. Algunos de los precursores de ese enfoque fueron Abramovitz (1956), Solow¹⁸ (1956, 1957), Swan (1956) y Kendrick (1956), quienes aseguraban que no hay cambio tecnológico al interior del modelo, es decir, no lo consideraban como una variable endógena. En esta concepción la actitud del proceso innovador es apenas visible, pues se habla de factores productivos estáticos con productividades decrecientes (Jiménez, 2018).

En su trabajo, Schumpeter señaló la innovación como causa del desarrollo económico y al empresario innovador como propiciador de los procesos de innovación (Bernal, 2010); al principio, sostuvo que el desenvolvimiento económico se determina a partir de elementos socioculturales y el progreso de la tecnología, asimismo, concedía a la innovación y al empresario emprendedor centralidad en el desarrollo de su teoría; señalaba al capitalismo como un proceso en evolución y que:

esta evolución no consiste en factores externos (incluso políticos) sobre el proceso capitalista, ni en los efectos de un lento crecimiento del capital, de la población, etc..., sino de esa especie de mutación económica, me atrevo a usar un término biológico, a la que he dado el nombre de innovación (Schumpeter, 1957: 12)

Treinta años después, Schumpeter publicó su obra *Capitalismo, socialismo y democracia*, en la que presenta nuevas conceptualizaciones teóricas sobre la innovación, basadas en su análisis sobre el carácter dinámico del capitalismo.

¹⁸ Sin embargo, hay que hacer una precisión sobre la teoría de Solow, quien agregó a su modelo inicial un factor explicativo externo, “el cambio técnico”, esto al considerar que genera efectos en la renta de un país. Bernal, (2010) asegura que la contribución de Solow consiste en cuantificar el progreso técnico de forma residual (residuo de Solow) para explicar que las variaciones de la producción son causadas por el progreso técnico. En este sentido, Merton Solow (2018 [1987]: 25) expone lo siguiente: “El modelo formal omitió un mecanismo cuya ausencia sesgaría claramente las predicciones contra la inversión. Es lo que yo denomino “incorporación”: el hecho de que mucho progreso tecnológico, quizás la mayor parte, puede llegar a participar en la producción actual sólo mediante la utilización de capital nuevo y diferente. Por lo tanto, la efectividad de la innovación en el incremento de la producción será influida por la tasa de inversión bruta. Una política para incrementar la inversión conducirá así no sólo a una mayor intensidad en el uso del capital, lo que puede no ser muy importante, sino también a una transferencia más rápida de nuevas tecnologías a la producción corriente, lo que sí sería importante”.

El capitalismo es, por naturaleza, una forma o un método de transformación económica y no solamente no es jamás estacionario, sino que no puede serlo nunca. Ahora bien: este carácter evolutivo del proceso capitalista no se debe simplemente al hecho de que la vida económica transcurre en un medio social y natural que se transforma incesantemente y que, a causa de su transformación, altera los datos de la acción económica; este hecho es importante y estas transformaciones (guerras, revoluciones, etc.) condicionan a menudo el cambio industrial, pero no constituyen su móvil primordial (Schumpeter, 1983 [1942]: 120).

Desde esta nueva postura puso mayor énfasis en la innovación y señaló que el emprendedor no tiene que ser un individuo, sino que un país o su agenda pueden actuar como tal. Además, la empresa y los grandes bancos toman un papel central (Śledzik, 2013). Aunado a ello, parte de la base de que la tecnología está en el mercado y no se preocupa cómo se desarrolla. En este sentido, se puede afirmar que se dio un tardío redescubrimiento de la teoría del desenvolvimiento económico de Schumpeter. La innovación fue el centro de los discursos modernizadores en América Latina; se le consideró el principal instrumento para transformar la estructura productiva y aumentar la equidad social. Pero los discursos estuvieron alejados de diagnósticos sobre las problemáticas locales y la madurez tecnológica de cada región (Albornoz, 2013).

Las actuales políticas de CTeI parten del discurso evolucionista; se coloca como objetivo central de área la creación innovaciones con la capacidad de competir en el mercado y generar ganancia, dejando en segundo plano la resolución de necesidades que debería de ser su principal objetivo.

Reflexiones finales

La fuerza de trabajo ha sido, desde la instauración del capitalismo, el principal mecanismo para incrementar las ganancias y la acumulación de capital, las condiciones de trabajo impuestas por la misma dinámica del modo de producción comenzaron a hacer eco en la calidad de vida y bienestar de la población, lo que colocó la salud como un elemento indispensable para asegurar su progreso y expansión. En tal sentido, el Estado se convirtió en el principal instrumento de la clase capitalista al asegurarles trabajadores sanos y productivos mediante la instauración de sistemas públicos de salud.

Con el surgimiento de la medicina química o científica se avanzó en el entendimiento de las enfermedades. Los científicos descubrieron que hay agentes patógenos que provocan algunos padecimientos, lo cual se convirtió en un logro para la medicina, desde el punto de vista técnico; no obstante, esto ocultó el análisis de las relaciones sociales y su efecto en la vida, es decir, la relación que existe entre la expansión del capitalismo y las enfermedades de los trabajadores. En otras palabras, se hizo de lado el análisis social, el cual considera a los aspectos económicos, productivos, ambientales y demográficos como principales causantes de las enfermedades.

El proceso salud-enfermedad está condicionado socialmente y en las formas en que se organiza una sociedad para producir y reproducirse, es decir, en la forma de producción dominante. Desde esta perspectiva deja de concebirse como algo exclusivamente biológico y e individual (Rojas, 1999). Sin embargo, como señala Palomo (2005), los tomadores de decisiones algunas veces son inconscientes que la desigualdad en salud no es atribuible únicamente al aspecto biológico ni a estilos de vida libremente elegidos. Los problemas sanitarios son resultado de diversos factores socioeconómicos y ambientales.

La salud en el desarrollo se muestra como dependiente del crecimiento económico, sin embargo, el incremento del gasto en este rubro no necesariamente mejorará el estado de salud de la población; para ello es necesario considerar otros aspectos que están ligados a las estructuras históricas, políticas y sociales, como son la distribución del ingreso, la justicia social y la disminución de la desigualdad entre clases sociales. Es decir, se deben entender la salud y el desarrollo en un sentido más amplio relacionándolos con el acceso y ejercicio de derechos, con el mejoramiento de la calidad de vida y con el bienestar.

Capítulo II. Aspectos generales de la biotecnología

El empleo de la biotecnología tradicional en procesos de fermentación para la elaboración artesanal de productos de uso común se remonta aproximadamente al 8000 a.C. Con el paso del tiempo los procesos de preparación mejoraron a partir mecanismos de prueba y error con una base empírica. Sin embargo, el advenimiento de la biotecnología moderna se dio gracias a la aplicación constante de procedimientos científicos.

El surgimiento de la biotecnología moderna incrementó las expectativas de científicos y académicos sobre los beneficios sociales y económicos que podían resultar de su uso, debido a que se multiplicaron las aplicaciones y los sectores en los que tiene injerencia. A la par, surgieron cuestionamientos ambientales, sociales y económicos sobre el impacto negativo de su uso, haciendo necesaria la creación de políticas de regulación.

Este capítulo trata aspectos esenciales de esta tecnología como usos, aplicaciones y clasificaciones; además, aporta un recuento sobre su desarrollo. Está dividido en dos secciones: la primera describe qué es la biotecnología y cuándo surgió; explica el paso de la biotecnología tradicional a la moderna, y finalmente muestra sus principales aplicaciones haciendo énfasis en el área de la salud. En la segunda sección se revisan los principales cuestionamientos y debates que giran en torno de esta tecnología.

2.1 Surgimiento y desarrollo de la biotecnología

El uso de la biotecnología para transformar la naturaleza no es nuevo; se tienen evidencias de que varios siglos atrás comenzó a utilizarse para resolver problemas cotidianos. De acuerdo con Bisang *et al.* (2009) y Morones (2009), el uso de procesos biológicos (levaduras) fue la principal herramienta para transformar la materia prima en productos. Existen registros de que en el año 8000 a. C. se utilizaron en procesos de fermentación para la elaboración de vino, queso, yogurt, pan, vinagre y otros productos. Más adelante, durante la SGM, se ampliaron los conocimientos relacionados a la fermentación (una de las aplicaciones más rudimentarias de la biotecnología) con la finalidad de producir cerveza. Martínez (2013) asegura que esto fue posible gracias a los trabajos realizados por Louis Pasteur que explicaron

cómo los microorganismos funcionan como agentes activos en la producción de cerveza, vino y en la descomposición de alimentos.

En esta época se utilizaron los conocimientos obtenidos durante varios siglos de progreso en el campo de la medicina, en específico, en la producción masiva de penicilina. Martínez (2013) señala que, a pesar de que Fleming descubrió la penicilina en 1928, fue hasta 1940 cuando comenzó a producirse en masa, para ello se utilizó tecnología proveniente de la industria alimentaria que permitió la fermentación a gran escala, proceso que hasta entonces se llevaba a cabo en botellas. La fabricación de este medicamento fue uno de los primeros aportes de la biotecnología a los sistemas mundiales de salud.

Gran parte de estas contribuciones pertenecen al uso de la biotecnología tradicional. La creación de estos productos fue resultado de hechos fortuitos, ya que se ignoraban las razones por las cuales sucedían los procesos biológicos (ProMéxico, 2017). Estos productos mejoraron poco a poco a partir de mecanismos de prueba y error (técnica), es decir, el ser humano comenzó a estudiarlos y en conjunto con otras disciplinas científicas, entre las cuales destaca la química, fueron perfeccionados ya entrado el siglo XIX (Bisang, Campi y Cesa, 2009, ProMéxico, 2017). En otras palabras, en un primer momento se empleó una base empírica para la creación productos, mientras que el uso constante y consciente de procedimientos científicos para el desarrollo de nuevos conocimientos y la mejora de otros dio pie a la transición de la biotecnología tradicional a la moderna (molecular y atómica) (ver figura 2.1).

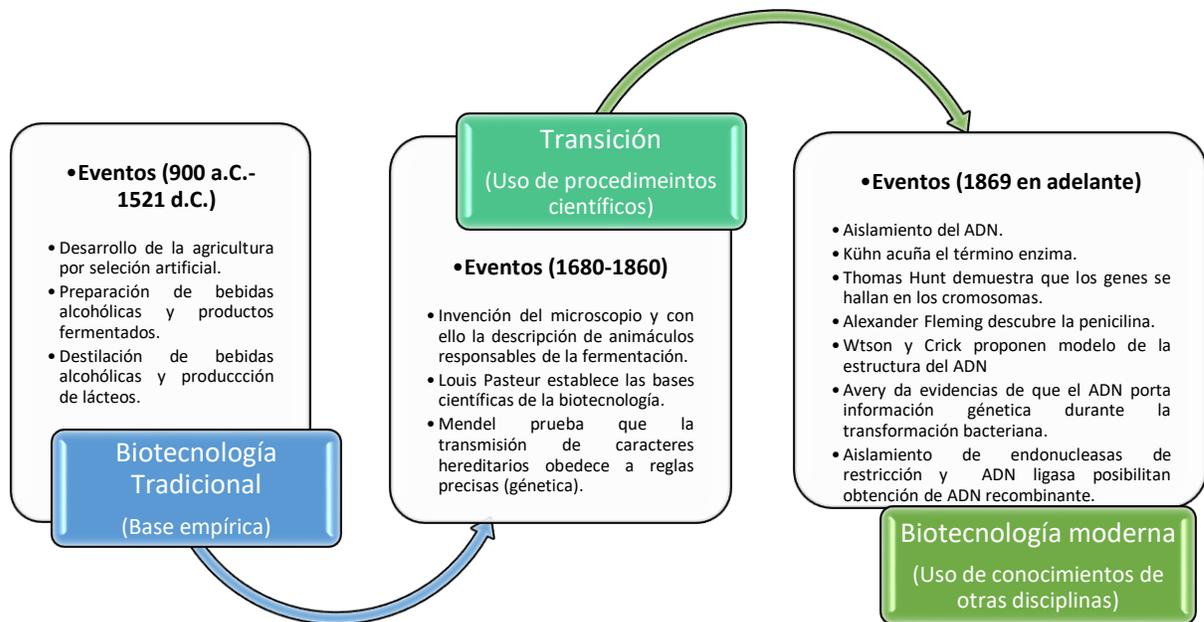
Los descubrimientos que permitieron el desarrollo posterior de la biotecnología de tercera y cuarta generación, es decir, la biotecnología moderna, fueron: i) el estudio y descubrimiento de la estructura del ADN, molécula que contiene toda la información en código capaz de producir un ser vivo (atribuidos a Watson y Crick en 1953), ii) y el hallazgo por Cohen y Boyer del ADN recombinante que permite intercambiar pedazos de ADN de distintos organismos en 1973 (Escobar, 2008: 16, Morones, 2009). Gracias a estos descubrimientos:

Las investigaciones avanzaron en la identificación de cada gen, sus funciones asociadas, las formas de relación con las proteínas y otros mecanismos de la compleja biología de las células. De allí surgió rápidamente el interés por el uso aplicado de los avances científicos: la manipulación de los códigos del ADN de cada ser vivo, la posibilidad de copiar individuos

(clonar), la identificación de qué gen corresponde a qué rasgo (estructural y/o funcional), guiaban investigaciones. Muy pronto -ya a mediados de los sesenta- estos avances científicos abandonaron el plano teórico y sirvieron de base para el desarrollo de nuevos productos y procesos (Bisang, Campi y Cesa, 2009: 12).

Asimismo, es importante subrayar que el surgimiento de la biotecnología moderna no hubiera sido posible sin los conocimientos obtenidos a través de todos los siglos de avances. Al respecto, ProMéxico (2017) señala que la biotecnología tradicional y la moderna son complementarias entre sí, mientras que la primera, dominada generalmente por diversas industrias, permite producciones de alto volumen; la segunda, aún en desarrollo, cede el surgimiento de adelantos de alto valor agregado.

Figura 2.1 Transición de la biotecnología tradicional a la moderna



Fuente: elaboración propia con base en Corona (2011).

Los avances que marcaron la evolución de esta tecnología permitieron clasificarla en generaciones. Algunos autores (Díaz y Rodríguez, 2016; Trejo, 2010) manejan cuatro generaciones del progreso biotecnológico, y a cada una se le atribuyen características y adelantos particulares:

- i) La primera se refiere al uso de la biotecnología tradicional de fermentaciones, que incluye la elaboración de bebidas alcohólicas, pan, vinagre, productos lácteos y alimentos fermentados tradicionales.
- ii) La segunda está relacionada con las fermentaciones industriales y producción de compuestos en alimentación, farmacia y procesamiento de materiales. En esta generación los procesos biológicos son controlados para cumplir funciones específicas utilizando los entonces incipientes conocimientos de la microbiología y la bioquímica.
- iii) La tercera marca el comienzo de la biotecnología moderna a partir del uso dirigido de sistemas para modificar las propiedades genéticas de un organismo, es decir, tiene que ver con el manejo de genes, uso del ácido desoxirribonucleico (ADN) y ADN recombinante (ingeniería genética), clonación de células, etcétera.
- iv) La cuarta se caracteriza por una integración más completa de las distintas disciplinas que intervienen en el progreso del área. Se centra en los avances sobre biología molecular (genómica, proteómica y metabolómica), en específico, en el descifrado completo del genoma de un organismo.

La evolución de la biotecnología en estas etapas engloba una diversidad de técnicas como: la creación de organismos transgénicos, la clonación, las terapias génicas, el uso y manipulación de organismos vivos, el cultivo de células y tejidos, la transferencia de embriones y la tecnología del ADN recombinante (ingeniería genética), entre otras (Martínez, 2013, Grupo ETC, 2020). Sin embargo, la rápida evolución de la CyT, en especial el surgimiento de la biología sintética, permite vislumbrar el nacimiento de la quinta generación del progreso biotecnológico. Al respecto el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente[PNUMA] (2016:1) señala que:

la biología sintética representa un nuevo avance y una nueva dimensión de la biotecnología moderna que combina la ciencia, la tecnología y la ingeniería para facilitar y acelerar la comprensión, el diseño, el rediseño, la fabricación y la modificación de materiales genéticos, organismos vivos y sistemas biológicos.

De igual manera el FCCyT (2018: 1) menciona que:

La Biología Sintética (BioS) se enfoca en la comprensión, diseño y construcción de nuevos sistemas vivos y sus componentes; desde genes, proteínas o partes de una célula, hasta organismos vivos genéticamente modificados (OGMs) y comunidades artificiales de microorganismos. Su objetivo es generar *sistemas biológicos sintéticos* (Sistemas-BS), que realicen funciones distintas o mejores a las que existen en la naturaleza, generalmente con aplicaciones tecnológicas (cursivas nuestras).

Por su parte, el Grupo ETC, (2019a: 1) indica que la biología sintética:

reúne la ingeniería y las ciencias de la vida para diseñar y construir nuevos insumos biológicos que no existen en el mundo natural (organismos y artefactos) o para modificar los diseños existentes en los sistemas biológicos. Quienes promueven la biología sintética persiguen un tipo de "ingeniería genética extrema" en la esperanza de construir sistemas vivos artificiales que desempeñen tareas como la producción de energéticos o compuestos farmacéuticos.

Actualmente, empresas y grupos de investigación en todo el mundo están dejando atrás la producción de organismos modificados genéticamente y orientado las exploraciones al desarrollo de la biología sintética, es decir, al diseño y ensamblaje de grupos de genes para su expresión génica en sistemas biológicos, con la intención de modificar una ruta metabólica y genomas completos (Garro, 2016). En este sentido, Ribeiro (2016) asegura que las mayores empresas globales petroleras, químicas, farmacéuticas y de agronegocios desarrollan productos derivados de esta tecnología. Algunos ejemplos son combustibles a partir de biomasa; metabolismo de bacterias y levaduras para sintetizar compuestos de alto valor agregado, como farmacéuticos, saborizantes y fragancias; versiones de artemisa, vainilla, azafrán, pachuli, vetiver, aceite de coco y de rosa, stevia y ginseng; entre otros.

En este sentido, el uso de la biología sintética en el campo biotecnológico ha generado nuevas expectativas acerca de los beneficios económicos y sociales que pueden resultar de su uso. Sin embargo, también surgieron dudas acerca del impacto que traerá al ambiente y a la salud. Al extenderse estas aplicaciones al plano comercial e industrial aumentó la polémica en torno de esta tecnología. De esta forma, desde hace más de una década comenzaron a realizarse evaluaciones de riesgo para investigar sus efectos negativos. El Grupo ETC (2012, 2019b) señala que desde 2007 distintos gobiernos y expertos comenzaron a tratar temas

relacionados con el uso de biología sintética, como los retos de la gobernanza y los riesgos ambientales y a la salud. Desde entonces se incrementaron las comisiones que examinan las implicaciones ambientales, éticas, legales y sociales; incluso se ha negociado el tema en el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CDB) desde 2010. A pesar de lo anterior, no existe aún un aparato exhaustivo que cubra todos los aspectos de esta tecnología.

A la fecha, ningún organismo sintético se ha sometido a evaluación de riesgo ambiental. Las principales áreas de desarrollo de organismos sintéticos incluyen la producción de algas que serán liberadas en estanques e hidro vías; el desarrollo de microbios y enzimas capaces de descomponer la celulosa de la madera, los pastos y otros materiales celulósicos; y microbios sintéticos diseñados para la extracción de petróleo y gas, la remediación de suelos y la limpieza de derrames petroleros —todo lo cual presenta amenazas considerables al ambiente en el momento de su liberación (Grupo ETC, 2012: 4).

En 2016, durante la Conferencia de las Partes para el Convenio sobre la Diversidad Biológica se mencionó que las metodologías de evaluación del riesgos plasmadas en el Protocolo de Cartagena y otros marcos de seguridad de la biotecnología podrían ser buenas bases para determinar los impactos de la biología sintética, sobre todo en las etapas iniciales de investigación, sin embargo, se aceptó la necesidad de actualizarlas y adaptarlas a las características y avances de esta tecnología (PNUMA, 2016). El Grupo ETC (2012: 4) menciona algunos aspectos de la normativa actual que no contemplan las características de la biología sintética:

Mientras la definición estricta de un Organismo vivo modificado (OVM) bajo el Protocolo de Cartagena supuestamente incluye a los productos de la biología sintética, la conceptualización del Protocolo no ocurrió tomando en cuenta a la biología sintética: no cubre la transferencia virtual (digital) de secuencias de ADN, que son rutinarias dentro de la biología sintética; no cubre la transferencia de partes biológicas sintéticas aunque dichas partes, en “juegos” o bloques, puedan adquirirse ya listas y reconstituidas en un organismo viable; y permite el libre movimiento de organismos sintéticos destinados para uso confinado sin considerar las diferentes necesidades de confinamiento que puedan requerirse. Al enfocarse en la transferencia física de material, el Protocolo de Nagoya sobre Acceso y Participación en los Beneficios descuida, de manera similar, la síntesis de partes genéticas y

rutas metabólicas a partir de información genómica digital, creando un hueco que hace posible la “biopiratería digital” de los recursos genéticos.

Más tarde, en 2017, el Grupo Especial de Expertos Técnicos en Biología Sintética del Convenio sobre Diversidad Biológica reconoció que el ritmo acelerado en que esta se desarrolla plantea incertidumbre acerca de la capacidad de realizar evaluaciones de riesgo que incluyan un análisis exhaustivo de los posibles efectos negativos que pueden causar (PNUMA, 2017).

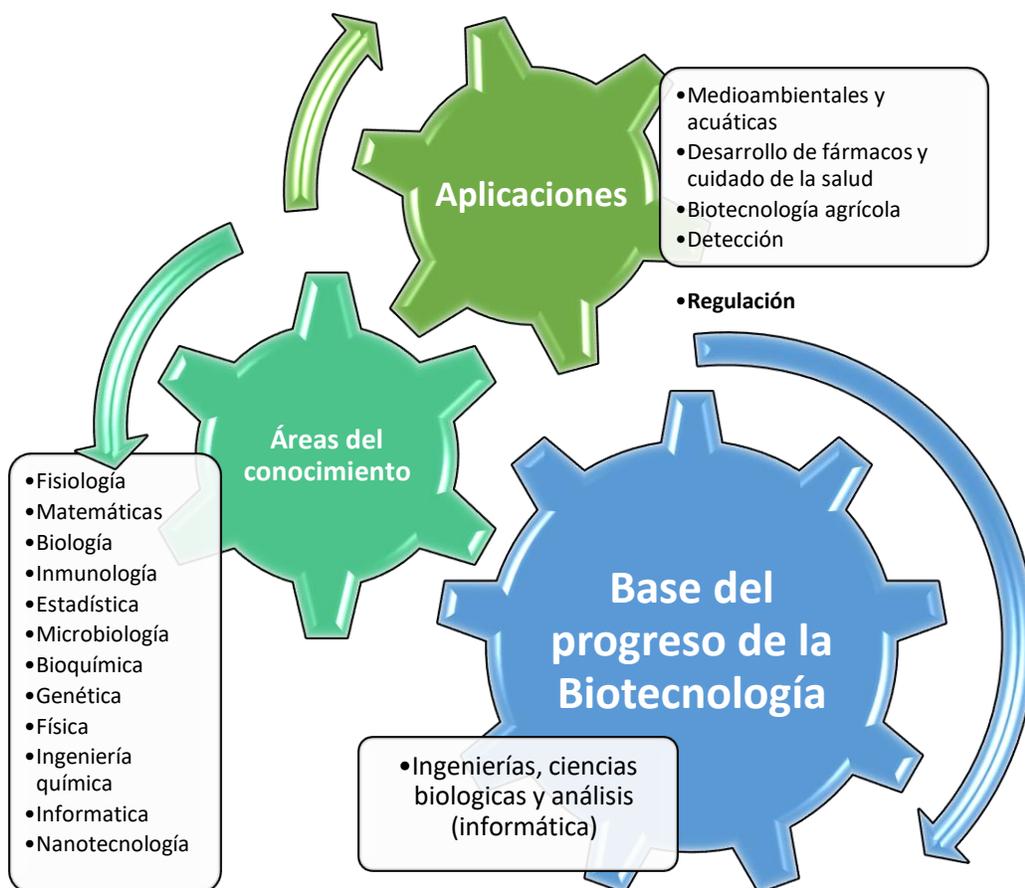
En el caso de México, en el 2015, a solicitud del grupo de expertos técnicos del Convenio sobre Diversidad Biológica, la CIBIOGEM formó un grupo de trabajo integrado por 11 investigadores expertos en Biología Sintética para participar en discusiones internacionales sobre el uso de esta y desarrollar documentos técnicos en respuesta a solicitudes del Convenio sobre Diversidad Biológica (CONACYT, 2015, PNUMA, 2015). Desde entonces, esta comisión ha liderado las averiguaciones sobre los posibles beneficios y riesgos del uso de esta tecnología. A pesar de lo anterior, las evaluaciones son parciales dado que aún se estudia la forma en que los organismos artificiales actúan en distintos entornos. Al respecto, El FCCyT (2018) reconoce que algunos desarrollos derivados de la biología sintética representan riesgos potenciales al interactuar con seres vivos; advierte que podría afectar irreversiblemente la biodiversidad con “contaminación viva”, si estos organismos son liberados al medio ambiente de manera no controlada, o bien, al registrarse comportamientos no previsibles.

A grandes rasgos, el progreso biotecnológico pasó del uso de procesos biológicos para la creación de productos a su posterior control; después buscó conocer el funcionamiento de la estructura genética y manipularla. La frontera actual de la biotecnología ligada a la biología sintética trata de fabricar estructuras genéticas u organismos vivos completamente artificiales que cumplan funciones preestablecidas por programas informáticos con el afán de manipular la vida misma; su objetivo central es incrementar las aplicaciones comerciales y productivas de la biotecnología. Los impactos negativos de estas estructuras u organismos artificiales son analizados actualmente. Asimismo, se discute la capacidad del marco normativo vigente, puesto que fue creado antes del surgimiento de estas innovaciones, por lo cual no considera sus peculiaridades.

2.1.1 Aplicaciones

Los sucesos que marcaron el surgimiento de la biotecnología moderna fueron: la manipulación el ADN, el nacimiento de la ingeniería genética y, recientemente, el surgimiento de la biología sintética. Esto se dio gracias al uso de los conocimientos surgidos durante siglos de evolución y a los aportes obtenidos de otras disciplinas del conocimiento, tales como: la biología, bioquímica, genética, virología, agronomía, ingeniería, química y medicina; es decir, las ciencias básicas y las ingenierías apoyadas de la informática (para el análisis de datos) son la base de su progreso.

Figura 2.2 *Áreas del conocimiento involucradas en el desarrollo de la biotecnología*



Fuente: elaboración propia con base en W. J Thieman y Palladino (2010).

El carácter multidisciplinario de la biotecnología permitió la diversificación de sus aplicaciones en diferentes ramas y sectores, algunos considerados centrales para el desarrollo, por ejemplo, algunos biotecnólogos creen que las innovaciones elaboradas para el sector agrícola pueden ayudar a fomentar la seguridad alimentaria de un país. Al respecto, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO, 2000) señala que la biotecnología puede ayudar a las personas afectadas por el hambre de varias formas: mejorando el rendimiento de los cultivos, reduciendo los costos de producción, incrementando el valor nutrimental de los productos, etcétera. En el mismo sentido, el Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (CEDRSSA, 2009: 34) señala que esta tecnología en su sentido amplio, es decir, en el ámbito social, puede ser empleada en el mejoramiento de la calidad de vida de la población y en el cuidado de la diversidad biológica. Este es solo un ejemplo de las posibles aplicaciones de esta tecnología y de las razones por las cuales se ha impulsado su progreso en prácticamente todo el mundo (aunque en mayor medida en los países desarrollados).

Por su parte, Bolívar (2001) asevera que los primeros productos obtenidos de la biotecnología moderna estuvieron relacionados con el campo de la salud, por ejemplo, la creación de insulinas, interferones y hormonas de crecimiento. Posteriormente, los avances se extendieron al sector agrícola y pecuario mediante la creación de plantas y animales transgénicos. El tercer sector en el cual se tuvo injerencia fue el industrial, con la unión de la industria química a la biotecnológica. En el mismo sentido, Casas *et al.* (1992) y Correa (1989) aseguran que desde 1950 hasta 1980 se observó una rápida diversificación de las aplicaciones biotecnológicas en distintos sectores, como el agrícola y alimentario, el sanitario y farmacéutico, el medioambiental, el químico, el energético, el minero y de servicios.

Algunos ejemplos específicos de sus usos son la mejora genética de especies vegetales y animales, la producción de alimentos mejorados, la creación de mecanismos de remediación ambiental, el desarrollo y producción de medicamentos, vacunas y tratamientos para mejorar la salud humana, entre otros (ver cuadro 2.1).

Cuadro 2.1. Aplicaciones potenciales de la biotecnología moderna	
Salud	<ul style="list-style-type: none"> • Producción de proteínas para fabricar medicamentos • Medicamentos desarrollados y cultivados como productos vegetales • Identificación y clasificación de genes defectuosos • Terapia génica para reemplazar genes enfermos por normales • Tecnología de células madre

	<ul style="list-style-type: none"> • Uso de etnobotánica para la identificación de nuevos fármacos, enzimas y aditivos • Vacunas biotecnológicas • Diseño de alimentos bajos en sales y colesterol para atender el nuevo perfil epidemiológico • Técnicas de diagnóstico de enfermedades más eficientes • Diseño de fármacos efectivos de acuerdo con el perfil genético de los pacientes (farmacogenómica) • Producción de dispositivos médicos • Terapias específicas con efectos colaterales mínimos desarrolladas mediante mejor conocimiento biológico y genético de la enfermedad
Agricultura y alimentario	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas transgénicas resistentes a plagas, sequías y frío • Domesticación de especies vegetales • Adaptación genética de variedades agrícolas a las características del suelo y disponibilidad de agua • Mejora en la calidad de granos, frutas y hortalizas • Producción de frutas y hortalizas resistentes a los insectos • Creación de semillas mejoradas que necesiten de menos plaguicidas y fertilizantes • Alimentos de mayor contenido proteico o vitamínico • Incrementar la vida postcosecha de alimentos • Bio-control de plagas agrícolas y producción de biopesticidas
Medio ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Procesar y degradar sustancias naturales y artificiales que pueden causar contaminación • Tratamiento de contaminación del aire y de aguas residuales domésticas e industriales • Disminución de la deforestación con el uso de semillas genéticamente mejoradas • Uso de microorganismos para procesar agentes contaminantes (haciéndolos inertes o benignos), utilización de biosensores para detectar elementos dañinos para el entorno • Sistemas de eliminación de gases y de residuos tóxicos • Conversión de desechos en energía y producción de plásticos “verdes” • Prueba de contaminantes, manejo de salinidad y protección del suelo • Redoblamiento vegetal, conservación y protección de la biodiversidad
Recursos marinos y acuicultura	<ul style="list-style-type: none"> • Cría controlada de pescados y mariscos • Producción de variedades de ostras resistentes a enfermedades • Creación de pescados y mariscos transgénicos para incrementar su crecimiento en un corto periodo de tiempo • Estudio genético de animales marinos que viven en condiciones extremas • Potenciación del sabor • Técnicas de control de población (inducción de la esterilidad)
Pecuario	<ul style="list-style-type: none"> • Mejora genética de ganado (nuevas razas y métodos eficientes de propagación de ganado) • Productos de alimentación animal (fermentación láctica de melaza para alimento animal) • Caracterización del ganado por marcadores moleculares • Manipulación de los genes asociados a la calidad de la carne • Trasplante de embriones y clonación de animales superiores • Sanidad animal: vacunas y pruebas de diagnóstico para enfermedades en los animales • Creación de animales genéticamente modificados para la obtención de productos industriales, farmacéuticos u órganos para trasplantes • Hormonas de crecimiento para incrementar la productividad pecuaria
Industrial y otros	<ul style="list-style-type: none"> • Lixiviación de aceite y minerales del suelo para incrementar la eficiencia de la explotación minera • Restauración de minas • Conversión de biomasa para producir combustibles, energía y compuestos químicos • Uso de huellas génicas para el análisis forense • Uso de herramientas biotecnológicas de diagnóstico y certificación de calidad • Producción de biomateriales (algodón o la madera para fabricar envases, embalajes y tejidos) y de bioplásticos a partir de biopolímeros

- | |
|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Elaboración de detergentes y papel, reduciendo consumo de energía e impacto ambiental • Aromas y acentuadores de sabor • Tecnologías enzimáticas para la elaboración y extracción de productos • Alimentos fermentados (cervezas, quesos) • Enzimas de quesería y los productos lácteos deslactosados y de aditivos alimentarios |
|--|

Fuente: elaboración propia con base en Bolívar Zapata (2001), W. J Thieman y Palladino (2010), ProMéxico (2017), Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2009) y Academia Mexicana de Ciencias (2002).

Considerando lo anterior y, derivado de la multiplicidad de disciplinas que intervienen en el progreso de la biotecnología moderna, se han diseñado diferentes tipologías o clasificaciones. William J. Thieman y Palladino (2010b) la catalogan dependiendo del campo de estudio: microbiana, vegetal, animal, genética, para la biorremediación, acuática y médica. Otros diseñaron una categorización por colores que está basada en las aplicaciones que de ella se desprenden (Sánchez, 2011: 53):

1. Biotecnología roja: involucra el uso de la biotecnología en áreas de salud humana y animal, por ejemplo, el diagnóstico molecular, ingeniería celular, moléculas terapéuticas y la terapia génica.
2. Biotecnología verde: se aplica en la agricultura y agroalimentación, la investigación y obtención de plantas genéticamente modificadas.
3. Biotecnología blanca: está relacionada con la utilización de sistemas biológicos, procesos enzimáticos y fermentativos con aplicaciones industriales en sectores como el químico y energético.
4. Biotecnología gris: se orienta a usos ambientales, desarrollando soluciones tecnológicas para proteger el medio ambiente.
5. Biotecnología azul: se refiere a aplicaciones en organismos de origen marino.

Respecto de la biotecnología orientada a la salud, como ya se mencionó, sus primeros estuvieron orientados a la creación de procesos y productos que atendieran problemas sanitarios. Por ejemplo, durante la SGM se incrementó la demanda de antibióticos, por lo cual, empresas como Pfizer, Merck y Squibb la usaron para dar abasto a las necesidades de la época; de esta forma, comenzó el diseño de estrategias para mejorar la genética de compuestos terapéuticos. Desde entonces, el sector salud fue el principal receptor de adelantos provenientes de la ingeniería genética y la biotecnológica (Corona, 2011).

Asimismo, algunos autores (Reguero y Cardozo, 1988, Salomón, 2009, Gutman y Lavarello, 2010) sostienen que la biotecnología roja alcanza importancia cardinal en el cuidado de la salud en la década del setenta, gracias al desarrollo de la biología molecular, la ingeniería genética y el descubrimiento del ADN, lo cual permitió avanzar en el conocimiento de la etiología de algunas enfermedades, el diseño de procesos de inmunización, terapia génica; la elaboración de biofármacos (vacunas, insulinas hormonas de crecimiento, interferones y productos con tecnología de células madre), la protección y remediación del medio ambiente y la mejora genética de alimentos y animales, entre otros.

La transición de la biotecnología tradicional a la moderna tuvo impacto en el área de salud, dado que propició una transformación en las técnicas de elaboración de productos farmacéuticos. Bisang, Campi y Cesa (2009: 24–25) señalan algunos cambios:

- a) A través de un conjunto de manipulaciones puede inducirse el desarrollo de fármacos no por síntesis químicas, sino a través de seres vivos; de esta forma se generan a través de fábricas vivientes (animales);
- b) Se modifican bacterias para hacer fármacos más eficientes que los convencionales;
- c) Se conoce el mapa genético de las personas y se trata de identificar los genes disfuncionales, con el fin de remediar -por otras vías- el desequilibrio que representa la enfermedad;
- d) Finalmente, se desarrollan terapias con base en células madres (que posteriormente se pueden reproducir para “regenerar” determinados órganos).

A inicios de los ochenta se lanzaron al mercado los primeros biofármacos obtenidos a través de tecnología de ADN recombinante, entre los que destacan la insulina y la eritropoyetina (Bisang, Campi y Cesa, 2009). A partir de entonces las empresas biofarmacéuticas orientaron sus investigaciones al diseño de nuevos productos que les permitiera diversificar su campo de acción y revitalizar la industria. Morones (2009: 61–63) afirma que los tres objetivos centrales de la investigación biotecnológica en los últimos 35 años se orientan al cuidado y mejora de la salud: i) producir medicamentos mediante la utilización de microorganismos recombinantes (organismos con injertos de información genética de distintos organismos), ii) curar enfermedades genéticas, parchando el ADN defectuoso de pacientes, y iii) desarrollar y diseñar sistemas vivos que ejecuten una función deseada.

Actualmente, los usos de la biotecnología moderna en la salud se clasifican en tres ámbitos: i) terapéutico (desarrollo de nuevas drogas o fármacos), ii) preventivo (vacunas recombinantes) y iii) diagnóstico (inmunoensayos y pruebas genéticas) (Gutman y Lavarello, 2010; Zika et al., 2007). El preventivo es uno de los más importantes ya que el objetivo primordial de los sistemas de salud en todo el mundo es evitar padecimientos y enfermedades. Por ejemplo, el director ejecutivo de la UNICEF, (2019) asegura que si se ampliara la aplicación de vacunas a los 72 países más pobres del mundo se podrían salvar 6.4 millones de vidas más.

Considerando todo lo anterior, algunos organismos internacionales como la OCDE, (2009) consideran que la biotecnología tiene la capacidad de ofrecer soluciones tecnológicas a desafíos de salud, alimentación y sostenibilidad ambiental. Para ello ven necesario el diseño de políticas regionales, nacionales y globales que dirijan su desarrollo y aplicación. En el ámbito de la salud, Morales y Villavicencio (2015) aseguran que esta tecnología puede contribuir a incrementar la calidad de vida, la productividad y el bienestar de los individuos.

A manera de conclusión, el discurso actual destaca la importancia de impulsar investigaciones del sector biotecnológico para incidir en la disminución y/o solución de problemas sociales, ambientales, sanitarios y económicos, y con ello mejorar la calidad de vida y bienestar de la población. Sin embargo, no se puede olvidar que las empresas biotecnológicas que controlan el sector tienen como principal objetivo la obtención de ganancias, no la resolución de problemas sociales, por lo que el uso de las aplicaciones biotecnológicas queda sujeto a la capacidad adquisitiva que las naciones o individuos de adquirirlas. Como ejemplo se puede mencionar que las empresas biofarmacéuticas se han negado a bajar el precio de los medicamentos para tratar el VIH o SIDA, lo que ha provocado miles de muertes en diferentes regiones de África (Médicos sin Fronteras, 2018, McNeil, 2019).

2.2 Debate sobre el uso de la biotecnología

El uso de la biotecnología ha provocado un debate en el que participan científicos, académicos, gobiernos, organizaciones internacionales y la sociedad civil. Guerra (2007: 84) señala que esto se debe a que se ha comprobado que la aplicación de la ciencia de forma

irresponsable no tiene límites, y así como puede beneficiar a la población tiene gran potencial de causar daños. Por lo tanto, es imprescindible realizar un balance sobre la trayectoria del progreso de la biotecnología y analizar el alcance que tienen las aplicaciones de beneficiar a la población, además de mostrar los principales temas en los que gira el debate actual.

Desde finales de los setenta, la biotecnología se ha convertido en objeto de escrutinio público y de debate político, principalmente en los que se refiere a la protección del medio ambiente y de la salud pública. Además, en este debate se analiza el impacto económico en general y los beneficios para los dueños de las herramientas biotecnológicas (Galindo y Gálvez, 2001: 121).

Los cuestionamientos sobre el uso de biotecnología mayormente mencionados en la literatura están relacionados con la modificación, manipulación y creación de nuevos de organismos vivos, y los impactos negativos que puede traer a la naturaleza. Al respecto, Casas *et al.* (1992) señalan que, con el manejo de las moléculas de la vida, el ser humano transforma al mundo y en este campo la biotecnología ofrece grandes potencialidades, pero al alterar las células del ser humano se enfrenta a un gran dilema dado que se puede manipular la herencia genética, y con ello se corre el riesgo de alterar las formas de vida tal y como las conocemos hasta ahora, por lo tanto, su control plantea un reto. Por su parte, el Grupo ETC (2007: 6) señala lo siguiente:

Conforme la atención da un viraje de leer a escribir la información genética (y de hecho organismos completos), los biólogos en sistemas pueden fruncir la nariz con desdén ante los diseños de la naturaleza y favorecer las formas de vida hechas a la medida. Utilizando conceptos de ingeniería prestados de la electrónica y la computación, los biólogos en sistemas construyen versiones simplificadas de bacterias y reprograman ADN como un medio de computar y ensamblar nuevos sistemas genéticos dirigidos por humanos.

Otro tema de suma importancia que es discutido gira en torno del desarrollo de aplicaciones, que son alejadas de las necesidades sociales más apremiantes. Por ejemplo, algunos de los temas destacados son: daños medioambientales producidos, falta de interés de las empresas biotecnológicas de colaborar en la mitigación de hambrunas y en la prevención y/o atención de enfermedades, secuelas en la salud por el consumo de alimentos transgénicos, así como efectos secundarios de las biomedicinas, etcétera.

En general, los problemas que trae consigo el constante avance de la biotecnología en distintos sectores y ámbitos, provoca discusiones éticas y morales sobre las transformaciones que el ser humano está dispuesto a aceptar en el afán de obtener más información y avanzar en el conocimiento de la manipulación, modificación y la creación de organismos vivos. Resultado de esto se han emitido estatutos éticos internacionales que regulan la práctica de científicos e investigadores.

La ética se puede entender desde diferentes perspectivas: la filosófica sugiere la justificación de decisiones de comportamiento; la psicológica, la señala como la manera de pensar y tomar decisiones; la sociológica la concibe como un acuerdo social de conducta; y desde la ciencia política es un sistema de normas para formar una sociedad ordenada (Rodríguez y Hall, 2012). En este contexto, la ética en el marco de la biotecnología define los términos en que son mayores los beneficios obtenidos que los posibles riesgos de uso.

Más específicamente, en el campo de la salud, área de interés de la presente investigación, la bioética es una de las principales herramientas esgrimidas; a pesar de que surgió en el campo médico, se extendió a otras áreas con la finalidad de tratar desacuerdos y evitar afectaciones al bien común, la equidad y la justicia (De Martínez, 2008). La Organización Panamericana de la Salud [PAHO] (2017: 1) la define como:

[U]na disciplina que busca aclarar problemas éticos que surgen en relación a la salud: al hacer investigación con seres humanos, diseñar o implementar una política de salud, y brindar atención médica. La bioética no es un código de preceptos sino una actividad de análisis a la luz de principios y criterios éticos, que guía la práctica en las distintas áreas de la salud.

Según Velasco (1999), este concepto surgió aproximadamente en 1970 y fue acuñado por el oncólogo Van Rensselaer Potter, quien se refirió a ella como ciencia de la supervivencia y dio pie a relacionar la ética con la vida. Sin embargo, otros autores señalan que el surgimiento de este concepto es más antiguo, por ejemplo, Guerra (2007: 82) asegura que los conceptos de ética y moral son tan antiguos como el hombre, pero la bioética adquirió relevancia al finalizar la SGM al promulgarse el Código de Nüremberg en respuesta a los experimentos que científicos, médicos, enfermeras y otros profesionales que realizaron en colaboración con el ejército y gobierno nazi. Además, de este código este autor señala otros documentos

(normas, códigos, informes, declaraciones) relacionados que tratan de regular las investigaciones biomédicas (ver cuadro 2.2).

Cuadro 2.2. Normas sobre aspectos bioéticos para la regulación de investigaciones biomédicas		
Normas o códigos	Fecha	Contenido
Código de Nüremberg	1947	Se promulgan 10 principios básicos de la investigación biomédica: <ul style="list-style-type: none"> • El consentimiento voluntario del sujeto humano es absolutamente esencial para iniciar cualquier investigación en humanos. • El experimento debe realizarse con la finalidad de obtener resultados fructíferos para el bien de la sociedad, que no sean obtenibles mediante métodos o maneras de estudio. • Debe ser diseñado y basado en los resultados obtenidos mediante la experimentación previa con animales y el pleno conocimiento de la historia natural del tema de modo que los resultados anticipados justifiquen la realización del experimento. • Debe ser conducido de manera tal que evite todo sufrimiento o daño físico o mental. • El experimento debe ser conducido únicamente por personas científicamente calificadas y el grado más alto de técnica y cuidado. • Durante el curso del experimento el sujeto humano debe tener la libertad de poner fin a este. • Durante el curso del experimento el científico que lo realiza debe estar preparado para interrumpirlo en cualquier momento, si tiene razones para creer, en el ejercicio de su buena fe, que la continuación del experimento puede resultar en lesión, incapacidad o muerte para el sujeto bajo experimentación.
Declaración de Helsinki	1964	Se distinguen las investigaciones con fines diagnósticos o terapéuticos y aquellas con fines puramente científicas. Además, se plantean 3 aspectos centrales con relación a la protección de las personas que participan en ensayos clínicos: <ol style="list-style-type: none"> los intereses del sujeto están por encima de los científicos y sociales, es necesario el consentimiento libre, informado y en plenas facultades físicas y psicológicas del sujeto; en todo proyecto de experimentación la ética toma un rol central, para ello se debe definir un protocolo que justifique las razones para realizarse en humanos.
Informe Belmont	1979	Creado por el Departamento de Salud, Educación y Bienestar de los Estados Unidos. Este documento explica los 3 principios éticos de la participación de sujetos humanos en la investigación: <ol style="list-style-type: none"> el respeto a las personas y a su capacidad de decidir si quieren participar en los ensayos clínicos una vez que les explicaron sus riesgos y aplicaciones; la beneficencia, que implica reducir los riesgos e incrementar los beneficios; y justicia, al evitar que los riesgos se aumenten en población vulnerable por motivos de raza, sexo, edad, entre otros.
Declaración de Manila	1981	Elaborada por la OMS y el Consejo de Organizaciones Internacionales de Ciencias Médicas, destaca el carácter ético de los ensayos clínicos y la necesidad de realizar un examen ético de los proyectos de investigación.
Ley Huriet	1988-1990	Se relaciona a la «Protección de las personas que se prestan a investigaciones biomédicas», se consideró polémica debido a que se considera que acepta el comercio del cuerpo humano (sangre, células, órganos, etc.) y la participación de seres humanos sanos en investigaciones biomédicas a cambio de una indemnización. Fue rechazada por el código civil francés.
Declaración Universal sobre el	1997	Realizada el 11 de noviembre de 1997 por la UNESCO, en la cual se explicita la importancia del buen manejo del genoma humano. Algunos de los principios enunciados son:

Genoma Humano y los Derechos Humanos		<ul style="list-style-type: none"> • no usar el genoma para obtener beneficios pecuniarios; • las investigaciones y aplicaciones no estarán por encima de los derechos humanos, libertades y dignidad humana; • se prohíben prácticas contrarias a la dignidad como la clonación con fines de reproducción de seres humanos, • toda persona tiene derecho a tener acceso a los progresos científicos obtenidos, las aplicaciones de la investigación deben orientarse a aliviar el sufrimiento y mejorar la salud.
Declaración de bioética de Gijón	2000	<p>Elaborada por el Comité Científico de la Sociedad Internacional de Bioética (SIBI) en la cual se muestran una serie de principios que debe de guiar el progreso de la medicina y biología, por ejemplo, se enuncia que:</p> <ul style="list-style-type: none"> • las biociencias y sus tecnologías deben servir al bienestar de la humanidad y conservación de la naturaleza, los países desarrollados deben compartir sus beneficios con habitantes de zonas menos favorecidas; • los pacientes deberán expresar su consentimiento libre después de haber sido informados de forma adecuada, • el genoma humano es patrimonio de la Humanidad, y como tal no es patentable; la creación de individuos humanos genéticamente idénticos por clonación debe prohibirse; etc.

Fuente: elaboración propia con base en Anon. (1947), Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura(1997), Comité Científico de la Sociedad Internacional de Bioética (2000), Guerra García (2007), Secretaria de Salud y Comité de Ética en Investigación (2019).

Pero, ¿de qué forma se aplican los preceptos bioéticos? Comúnmente se reúne un grupo de expertos en diferentes áreas que analizan y discuten un problema ético específico. A estos se le denominan “comités de ética” y son los que precisan los límites de las investigaciones y aplicaciones de la biotecnología. Se les atribuyen, según Rääkkä (2009), dos funciones primordiales: i) revisar los proyectos de investigación y hacer recomendaciones a los investigadores, y ii) dar información completa a funcionarios y a la sociedad sobre beneficios y riesgos.

De Freitas (2012) menciona que el sector salud acumula la mayor cantidad de inversiones derivadas de la biotecnología, pero también la capacidad de transformar a los organismos vivos y su medio ambiente da pie a muchas incertidumbres científicas y éticas. Por ejemplo, en el caso de la inmunización existen vacunas en desarrollo y prueba, debido a que no se logran definir si son mayores los beneficios o los efectos secundarios que pueden causar.

Por su parte, Silverman (2004) asegura que son cinco los temas que dominan la discusión ética relacionada con la salud: i) escasa protección de las personas en ensayos clínicos, ii) altos costos de la atención a la salud y los medicamentos, iii) la decodificación del genoma humano, que invade la privacidad de los pacientes al revelar información sobre enfermedades futuras a posibles empleadores o prestadores de seguros, iv) el debate religioso

que trae consigo la investigación de las células madre y, v) financiar investigaciones sobre bioterrorismo (sobre todo en Estados Unidos) en lugar de destinarlos área médica.

Para fines analíticos, en este documento se agruparán los problemas en dos áreas: la primera, la protección y privacidad que debe otorgarse a los individuos que usan productos y participan en procedimientos en el área biomédica; y, la segunda, la discusión bioética en el área económica.

Respecto del primer conjunto de problemas, el uso de la biotecnología en la salud permite conocer el código genético de las personas y, por tanto, identificar las enfermedades que podrían desarrollar con el paso del tiempo. Uno de los principales debates al respecto, como ya se mencionó, se debe a que esta información puede ser solicitada por particulares (empleadores o prestadores de seguros) poniendo en riesgo la privacidad y el futuro de los pacientes.

Otro tema importante consiste en ocultar información de ensayos clínicos. Existen casos en los que se prueban nuevos fármacos en personas, cuyos efectos negativos son desconocidos tanto para los laboratorios como para los pacientes (ya que la medicina siempre ha funcionado con un esquema de prueba y error), en este caso los últimos aceptan asumir el riesgo a cambio de un estímulo económico. Sin embargo, hay otros casos en los que las empresas conocen los riesgos o efectos secundarios de su consumo y no lo informan a los sujetos, ya que estos no aceptarían participar en las pruebas o bien porque las empresas no están dispuestas a retrasar la comercialización del producto. Por ejemplo, la farmacéutica GlaxoSmithKline ocultó durante 10 años que su fármaco contra la diabetes “Avandia” se asocia con problemas cardiovasculares. La Agencia Europea del Medicamento (EMA) y la Food and Drug Administration norteamericana (FDA) estuvieron investigando la seguridad del fármaco en 2010 y descubrieron que la empresa realizó un ensayo clínico en 1999, un año antes de su autorización, que ya revelaba los efectos secundarios de su consumo (El País, 2010).

Glaxo inició en secreto el estudio de 1999 en un intento de demostrar que su fármaco Avandia era más eficaz y tenía menos efectos secundarios que la píldora antidiabetes de la competencia, Actos, de los laboratorios Takeda. De haber sido esa la conclusión, la compañía habría publicado el estudio. Pero como el resultado fue el opuesto -Avandia reveló más riesgos cardíacos que su competidor-, los directivos de Glaxo decidieron mantener el ensayo

en secreto, y así lo han hecho durante los últimos 10 años. Ni han publicado los datos ni los han facilitado a las autoridades sanitarias. Los documentos conocidos ahora incluyen algunos correos electrónicos embarazosos para la farmacéutica. Uno de sus ejecutivos, Martin Freed, escribía en el mes de marzo de 2001: "A petición de Sr. Mgmt. [probablemente *Senior Management*, la cúpula de la empresa], estos datos no deben ver la luz del día para nadie de fuera de GSK"(El País, 2010: 1)

En este sentido, vale la pena abordar la importancia del *principio de precaución*, cuyo objetivo es “la gestión responsable del riesgo tecnocientífico mediante una acción anticipativa” (Roqué, Macpherson y Gonzalvo, 2015: 134), es decir, se deben tomar medidas precautorias ante cualquier riesgo posible de un producto biotecnológico. De esta manera, los actores encargados de instrumentar ensayos clínicos tienen el deber, tanto ético como jurídico, de acatar el principio de precaución.

En torno de los inconvenientes en el ámbito económico, Pérez (2004) asegura que este tema es un eje en la discusión del área, ya que las corporaciones controlan gran parte de la investigación y operan bajo las condiciones que el mercado establece. Señala que los montos de inversión para hacer posible la investigación biomédica son exorbitantes y una parte de los recursos se obtiene del mercado financiero; así, las empresas crean altas expectativas respecto de los posibles beneficios que se pueden obtener de los productos, aumentando su valor en el mercado bursátil.

Las empresas trasnacionales capaces de invertir y asumir los riesgos derivados de la investigación forman un monopolio que concentra el capital y el conocimiento. En este sentido, Correa (1989) señala que esta tecnología está dominada por grandes empresas (químicas, farmacéuticas, petroleras y agroalimentarias) que cooptan el trabajo científico para obtener beneficios particulares. Por ejemplo, se estima que en México hay más de 400 empresas que desarrollan o utilizan biotecnología en el país, de las cuales 75 se orientan a la agricultura, 82 al medio ambiente, 54 a la salud humana, 86 al de alimentos, 118 al industrial y el resto a la salud animal, acuicultura y otros (PROMÉXICO, 2016). Además, esta tendencia es similar en todo el mundo, ya que las empresas trasnacionales que controlan la salud a nivel global son: Pfizer Inc., F. Hoffman-La Roche Ltd., Merck y Co. Inc., AstraZeneca PLC, Boehringer Ingelheim GmbH, Teva Pharmaceutical, Amgen Inc., Baxter International Inc., Novo Nordisk A/S, Gilead Sciences Inc., Biogen Idec Inc., Chugai

Pharmaceutical Co. Limited, Celgene Corporation; CSL Behring, CSL Bioplasma y CSL Biotherapies, Covance Inc. Estados Unidos, Covance, Ipsen S. A., Alexion Pharmaceuticals Inc., y Genzyme Corporation. El sector salud concentra el 60 % del valor del mercado biotecnológico (ProMéxico, 2014).

Conforme lo hacen, emerge con rapidez una tecnología del mundo real con vastas aplicaciones e implicaciones. Ya fluyen del gobierno y las corporaciones millones de dólares para los laboratorios de biología sintética. El capital de riesgo y los fondos gubernamentales han nutrido el campo de trabajo, por lo que las primeras compañías de Synbio (que eran de experimentación pura) hoy están abiertas a hacer negocio. Cuentan con un creciente portafolio de patentes y avizoran productos industriales para usos tan diversos como la producción de energía, la remediación del cambio climático, la limpieza de tóxicos, y la producción farmacéutica y textilera. De hecho, los primeros productos comerciales de la biología sintética estarán en pocos años en el mercado. Entretanto, la “industria de la vida artificial” crece en un entorno semejante al del Salvaje Oeste, de libertad total, sin ninguna supervisión regulatoria.(Grupo ETC, 2007: 7).

De esta manera, la cooptación a manos de las grandes empresas trasnacionales permite la mercantilización de los productos biotecnológicos orientados a la salud. El control de los medicamentos, vacunas, tratamientos y derechos de propiedad encarece los productos, lo que dificulta que los más necesitados accedan a ellos. Aún más, la mayoría de las investigaciones en el área de la salud no están orientadas a la solución de las enfermedades del grueso de la población, sino a curar enfermedades de aquellos con alto poder adquisitivo.

El informe “Desequilibrio mortal” publicado por *Médicos sin Fronteras*, (2001) pone en evidencia el olvido o desinterés por ocuparse de las enfermedades “desatendidas”; señala que los habitantes de los países en vías de desarrollo representan el 80% de la población mundial, pero únicamente concentran el 20% de las ventas mundiales de medicamentos. Además, la I+D dedicada a tratar los padecimientos que se presentan en países pobres es limitada, tan así que un análisis de la producción de fármacos de 20 empresas farmacéuticas reveló que en los últimos 5 años no habían sacado al mercado ningún medicamento relacionado con estos.

En este punto debe cuestionarse cómo se inserta en dicha dinámica el Estado, que tiene como función primordial impulsar el desarrollo de la CyT mediante la inversión en

universidades y la formación de personal altamente calificado; y si el objetivo de su plataforma de desarrollo es orientar las investigaciones hacia la resolución de problemas nacionales. Rääkkä (2009) debate que se inviertan recursos públicos en la promoción del sector, ya que, al estar dominado por capitales privados, se subsidia al capital. Adicionalmente, las universidades e investigadores también se someten a las lógicas mercantiles; orientan los estudios a satisfacer las necesidades del mercado vendiendo sus invenciones.

Por último, hay que señalar que existe una discusión sobre el financiamiento del bioterrorismo, tema de suma importancia porque para muchos estudiosos resulta inaceptable que se invierta el dinero público en este tipo de armas. El debate crece cuando se piensa en todas las enfermedades que se podrían tratar al destinar estos recursos a la producción de medicamentos básicos.

Reflexiones finales

La biotecnología evolucionó a pasos agigantados en los últimos cien años, pues se pasó de la etapa tradicional a la moderna. El progreso de las ciencias básicas, las ingenierías y la informática fueron la base para el desarrollo de la biotecnología de tercera y cuarta generación. Esto permitió la diversificación de aplicaciones en diferentes sectores que tienen injerencia en el desarrollo, entre las que destaca la salud.

Sin embargo, la revolución biotecnológica de las últimas décadas, basada en la creación artificial de organismos vivos y la modificación del ADN a conveniencia, da pie al surgimiento de debates sobre sus usos y aplicaciones, y, más importante, sobre los riesgos que los seres humanos estamos dispuestos a aceptar en el afán de crear organismos perfectos. Además, esta tecnología evoluciona a un ritmo tan acelerado que es difícil tener un completo entendimiento del funcionamiento de cada creación y los problemas que puede llegar a causar; por lo que es urgente e importante mantener actualizados los marcos regulatorios para definir los límites y prioridades que debe de seguir.

Más específicamente, en el ámbito de la salud la biotecnología ha permitido la creación de productos como antibióticos, analgésicos y vacunas que han significado un gran avance. Igualmente es cierto que otros han traído graves efectos secundarios que están por encima de los beneficios prometidos; además de que la trayectoria tecnológica de la

biotecnología está ligada a los intereses de las grandes empresas químicas y farmacéuticas trasnacionales, por lo que su principal objetivo es obtener ganancias y no solucionar los problemas sanitarios de los países subdesarrollados o semi-industrializados.

Capítulo III. Marco normativo sobre biotecnología

El marco normativo que incluye acuerdos, códigos, leyes y tratados (de todos los niveles) es la herramienta más importante para la regulación de avances biotecnológicos. La construcción de este marco es resultado principalmente de debates y cuestionamientos sobre el uso de la tecnología, y de presiones del sector empresarial para garantizar el retorno de su inversión. Por ello, el objetivo de este capítulo es mostrar una aproximación del papel que ocupa la biotecnología en salud en la normativa internacional y nacional.

Este capítulo se divide en dos secciones: la primera muestra los acuerdos y tratados más representativos, de los cuales México es firmante y, por tanto, son la guía de la legislación nacional; se da mayor énfasis en las normas de patentamiento ya que es el tema que ocupa a este trabajo. En la segunda se exponen de manera muy general las leyes y normas que tienen relación directa con la biotecnología en salud en México. Después, se profundiza en los antecedentes de la plataforma de CyT, para posteriormente revisar la forma en que se incluye a la biotecnología en los programas especiales en la materia, dado que de estos depende la orientación de la investigación pública en el país.

3.1. Principales acuerdos y convenios internacionales sobre bioseguridad de la biotecnología en los que México está suscrito

Existen diversos acuerdos, convenios y tratados internacionales que están enfocados a reglamentar el uso y la explotación de procesos y productos derivados de la biotecnología; en específico se abordan temas como: la seguridad y el correcto aprovechamiento de los recursos genéticos, la ordenación del comercio internacional, la regulación de los impactos en la biodiversidad y la salud. Esto se realiza con la finalidad de homologar el uso de las aplicaciones biotecnológicas en todo el mundo, y de disminuir las preocupaciones o quejas que surgen entre países. En el siguiente cuadro se muestra la normativa internacional más importante en esta área.

Cuadro 3.1. Tratados y acuerdos internacionales en materia de Biotecnología signados por México

Tratados y acuerdos internacionales	Año de adscripción de México	Año de ratificación
1. Convenio sobre la Diversidad Biológica	1992-06-13	1993-03-11
2. Tratado de Libre Comercio de América del Norte	1993-11-22	Vigente
3. Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual Relacionados con el Comercio (ADPIC)	1995-01-01	Vigente
4. Convenio Internacional para la Protección de las Obtenciones Vegetales	1997-07-09	Vigente
5. Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología	2000-05-24	2002-08-27
6. Protocolo de Nagoya-Kuala Lumpur sobre responsabilidad y compensación suplementario al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología	2011-02-24	2012-05-16
7. Decreto Promulgatorio del Protocolo de Nagoya-Kuala Lumpur sobre responsabilidad y compensación suplementario al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología, hecho en Nagoya	2012-03-05	2012-09-26
8. Tratado entre los Estados Unidos de América, los Estados Unidos Mexicanos y Canadá (sustituye al TLCAN)	10-12-2019	1-07-2020

Fuente: elaboración propia con base en Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente, (2019), CONACYT (2019b).

El primero de estos acuerdos se promulgó en 1992 en Río de Janeiro Brasil y fue llamado el Convenio sobre Diversidad Biológica. En este documento se plantea la necesidad de conservar y fomentar el uso sostenible de la diversidad biológica y sus componentes; establece el uso responsable de los recursos biológicos, la importancia de utilizarlos para satisfacer necesidades básicas como alimentación y salud, así como redistribuir los beneficios obtenidos de su utilización (Organización de las Naciones Unidas, 1992).

Más tarde, en 2000 se promulgó el Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología del Convenio sobre la Diversidad Biológica. Este se convirtió en el marco normativo internacional, cuyo objetivo es regular el uso de la biotecnología y propiciar el cuidado del medio ambiente y los seres humanos (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2000). El artículo central menciona lo siguiente:

contribuir a garantizar un nivel adecuado de protección en la esfera de la transferencia, manipulación y utilización seguras de los organismos vivos modificados resultantes de la biotecnología moderna que puedan tener efectos adversos para la conservación y la utilización sostenible de la diversidad biológica, teniendo también en cuenta los riesgos para la salud humana, y centrándose concretamente en los movimientos transfronterizos (Secretariat of the Convention on Biological Diversity, 2000: 3).

De manera general, este protocolo establece la necesidad de proteger la salud humana y el medio ambiente de productos derivados de la biotecnología moderna. Además, se afirma que existen potenciales beneficios económicos y sociales en su uso, por lo que se plantea la necesidad de crear de capacidades biotecnológicas, es decir, fomentar la formación de recursos humanos, crear de infraestructura científica y tecnológica, impulsar proyectos de investigación y consolidar acuerdos de colaboración, entre otras.

Una década más tarde, en 2011, se proclamó el Protocolo de Nagoya sobre Acceso a los Recursos Genéticos y Participación Justa y Equitativa en los Beneficios que se Deriven de su Utilización al Convenio sobre la Diversidad Biológica, cuyo objetivo central es:

la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, incluso por medio del acceso apropiado a los recursos genéticos y por medio de la transferencia apropiada de tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre dichos recursos y tecnologías y por medio de la financiación apropiada, contribuyendo por ende a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible de sus componentes (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2011a:1).

Además de los documentos ya señalados, se han hecho actualizaciones al Convenio sobre la Diversidad Biológica; ejemplo de ello son el Protocolo y el Decreto de Nagoya-Kuala Lumpur sobre Responsabilidad y Compensación Suplementario al Protocolo de Cartagena sobre Seguridad de la Biotecnología (Secretaría del Convenio sobre la Diversidad Biológica, 2011b) y otros convenios o tratados que determinan los derechos de propiedad y comercialización de las aplicaciones biotecnológicas.

Estos tienen por objetivo homologar la legislación de los países firmantes para evitar conflictos o discrepancias sobre el tipo manejo y explotación de esta tecnología, sin embargo, se toman solo como recomendaciones, y las naciones usan su soberanía para crear marcos normativos que atiendan las necesidades de sus políticas de desarrollo económico. En este tenor, Guerra (2007) asegura que en pleno siglo XXI el marco normativo relacionado con la biotecnología es corto y está rezagado en comparación con los nuevos descubrimientos, por lo que la ley solo funciona como instrumento para evitar las controversias que surgen después de que se visualizan los efectos secundarios de los experimentos.

Otro aspecto importante sobre la normativa o legislación internacional tiene que ver con que sus lineamientos permiten la perpetuación de las problemáticas éticas ya descritas

en el capítulo anterior, por ejemplo, es claro que se acepta y fomenta su uso a pesar de que se ha demostrado que existen productos y procesos biotecnológicos que causan daño al medio ambiente y a la salud, y en otros casos aún no se ha determinado el tipo de impacto que pueden causar. Otro aspecto por resaltar es que se exceptúan en la legislación los productos biomédicos, lo cual beneficia a las grandes farmacéuticas.

3.1.1. Derechos de propiedad intelectual: patentes

Dentro de la normativa internacional destaca la relacionada con los derechos de propiedad intelectual (DPI), la cual tiene por objetivo garantizar el impulso a la CTel mediante la creación de condiciones de seguridad para los inventores e inversores, vía el otorgamiento de modelos de utilidad, marcas, diseños industriales, secretos comerciales y patentes, siendo las últimas en las que se centrará el análisis de este apartado.

En 1967 se firmó en Estocolmo el convenio que establece a la OMPI como la instancia mundial -parte de la ONU- encargada de regular las políticas, servicios, cooperación e información sobre propiedad intelectual (PI); actualmente cuenta con 192 Estados miembros (OMPI, 1967, 2019a); su misión es “llevar la iniciativa en el desarrollo de un sistema internacional de PI equilibrado y eficaz, que permita la innovación y la creatividad en beneficio de todos” (OMPI, 2019a: 2). En tal sentido, esta organización recibe y registra solicitudes de patentes de todos los países miembros y garantiza que se respeten los derechos sobre ellas. La OMPI (2018: 1) señala que una patente es:

[U]n derecho exclusivo que se concede sobre una invención. En términos generales, una patente faculta a su titular a decidir si la invención puede ser utilizada por terceros y, en ese caso, de qué forma. Como contrapartida de ese derecho, en el documento de patente publicado, el titular de la patente pone a disposición del público la información técnica relativa a la invención.

Asimismo, los requerimientos para su obtención son los siguientes (OMPI, 2019):

1. Debe ser novedosa, es decir, tener una característica nueva que no forme parte del cuerpo de conocimientos existente en su ámbito técnico.
2. Debe tener una actividad inventiva no evidente, es decir, que no puede ser deducida por una persona de nivel medio proveniente del mismo ámbito técnico.

3. Debe contar con una aplicación industrial y comercial, no limitarse al ámbito de la teoría.
4. Debe considerarse patentable en el ámbito de la legislación.
5. Finalmente, debe divulgarse por medio de una solicitud clara que permita que una persona de nivel medio en el ámbito de su creación entenderla.

Al otorgarse la patente, el dueño tiene la facultad de controlar quién la explota (produce, usa, distribuye y vende). Los derechos otorgados son territoriales y temporales, es decir, tienen validez en el lugar donde se presentó la solicitud y se pueden usar por un periodo de tiempo limitado, generalmente 20 años (OMPI, 2018b). Asimismo, la propiedad de la patente garantiza al propietario de la obtención una retribución por la inversión que realizó.

En tal sentido, la CyT se convierte en una esfera de inversión de capital dado que la división del trabajo científico-tecnológico permite vender productos de cada especialidad, algunos intangibles como las distintas formas de PI; es el caso de las patentes que se introducen al mercado para venderse o licenciarse, y algunas no entran al proceso material de producción, es decir, no se explotan, aun así se les pone precio, el cual se incorpora al valor de las empresa que tiene los derechos de patentamiento (Foladori, 2014). Además, el control sobre una patente podría ser un obstáculo para la generación de nuevos avances científicos-tecnológicos, ya que en ocasiones se patentan procesos o pequeñas partes de estos que posteriormente no se pueden usar en la creación de otras innovaciones, limitando así el desarrollo científico y tecnológico.

La industria biotecnológica, en específico, le da un papel central a los DPI y en especial a las patentes. Las empresas justifican su creciente interés por estos derechos, pues refieren que se necesitan grandes inversiones para crear una sola aplicación, aunado a que pueden pasar años entre el proceso de investigación y las pruebas necesarias para el manejo de riesgo, la producción y la comercialización de un producto, lo que retrasa el retorno de la inversión.

Sin embargo, aún existen grandes cuestionamientos sobre la pertinencia de brindar DPI a esta tecnología. La misma OMPI (2018) acepta que hay temas centrales de discusión entre los expertos y la organización acerca de la conveniencia de patentamiento de invenciones biotecnológicas, entre las que destacan:

1. Las sustancias aisladas o derivadas de un organismo vivo son consideradas como invenciones por algunos y descubrimientos por otros.
2. La correcta aplicación de los requisitos de patentabilidad: actividad inventiva, aplicación industrial y requisitos de divulgación; ya que el derecho exclusivo de la patente da el derecho de publicar la totalidad de la invención.
3. Concesión de licencias y explotación de patentes. Las ciencias de vida se caracterizan por abarcar muchas actividades de investigación y todas pueden quedar comprendidas por patentes otorgadas en etapas iniciales; ello representa obstáculos a la investigación y desarrollos futuros.
4. La relación entre patentes y otras formas de protección intelectual (como la protección de derechos autor) que se otorgan en el campo¹⁹.
5. La preservación del medio ambiente, la dimensión moral y ética de producción y comercialización de estos productos.

Dado que la industria biotecnológica dedica gran parte de su investigación a manipular organismos vivos, los cuales son propiedad de la humanidad, debe prohibirse la manipulación científica y privatización los conocimientos para garantizar las ganancias, situación que es visible en el campo biotecnológico. Con relación a lo anterior, el Acuerdo sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio en el Artículo 27 sobre “Materia Patentable” señala que se puede excluir de patentabilidad:

los métodos de diagnóstico, terapéuticos y quirúrgicos para el tratamiento de personas o animales; b) las plantas y los animales excepto los microorganismos, y los procedimientos esencialmente biológicos para la producción de plantas o animales, que no sean procedimientos no biológicos o microbiológicos (OMC, 1994: 354).

Sin embargo, en el mismo artículo se apunta que:

¹⁹ “En el ámbito de la biotecnología vegetal, existe en muchos países un sistema *sui generis* para la protección de las obtenciones vegetales tales como el sistema de la UPOV. En la era de la investigación posterior al descubrimiento del genoma, la innovación en ámbitos como la bioinformática se caracteriza por la información biológica y sus métodos de procesamiento. La protección del derecho de autor y de las bases de datos, en su caso, pueden ser otras formas de protección de la propiedad intelectual relacionadas con este campo” (Organización Mundial de la Propiedad Intelectual [OMPI], 2018b, párr. 3).

las patentes podrán obtenerse por todas las invenciones, sean de productos o de procedimientos, en todos los campos de la tecnología, siempre que sean nuevas, entrañen una actividad inventiva y sean susceptibles de aplicación industrial...las patentes se podrán obtener y los derechos de patente se podrán gozar sin discriminación por el lugar de la invención, el campo de la tecnología o el hecho de que los productos sean importados o producidos en el país (OMC, 1994: 353–354).

Es decir, aunque este artículo señala la posibilidad de excluir procesos o productos de la protección mediante el patentamiento, dando cierta autonomía a los miembros, de forma contradictoria, tal como señala Espinosa (2016: 24), extiende la materia (proceso o producto), susceptible a ser protegida, bajo el derecho de patentes mientras cumplan los requisitos sobre novedad, nivel inventivo y aplicación industrial. Esto se debe al surgimiento de controversias sobre las exclusiones de patentabilidad que algunos países establecían, sobre todo aquellos relacionados con áreas clave como la farmacéutica, química y de alimentos.

Por otro lado, Solleiro y Briseño (2003a) señalan que el uso de las patentes debe cuestionarse porque limitan el uso de los avances en beneficio de la sociedad, incentivan su privatización, incrementan la concentración de ganancias y la brecha tecnológica entre países. De forma general, el patentamiento tiene implicaciones en la socialización y aprovechamiento de los conocimientos al impedir que los avances estén al servicio de todos y se traduzcan en beneficios sociales, lo que debiera ser el fin de la producción científica-tecnológica.

Morri (2004) concuerda en que el uso de patentes en el área de la salud es ampliamente cuestionado y que esto se debe a que se atribuye el monopolio de fármacos y vacunas al titular de la invención, ya sean investigadores o empresas multinacionales. Los dueños de las patentes tienen la facultad de establecer precios elevados por un periodo de 20 años y, generalmente, los productos no pueden ser costeados por personas enfermas y por los servicios de salud de países pobres, negando el derecho a la salud a una parte importante de la población en el mundo; a pesar de ello, considera que las patentes aseguran la inversión para la creación de nuevos medicamentos y vacunas por lo que sería un error eliminar la protección de la propiedad intelectual.

Los DPI, entre ellos las patentes, constituyen una legislación que abre espacios para facilitar la participación del capital en la producción científica-tecnológica; además, han

servido a las grandes corporaciones multinacionales para expandirse y controlar el mercado internacional. Veamos el caso de la industria biofarmacéutica para ejemplificar.

A mediados de los años setenta se multiplicaron las aplicaciones derivadas de las ciencias biológicas, y por tanto, su aprovechamiento industrial; esto dio lugar al surgimiento de pequeñas empresas especializadas en biotecnología (Correa, 1989). Este fenómeno se tradujo en la consigna de que estas podían ser creadoras de innovaciones. Más adelante, durante los años ochenta, el progreso de la industria biotecnológica significó una revitalización para las grandes empresas farmacéuticas, las cuales diversificaron su inversión para combatir el envejecimiento de las patentes. La unión de ambas industrias permitió una revolución en el diseño y creación de nuevas drogas, mediante la rápida identificación de los agentes causantes de enfermedades (Correa, 1988). Sobre esto, el Grupo de Acción sobre Erosión, Tecnología y Concentración (Grupo ETC) menciona:

El nuevo “*biotecnopolio*” que está siendo creado con la unión de la agricultura con el sistema alimentario, los farmacéuticos y los químicos de especialidad, será guiado por un puñado de compañías gigantes que tienen muy poca necesidad de hacer caso al reclamo de patentes o de derechos de los obtentores. Ejercerán un control al imponer estándares de bioseguridad pagados y autorizados especialmente por el gobierno, también a través de nuevas tecnologías de monitoreo, y a través de sistemas de control genético (Grupo ETC, 2000: 23).

Generalmente, la agenda de investigación de estas corporaciones se orienta a la creación de procesos o productos de los cuales se pueden obtener beneficios económicos. Páez (2011) señala que la I+D de esta industria se rige por las leyes del mercado y la obtención de ganancias es su principal objetivo, por lo tanto, el desarrollo y descubrimiento de nuevos productos no están ligados a intereses sociales, sino de eficiencia económica. En tal sentido, las patentes funcionan como seguro para la recuperación de inversiones y generación de ganancias. Además, de forma paralela, la patente permite el surgimiento de un sector financiero que no tiene ninguna relación con la producción, pues compran patentes altamente negociables para controlar un segmento de mercado. Es decir, existe una carrera por patentar que es ajena a las posibles aplicaciones. Esta industria se ha extendido a la mayor parte del mundo logrando el control de la investigación, el desarrollo, la producción y la comercialización de fármacos, vacunas, anti sueros, vitaminas y otros productos (ProMéxico,

2013); y justifica dichas acciones por los costos del proceso de producción y el tiempo que requiere desde que inicia la investigación, las pruebas para el manejo de riesgos, la producción hasta llegar a la comercialización de un producto (Salomón, 2006).

Los pasos técnicos son similares: un conjunto de requisitos estrictamente teóricos-analíticos, otros a nivel de laboratorio y finalmente los ensayos clínicos primero en animales y luego en humanos. A ello se suman regulaciones en la fase productiva (esto es habilitaciones de plantas de producción, normas de buenas prácticas manufactureras, etc.). Cabe por último señalar que estas regulaciones son de corte nacional, con lo cual, de plantearse la posibilidad de exportación requiere de nuevas aprobaciones; en algunos casos, las compras de los sistemas de salud pública y/o seguros privados también incluyen regulaciones específicas y adicionales (Bisang, Campi y Cesa, 2009: 59).

Sin embargo, es necesario reflexionar que a pesar de que los procesos de producción y comercialización son largos y costosos, no solo recuperan la inversión, sino que obtienen grandes ganancias al dirigir la creación de productos que atienden las necesidades epidemiológicas de países con altos ingresos (Salomón, 2006). Basta con voltear a ver la forma que en funcionaba la producción de vacunas y otros productos biofarmacéuticos en los años ochenta en México y otros países: la mayoría era estatal, no guiada por la ganancia, y funcionaba; de tal manera que la PI no es una herramienta imprescindible para innovar, sino una forma de privatizar los conocimientos y obtener mayores ganancias.

Así, han formado un monopolio que es acreedor de exorbitantes ganancias, por ejemplo, en el 2015 ProMéxico documentó una producción global por el orden de 1.228 mmd. Asimismo, el grupo ETC señala que:

El mercado combinado de productos desarrollados a partir de la biotecnología (incluyendo aquellos para el cuidado de la salud, el cuidado personal y los alimentos, así como productos especializados) podría exceder los 15 billones de dólares para el año 2027, lo que lo transformaría en el mayor poder económico consolidado del planeta (Grupo ETC, 2000: 2).

Las compañías biofarmacéuticas utilizan diversas estrategias para incrementar su poderío en todo el mundo y una de ellas es el control de los mercados. Para ello recurren a la fusión y absorción de pequeñas y medianas empresas. Por ejemplo, ECSalud (2018) indica que en la primera mitad del 2018 la industria gastó 100 000 millones de dólares en fusiones y

adquisiciones. Johnson & Johnson y Allergan compraron y vendieron algunos activos, Celgene compró por 7 000 millones de dólares a Impact Biomedicines. Sanofi adquirió Biogen de Biogen por 11 600 millones de dólares. Novartis vendió a GlaxoSmithKline su participación (36.5 %) de la sociedad que tenían por 13 000 millones de dólares y Shire compró a la empresa Takeda por 46 000 millones de libras esterlinas. Carvajal (2005) refiere que este mecanismo permite aprovechar el conocimiento, patentes, licencias, mano de obra calificada, relaciones de la empresa que es comprada y elevar el precio de los activos.

Otra estrategia es la explotación y/o apropiación de adelantos científico-tecnológicos creados por universidades y centros públicos de investigación, los cuales son financiados con recursos públicos. Esta significa un subsidio a las grandes corporaciones, ya que la inversión no se traduce en beneficios sociales. Bisang, Campi y Cesa (2009: 31) dicen que:

Los primeros avances de la biotecnología, en sus etapas pre-competitivas se desarrollaron en las grandes universidades norteamericanas y europeas. La modificación en la Ley de Patentes de Estados Unidos (*Act Bayh-Doyle*) de 1982 facilitó enormemente los trámites de patentamiento por parte de las Universidades y los institutos públicos, lo cual se constituyó en un impulso para la investigación y el desarrollo en las denominadas nuevas tecnologías. De esta manera, y más allá de los avances privados en ciencia básicas, las universidades operan a modo de desarrolladores iniciales del proceso, pero a partir de investigaciones claramente orientadas y/o atraídas por aplicaciones concretas (muchas de ellas a ser explotadas en el ámbito privado).

A grandes rasgos, establecen precios altos basados en mercadotecnia, implementan estrategias para alargar la protección de sus patentes, desatienden enfermedades de países pobres y no presentan resultados realistas de los beneficios a la salud de sus productos (Iñesta y Oteo, 2011).

De tal manera, el desarrollo científico-tecnológico por sí solo no es suficiente para solucionar los problemas de salud de la población. Las distintas formas de protección intelectual se convierten en un obstáculo para la socialización de los avances, ya que su finalidad es el progreso económico y no el social. México está inmerso en esta dinámica, por ello se encuentra a expensas del control de las patentes y los precios de productos para salud.

3.1.2. Sistema de patentes en México

La protección de los DPI en México tiene por lo menos dos siglos de antigüedad. Según Beatty y Orensanz (1996), la primera ley de patentes se heredó de España en 1821 y permaneció vigente por una década. En 1832 fue dictada una nueva ley²⁰ que constituyó el primer esfuerzo después de la independencia por normar el sistema de patentamiento y se orientó a la construcción de una industria nacional; sin embargo, al final resultó que estuvo formulada en términos ambiguos y tenía deficiencias, hasta el punto de no establecer el costo de la patente. Por lo tanto, desde 1842 se inició con el proceso de reforma que culminó una década más tarde.

El incremento de la exposición y competencia económica en el mundo obligó a las naciones a ensanchar sus medidas de protección a inventores. Surgió la idea de homologar los sistemas de patentes y realizar acuerdos internacionales que permitieran extender los derechos fuera de las fronteras nacionales. La Exposición Internacional de Invenciones de Viena en 1873 fue el primer paso para la configuración de un sistema internacional de PI, siendo Estados Unidos el principal promotor de esta iniciativa, ya que le permitiría extender su poderío industrial mediante el control del desarrollo científico-tecnológico.

Durante la exhibición de París, en 1878, se iniciaron las diligencias entre representantes de países europeos y americanos para coordinar la creación de leyes internacionales de PI (Beatty y Orensanz, 1996). Después de varios años de negociaciones, en 1883 se constituyó la “Unión internacional para la protección de la propiedad industrial” donde se adoptó el “Convenio de París²¹”, en el cual se acordó que los países firmantes otorgarían los mismos derechos y obligaciones a nacionales y extranjeros, adicionalmente se

²⁰ Los cambios realizados a la ley de patentes fueron parte de un proceso de eliminación de los preceptos coloniales que permeaban la legislación mexicana. Beatty y Orensanz (1996: 568) explican que: “A finales del siglo XIX se modificaron los estatutos dictados en la época colonial. El marco legal de la actividad económica, en vez de seguir dando al Estado una participación sustancial y discrecional, se enfocó más estrechamente en la protección de la propiedad y de la iniciativa individuales”. Esta legislación permaneció vigente hasta 1890.

²¹ “El Convenio de París se aplica a la propiedad industrial en su acepción más amplia, con inclusión de las patentes, las marcas de productos y servicios, los dibujos y modelos industriales, los modelos de utilidad (una especie de "pequeña patente" establecida en la legislación de algunos países), las marcas de servicio, los nombres comerciales (la denominación que se emplea para la actividad industrial o comercial), las indicaciones geográficas (indicaciones de procedencia y denominaciones de origen) y la represión de la competencia desleal” (OMPI, 2019b: 1).

estableció un plazo de seis meses para que pudieran realizar solicitudes en otras oficinas de patentes.

México se integra a la Convención de París hasta 1903; resultado de ello, se crea la primera Oficina de Patentes y Marcas -antecesor del Instituto Mexicano de Propiedad Industrial (IMPI)- y a la par entra en vigor una nueva legislación que incorporó formalmente los estatutos establecidos en dicha convención. En los próximos años (1928, 1942 y 1972) se realizaron cambios a las leyes, aunque no sustanciales, ya que todas estaban basadas en las disposiciones internacionales previamente establecidas. Cabe apuntar que los acontecimientos que realmente dieron forma al actual sistema de protección de las patentes en México y su inmersión en un sistema globalizado inician en 1986 (Méndez, 2014, OMPI, 2019c).

Respecto de la industria farmacéutica, antes de 1991 se protegía su actividad inventiva por medio de certificados de invención, puesto que los productos del sector no eran considerados materia patentable. Además, se aplicaba un control de precios de productos farmacéuticos (Guzmán y Pluvia, 2004, Guerrero y Gutiérrez, 2011). Estas medidas constituían una estrategia de protección a las nacientes industrias químicas y farmacéuticas del país, las cuales se orientaban a sustituir importaciones por medio de la imitación de procesos y productos, lo que permitió garantizar el acceso del sistema de salud a fármacos básicos.

Sin embargo, con el agotamiento del modelo de industrialización por sustitución de importaciones (ISI) comenzó un proceso de apertura del mercado interno, con la intención de integrar las actividades económicas nacionales con el exterior. Esto tuvo implicaciones en la legislación mexicana, y la referente a la propiedad intelectual no fue la excepción; como resultado sus objetivos fueron adecuados y homologados con los de las políticas de liberalización económica. Stezano (2019a: 3, 2019b) señala que resultado de la liberalización económica la industria farmacéutica local, con capacidades financieras limitadas en comparación con las empresas las trasnacionales, se enfrentó una mayor competencia con insumos y productos importados, lo que incrementó su dependencia tecnológica. Como resultado, el sector no logró el desarrollo de la imitación creativa local, de procesos de aprendizaje e iniciativas de innovación endógena. Además, el nuevo esquema de protección de patentes volvió a la industria local pasiva hacia la industrialización y perdió fuerza.

Según Méndez(2014), los acontecimientos que configuraron el sistema actual de patentes en México fueron: i) la integración al Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio (GATT por sus siglas en inglés) en 1986, ii) la firma del Tratado de Cooperación en materia de Patentes (PCT por sus siglas en inglés), iii) la firma y entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio con América del Norte (TLCAN) con Estados Unidos y Canadá, iv) la transformación del GATT en la Organización Mundial del Comercio (OMC) con la consecuente adopción del Acuerdo sobre los Aspectos de la Propiedad Intelectual relacionados con el comercio (ADPIC); y finalmente, v) se puede agregar firma y entrada en vigor del Tratado entre México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC), en julio del 2020.

Por su parte, Reyes, Morales y Amaro (2015: 84) señalan que en lo sucesivo a estos acontecimientos se hicieron al menos cuatro cambios sobre la propiedad industrial relacionados con la biotecnología:

- i) En 1987 se estableció la Ley de Invenciones y marcas que permitió el patentamiento de productos químicos, farmacéuticos, alimenticios y biotecnológicos.
- ii) Se crea en 1991 la Ley de Fomento y Protección de la Propiedad Industrial que propone como materia patentable las variedades vegetales, aunque el material genético tal como se encuentra en la naturaleza no es materia patentable;
- iii) Se establece en 1994 la Ley de Propiedad Industrial en la que se restringe la patentabilidad de: a) procesos esencialmente biológicos para producir, reproducir y propagar plantas y animales; b) material biológico y genético que ya se encuentra en la naturaleza; c) razas de animales; d) el cuerpo humano y sus partes; y e) variedades vegetales.
- iv) En 1996, se decreta la Ley Federal de Variedades Vegetales, la cual rige la protección, comercialización y fomento para la mejora en semillas y material vegetativo.

Estos cambios normativos se dieron gracias a presiones comerciales, estadounidenses principalmente, que aceleraron el levantamiento de la prohibición de patentar productos químicos, agroquímicos, farmaquímicos, farmacéuticos y alimentarios y se incluyeron productos biotecnológicos (Solleiro y Briseño, 2003), lo cual tuvo eco en la esfera de la salud, ya que se eliminó la protección que tenía esta área estratégica para el desarrollo. Por ejemplo, Guzmán y Pluvia (2004: 1110) anotan algunos de los acuerdos para el área que se incluyeron con la firma del GATT:

1. El lapso de la protección ofrecida por una patente será de 20 años como mínimo.
2. Extender la protección a los productos obtenidos directamente de un proceso patentado.
3. Anular la carga de prueba en caso de un procedimiento civil relativo a una patente de proceso (artículo 34). Proteger los datos confidenciales entregados con la solicitud.
4. Adoptar las reglamentaciones sobre la protección de marcas comerciales y dar su reconocimiento a los productos importados (se excluyen los métodos terapéuticos y quirúrgicos). Se eliminarán las condiciones para la producción local de medicamentos y la opción de la licencia obligatoria cuando los países importen los productos
5. Proteger las marcas de los productos farmacéuticos frente a los genéricos y medicamentos que no cumplan con las especificaciones.
6. Brindar protección a los datos no divulgados (secretos comerciales).
7. Otorgar los derechos exclusivos de la comercialización cuando una nueva invención obtenga un permiso antes de la entrada en vigor de la nueva reglamentación de patentes.
8. Los países miembros podrán excluir del patentamiento aquellas invenciones cuya explotación comercial sea necesaria evitar en su territorio para proteger la salud y la vida de las personas y de los animales o preservar los vegetales. Autorizar licencias obligatorias por otros motivos justificados, como los de emergencia nacional o el uso público con fines comerciales o para enfrentar prácticas anticomerciales.

Entre 1986 y 1994 se realizaron ocho rondas de negociación con la finalidad de ampliar las áreas de atribución del GATT y establecer una institución que resolviera las controversias entre países. Méndez (2014) indica que fue en la Ronda, Uruguay -que culminó en 1994-, donde 124 países llegaron a tres acuerdos sustanciales. El primero fue la conformación de la Organización Mundial del Comercio (OMC) en sustitución de la estructura administrativa del GATT, a la cual se dieron las atribuciones sobre: “el comercio de servicios, y las invenciones, creaciones y dibujos y modelos que son objeto de transacciones comerciales (propiedad intelectual)” (OMC, 2019: 9). En segundo lugar se incorporó el comercio de servicios en el marco regulador del GATT y de la OMC. Finalmente, se incorporaron a la regulación asuntos que no eran estrictamente comerciales como los DPI en el marco del

acuerdo, de tal forma se adoptó el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio.

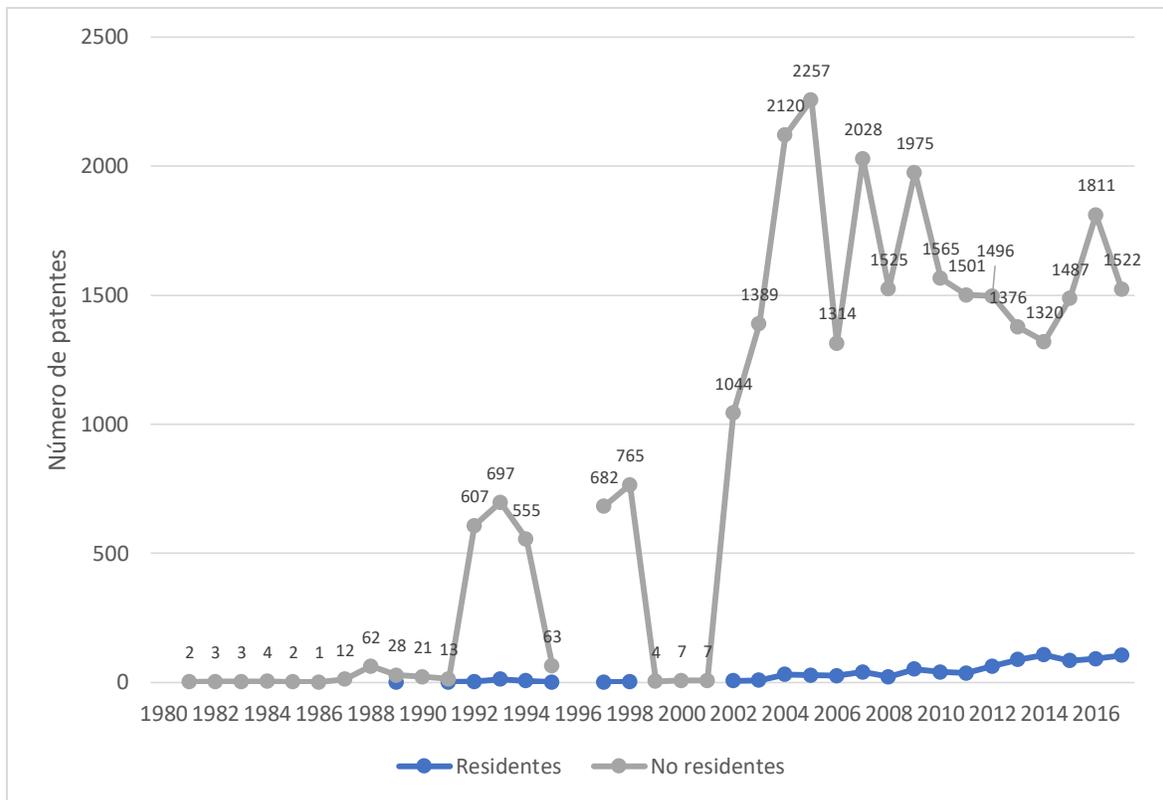
Los anterior causó un incremento de concentración de la actividad inventiva en países desarrollados y del interés de las empresas farmacéuticas internacionales por crear medicamentos que les generaran mayores utilidades, dejando de lado aquellos que atendían las necesidades de salud de la población. Más aún, se frenó la capacidad de los países subdesarrollados de producir medicamentos genéricos (Guerrero y Gutiérrez, 2011: 105–106).

A la par, México firmó del Tratado de Libre Comercio de América del Norte en 1994, lo que resultó en la modificación de las legislaciones en materia de propiedad intelectual, transferencia de tecnología e inversión extranjera (Solleiro y Briseño, 2003). El tratado señala:

las Partes dispondrán el otorgamiento de patentes para cualquier invención, ya se trate de productos o de procesos, en todos los campos de la tecnología, siempre que tales invenciones sean nuevas, resulten de una actividad inventiva y sean susceptibles de aplicación industrial. Para efectos del presente artículo cada una de las Partes podrá considerar que las expresiones "actividad inventiva" y "susceptibles de aplicación industrial" sean respectivamente sinónimos de las expresiones "no evidentes" y "útiles" (Diario Oficial de la Federación, 1994: 300).

Esto permitió la globalización de bienes y servicios, lo cual trajo repercusiones para la industria farmacéutica mexicana al reducir su crecimiento potencial, sus posibilidades de generar empleos y su velocidad de reacción frente a diversos padecimientos. Además, aumentaron las relaciones comerciales con los países del norte y se multiplicó el patentamiento de productos farmacéuticos por parte de extranjeros (ver gráfica 3.1); con ello se coartó a la industria nacional la posibilidad de transferir y adaptar tecnología a partir de la imitación de productos de frontera y la consecuente generación de procesos de aprendizaje (Guerrero y Gutiérrez, 2011: 96).

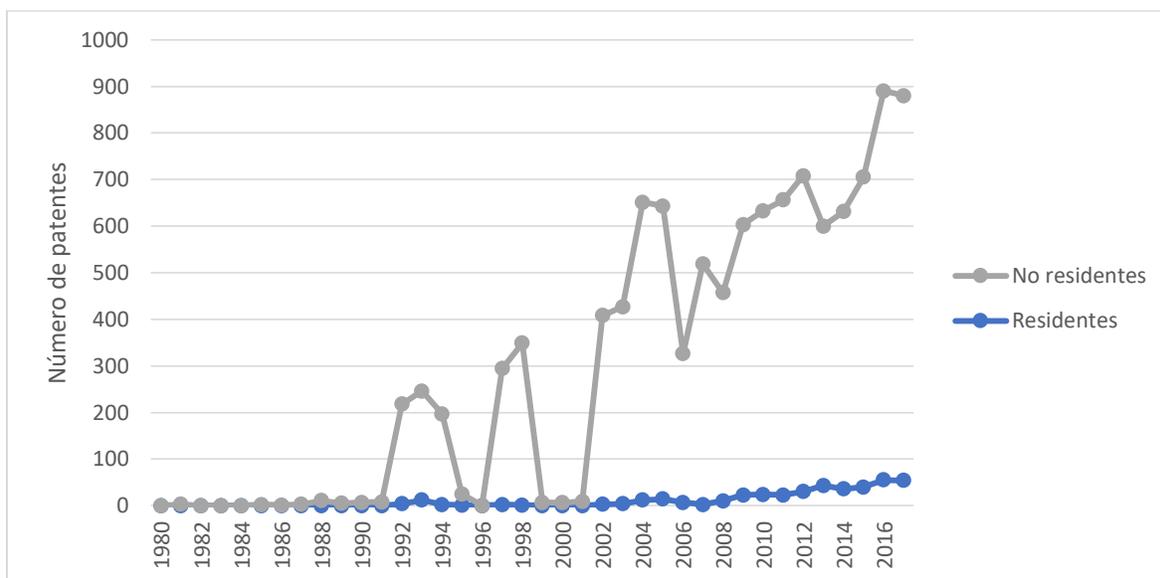
Gráfica 3.1 *Número de patentes farmacéuticas publicadas en México, por tipo de residencia*



Fuente: elaboración propia con base de datos de la OMPI.

En el caso del sector biotecnológico ocurrió lo mismo. El patentamiento de productos y procesos por parte de extranjeros creció, dejando a los nacionales al margen de los desarrollos científicos-tecnológicos. Al respecto, Solleiro y Briseño (2003) señalan que el 96% de las patentes biotecnológicas concedidas entre 1980 y 2001 pertenecen a solicitantes extranjeros, principalmente de empresas norteamericanas, japonesas y europeas. Asimismo, los datos de la OMPI sobre patentes farmacéuticas en México revelan que esta tendencia prevaleció hasta el 2016 (ver gráfica 3.2).

Gráfica 3.2. Número de patentes biotecnológicas publicadas en México, por tipo de residencia



Fuente: elaboración propia con base en datos de la OMPI.

Morales, Amaro y Stezano (2019: 33) señalan que el escaso patentamiento por parte de agentes mexicanos indica su escasa capacidad de producir conocimiento tecnológico relevante que les permita competir en el mercado biotecnológico mundial. Esto implica que la dinámica tecnológica del país nacional está determinada por agentes extranjeros que registran sus principales desarrollos tecnológicos con fines de explotación en el mercado mexicano. Becerra (2020) dice que esta situación está ligada con la implementación de políticas erróneas y la falta de inversión para el desarrollo en CyT; además, resalta que el IMPI se ha limitado a administrar la PI sin establecer una política de fomento a la transferencia de tecnología.

Esto tiene implicaciones importantes en el ámbito social, en la medida en que las corporaciones transnacionales controlan las patentes tienen la capacidad de dirigir las agendas de investigación hacia productos rentables, que no necesariamente son los que atienden las necesidades epidemiológicas del país; asimismo, tienen el poder de establecer los precios de los productos, que en muchos casos son elevados, por tanto, la población de bajos ingresos se ve incapacitada para adquirirlos.

Finalmente, es importante mencionar que Estados Unidos, Canadá y México ratificaron el Tratado México, Estados Unidos y Canadá (T-MEC) en 2020, que suple al

TLCAN. Inicialmente este tratado se negoció y fue aceptado por las partes; no obstante, a petición del senado estadounidense se hicieron cambios, entre ellos los relacionados con los derechos de propiedad intelectual y la industria farmacéutica; dejando fuera cláusulas que comprometían el acceso a medicamentos -y a la salud-, no obstante estas fueron incorporadas en la nueva Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial que abroga la Ley de la Propiedad Industrial (Diario Oficial de la Federación, 2020a, 2020b).

El 29 de junio de 2020 se emitió en el Diario Oficial de la Federación el protocolo que sustituye al Tratado de Libre Comercio. En este nuevo tratado se endurecen algunos aspectos de los DPI. Sin entrar en detalles, se toman los más significativos, así como los que están relacionados con las patentes haciendo énfasis en el tema biotecnológico. Así, por ejemplo, en el capítulo XX del T-MEC se encuentran disposiciones como las que están en:

- a) la subsección F sobre la protección de datos de prueba u otros datos no divulgados sobre el ajuste de la duración de la patente por retrasos irrazonables de la autoridad otorgante (artículo 20.44). Abre la posibilidad de que el periodo de protección a la patente pueda extenderse por más de 20 años, dependiendo de la tardanza institucional. Un retraso irrazonable incluye, al menos, un retraso en el otorgamiento de una patente de más de cinco años contados a partir de la fecha de presentación de la solicitud en el territorio de la Parte, o de tres años desde que se haya hecho la solicitud del examen, cualquiera que ocurra con posterioridad.

La subsección C sobre medidas relacionadas con productos farmacéuticos señala que:

- b) el ajuste del plazo de la patente por reducciones irrazonables (artículo 20.46) en donde se expresa que habrá un ajuste de plazo de la patente para compensar al titular por las reducciones irrazonables al plazo de la patente resultante del proceso de autorización de comercialización. En México, la COFEPRIS es la encargada de realizar el análisis correspondiente para dar los registros sanitarios y que el producto farmacéutico se pueda comercializar en el país, esto implica proteger la extensión de la patente, es decir, se le da prioridad a las corporaciones por encima del bienestar de los ciudadanos porque se entiende que este proceso implica que se realizan las pruebas suficientes para garantizar que el medicamento cumple con los criterios de seguridad para su comercialización.

- c) Se siguió respetando la cláusula bolar (Artículo 31 del ADPIC) la cual permite a los laboratorios fabricantes que antes de que venza la patente ir preparando los estudios y trámites requeridos para que pueda salir inmediatamente de vencida la patente, artículo 20.47 del T-MEC.
- d) La protección de datos de prueba u otros datos no divulgados (ensayos clínicos) (artículo 20.48) se extiende por un periodo de cinco años (dos años más que lo previsto en el TLCAN) y en el caso de datos biológicos (que contengan virus, suero terapéutico, toxina, antitoxina, *vacuna*, sangre, componente o derivado de sangre, producto alergénico, proteína o producto análogo, para uso en seres humanos para la prevención, tratamiento, o cura de una enfermedad o condición) la extensión es por 10 años (artículo 20.49). Este cambio en la normativa beneficia claramente a las empresas multinacionales en el desarrollo de nuevos productos farmacéuticos, nuevas indicaciones, formulaciones o métodos de administración y nuevos productos con contenido biológico. Asimismo, se retrasa la posibilidad de que se produzcan medicamentos genéricos o bio-genéricos.
- e) Medidas relativas a la comercialización de ciertos productos farmacéuticos (artículo 20.51 del T-MEC y protocolo modificadorio Anexo 20-A). Si una parte (México) permite la autorización de comercialización (registro sanitario) de un producto farmacéutico a personas distintas a las que presentó originalmente la información de seguridad y eficacia de un producto previamente autorizado (medicamento de patente), la parte (México) deberá: (1). Dar aviso al titular de la patente. (2). Tiempo adecuado para que el titular de la patente acuda a instancias administrativas o judiciales. (3). La parte (México) debe establecer procedimientos judiciales o administrativos. Lo anterior configura un sistema de defensa de las patentes de medicamentos favoreciendo a los titulares de estas en detrimento de los productores de genéricos.

En relación con Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial, esta es aún más restrictiva en comparación con lo que se aprobó en el T-MEC, respecto de las patentes, como se muestra a continuación:

- a) Se permitió otorgar una patente por la existencia de un segundo uso farmacéutico (artículo 45 fracción I): “No se excluirá de la patentabilidad a cualquier sustancia,

compuesto o composición comprendida en el estado de la técnica, siempre y cuando *su utilización sea nueva*”.

- b) Se permitió que sea patentable el material biológico aislado de su entorno natural y obtenido mediante un procedimiento técnico (artículo 49). Se otorga una patente a lo que debe considerarse como un descubrimiento.
- c) Se establecen los certificados complementarios (artículo 126). Tal y como se señaló en el T-MEC, la ley otorga el certificado complementario, que no podrá exceder de cinco años cuando existan retrasos irrazonables atribuibles al IMPI. Esto retrasa la posible entrada de medicamentos genéricos.
- d) No se permite el doble patentamiento (artículo 50). No obstante, esto se contraviene con las extensiones que se van a permitir (artículo 126) y la emisión de patente de segundo uso (artículo 45 fracción I).
- e) La cláusula bolar (artículo 57) se delimita, dado que la excepción era muy amplia; ahora solo se permite a un tercero usarla únicamente para fines relacionados con generación de información para obtener la autorización de comercialización del producto, es decir, la obtención del registro sanitario.
- f) Protección de datos de prueba y otros datos no divulgados. El IMPI participará con la COFEPRIS en el establecimiento del mecanismo de colaboración técnica que corresponda (artículo 5 transitorio). Esto limita y obstaculiza la calidad de los medicamentos genéricos.
- g) Sistema de vinculación (conocido como *linkage*) (artículo 5 transitorio). Que colaboren IMPI y COFEPRIS tiene conexión con los genéricos dado que hay una relación entre la concesión del registro sanitario otorgado por este último y las patentes farmacéuticas otorgadas por el IMPI. Adicionalmente, con la protección de segundos usos de las patentes, se extiende a más de 20 años la duración de estas, no solo a la sustancia o ingrediente activo del medicamento (como está en el Reglamento de Insumos de Salud), sino a patentes de uso y método de tratamiento (proceso).
- h) Medidas relativas a la comercialización de productos farmacéuticos (artículos 386 y 372). El artículo 386 enlista y describe cuáles son las infracciones administrativas y el artículo 372 señala que el IMPI buscará conciliar los intereses de los involucrados cuando se lleven a cabo los procedimientos de infracciones.

A manera de conclusión, todos los cambios legislativos que configurarán el sistema actual de patentes incrementan tanto la brecha como la dependencia tecnológica de México con el exterior. El país no ha logrado estimular un desarrollo científico-tecnológico endógeno como fuente de desarrollo y no explota la capacidad de patentamiento que hay entre los centros de investigación y universidades públicas, en su lugar, le apuesta a importar innovaciones.

3.2. Legislación y normativa nacional

México cuenta con un marco normativo establecido, en él se incluyen disposiciones que deben guiar la práctica biotecnológica en las esferas en las que tiene impacto; en el caso de este trabajo importa destacar la salud humana. La Constitución de los Estados Unidos Mexicanos es el documento con mayor nivel jerárquico y rige todas las leyes y normas con menor rango.

La palabra “biotecnología” no aparece explícita en la Constitución, pero existen artículos que abordan temas en los que esta se vincula (ver cuadro 3.2). Por ejemplo, en el artículo 3 constitucional se establece que el Estado tendrá la función de impulsar la investigación científica y tecnológica, el 28 establece el combate a los monopolios y el 73 da facultades al congreso de expedir leyes para promover la inversión pública y privada, la transferencia de tecnología y la generación conocimientos orientados al desarrollo nacional. Además, la salud se ubica como uno de los derechos más importantes dentro de la Constitución y el Estado tiene la función de garantizar que toda la población tenga acceso a servicios de salud y de atender los problemas epidemiológicos que puedan surgir.

Cuadro 3.2. Normativa y legislación nacional en materia de ciencia, tecnología y salud en México

Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos	
Artículo 3°	XXIX. Además de impartir la educación preescolar, primaria, secundaria y media superior, señaladas en el primer párrafo, el Estado promoverá y atenderá todos los tipos y modalidades educativos –incluyendo la educación inicial y a la educación superior– necesarios para el desarrollo de la nación, apoyará la investigación científica y tecnológica, y alentará el fortalecimiento y difusión de nuestra cultura;
Artículo 4°	Toda persona tiene derecho a la protección de la salud.
Artículo 28°	

El Estado contará con una Comisión Federal de Competencia Económica, que será un órgano autónomo, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que tendrá por objeto garantizar la libre competencia y concurrencia, así como prevenir, investigar y combatir los monopolios, las prácticas monopólicas, las concentraciones y demás restricciones al funcionamiento eficiente de los mercados, en los términos que establecen esta Constitución y las leyes. La Comisión contará con las facultades necesarias para cumplir eficazmente con su objeto, entre ellas las de ordenar medidas para eliminar las barreras a la competencia y la libre concurrencia; regular el acceso a insumos esenciales, y ordenar la desincorporación de activos, derechos, partes sociales o acciones de los agentes económicos, en las proporciones necesarias para eliminar efectos anticompetitivos.

Artículo 73° - Facultades del Congreso

XVI. 2ª. En caso de epidemias de carácter grave o peligro de invasión de enfermedades exóticas en el país, la Secretaría de Salud tendrá obligación de dictar inmediatamente las medidas preventivas indispensables, a reserva de ser después sancionadas por el Presidente de la República.

XXIX-F. Para expedir leyes tendientes a la promoción de la inversión mexicana, la regulación de la inversión extranjera, la transferencia de tecnología y la generación, difusión y aplicación de los conocimientos científicos y tecnológicos que requiere el desarrollo nacional.

Fuente: elaboración propia.

Después de la Constitución, se pueden ubicar por área diferentes leyes y normas mexicanas de otras secretarías, como las de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), Salud (SSA) y de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA) en las que se incluye a la biotecnología como factor relevante, por ejemplo la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados (LBOGM) y el reglamento derivado de dicha ley, que se encargan de regular el tipo de usos y aplicaciones de los OGM con la finalidad de evitar riesgos a la salud y daños al medio ambiente (Diario Oficial de la Federación, 2005, 2008). Otro ejemplo se refiere a la Ley General de Salud (LGS) la cual dedica los artículos 17 bis, 222 bis y 282 bis (bis 1, bis 2 y bis 3) a tratar temas relacionados con el uso de productos biotecnológicos en dicha área (Diario Oficial de la Federación, 2013).

En el cuadro 3.3 se pueden ver las principales leyes nacionales que están relacionadas con la biotecnología dedicada a la salud, las cuales clasificamos en tres áreas: CyT o biotecnología, salud y; comercio, administración y propiedad intelectual.

Cuadro 3.3. Normativa y legislación nacional para la biotecnología en salud en México	
Leyes nacionales	
Biotecnología	
I.	Ley de ciencia y tecnología
i.	Programa Especial de Ciencia y Tecnología
II.	Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados
Salud	
I.	Ley General de Salud
II.	Ley de los Institutos Nacionales de Salud
III.	Reglamento de Control Sanitario de Productos y Servicios
IV.	Reglamento de Insumos para la Salud

- V. Reglamento de la Ley General en Materia de Publicidad
- VI. Ley General de Salud en Materia de Investigación para la Salud
- VII. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SSA1-2013, buenas prácticas de fabricación de medicamentos
- VIII. Norma Oficial Mexicana NOM-257-SSA1-2014, En materia de medicamentos biotecnológicos

Administración, comercio y propiedad intelectual

- I. Ley de la Propiedad Industrial
- II. Ley Federal sobre Metrología y Normalización
- III. Ley Orgánica de la Administración Pública Federal
- IV. Ley Federal de Derechos

Fuente: elaboración propia con base Bolívar Zapata (2001), Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria (2009), CONACYT (2014, 2019c) y Diario Oficial de la Federación (2013).

Como se puede notar, hay un cuerpo legislativo que establece los límites que los distintos actores involucrados en el impulso y aplicación de la biotecnología deben seguir, llámese académicos, científicos o médicos, centros de investigación, universidades o centros médicos y empresas. En capítulos posteriores se hará énfasis en las áreas en las que cuales se clasifican las leyes (ciencia y tecnología, salud y; administración, comercio y propiedad intelectual), por ahora solo se profundizará en la plataforma mexicana de ciencia y tecnología y en el sistema mexicano de patentes, dado que están directamente relacionados con las variables del objeto de estudio (investigación y patentamiento).

3.2.1. Plataforma mexicana de ciencia y tecnología. Breve recuento de 1930 al 2018

Los primeros esfuerzos post-revolucionarios para promover la CyT fueron a inicios de los años treinta. En este periodo se promovió una plataforma de desarrollo nacionalista, cuyo objetivo era la recuperación económica y social de la nación; por esta razón, se prestó especial atención al campo, la salud, la educación y el progreso de la ciencia, debido a que eran considerados pilares en la estrategia de desarrollo que se perseguía.

Durante esta época se protegieron sectores estratégicos para incentivar crecimiento de la industria nacional. Los ejemplos sobresalientes son la nacionalización de las vías férreas, la creación de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), la expropiación petrolera y la creación del Consejo Nacional de Educación Superior y de la Investigación Científica (CONESIC); este último encargado de guiar el progreso. A la par se incrementaron los

centros educativos y de investigación, por ejemplo, se creó del Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Instituto Nacional de Antropología e Historia (INAH), el Colegio de México (COLMEX) y el Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales (ISET) (Retana, 2009, Herrera, 2014: 124).

La creación de centros educativos y de investigación fue el principal esfuerzo por incrementar formación de personal altamente calificado, puesto que se pensaba que con la ayuda de expertos se podría consolidar la industria mexicana. Sin embargo, esto no sucedió debido a que no hubo políticas que vincularan las necesidades de ambas áreas y porque la industria se orientó a la producción de bienes con bajo valor agregado.

Más adelante, en 1942, se estableció la Comisión Impulsora y Coordinadora de la Investigación Científica (CICIC) (Méndez, 2011), tal como señala Retana (2009), que se consideró una institución clave para el mejoramiento de la CyT en el país; su gestión permitió incrementar el número de investigadores y se convirtió en el principal órgano de consulta para el ejecutivo. Además, en 1948 se fundó la Asociación Nacional de Universidades e Institutos de Enseñanza Superior (ANUIES) y al año siguiente la Academia de la Investigación Científica, con el afán de coordinar, controlar y ordenar las instituciones educativas y centros de investigación existentes.

Tomando en cuenta lo anterior, se puede señalar que desde 1930 hasta finales de 1960 se realizaron esfuerzos por incentivar la CyT en el país. A pesar de eso, México no logró la construcción de una plataforma científico-tecnológica que le permitiera figurar como líder en la materia. Es así como, a inicios de 1970, algunos organismos internacionales recomendaron a este y otros países latinoamericanos incrementar el porcentaje del Producto Interno Bruto (PIB) que destinaban a la CyT. La meta mínima que debían alcanzar era el 1 %, ²² con el supuesto de que incidiría en el desarrollo.

Al mismo tiempo se creó el CONACYT como instancia encargada de cumplir los objetivos establecidos internacionalmente, aunque Valadés (2014) menciona que esta institución tiene sus raíces en 1935 cuando se fundó el CONESIC. Es importante no perder de vista la coyuntura que prevalecía en México, en la que prevalecía un descontento generalizado de la población académica y científica, producto de la matanza de cientos de

²² A pesar de que México estableció en sus políticas de CTeI cumplir con la inversión del 1 % del PIB en Investigación y Desarrollo (IyD), según datos del BM (2018)BM (2018) el país sólo pasó del 0.26 % en 1996 al 0.5 % en 2015.

jóvenes universitarios a manos del ejército mexicano, que provocó el rechazo del gobierno en turno. Sobre eso, Parada (2014) explica que la creación del Consejo se trataba de una estrategia para tener un acercamiento con la comunidad de académicos y científicos después del movimiento estudiantil de 1968.

A partir de su fundación, el CONACYT se convirtió en el encargado de establecer las reglas del sistema científico-tecnológico, formular la política de CyT y establecer los objetivos que se debían de perseguir; además, se le otorgó la función de asesor del gobierno en materia de CyT, lo que impidió que cumpliera a cabalidad con las funciones originales para las que se creó. De forma general, el Consejo se ha dedicado a la formación de personal altamente calificado y, en menor medida, al financiamiento de proyectos de investigación (Casas, 1983).

Desde 1980 hasta la actualidad, México siguió un modelo de desarrollo en que se redujo el aparato estatal cediendo al mercado la “responsabilidad” de controlar los sectores prioritarios. Desde la adopción de las políticas neoliberales, rubros importantes para el progreso social como la educación, la salud y la CyT dejaron de ser prioridades de desarrollo nacional y pasaron a verse como negocios rentables para el capital. Álvarez (1988) asegura que esta plataforma de desarrollo propició el deterioro de la estructura social y económica al eliminar los encadenamientos productivos logrados con anterioridad.

La instauración de las políticas neoliberales también impactó en el desarrollo científico-tecnológico; se cambió el discurso que se había mantenido orientado a revertir el atraso y la dependencia a uno que planeaba utilizar los conocimientos e innovaciones como ventajas comparativas y herramientas para la modernización industrial (Casas y Dettmer, 2007). Con la finalidad de garantizar que las demandas de las empresas se cumplieran a cabalidad, las líneas que debían seguir las investigaciones y las áreas en las cuales se debía formar el personal altamente calificado se supeditaron a la oferta y demanda del mercado.

En el mismo sentido, las políticas de CyT se inscribieron en el nuevo modelo de desarrollo, de modo que, los programas de CyT de 1990 a 1994 y de 1995 a 2000 expresaron esos objetivos a escala nacional (Casas et al., 2013). Por ejemplo, el Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994, indica lo siguiente:

El Programa reconoce igualmente que gran parte del *progreso tecnológico en los países de mayor desarrollo proviene del esfuerzo del sector privado*, conforme a objetivos tales como

elevar la productividad de las empresas, mejorar la calidad y competitividad de los productos, reducir costos reales y ampliar posibilidades de mercado. Es evidente que México no debe permanecer rezagado en su modernización tecnológica y que el sector productivo deberá encaminar crecientes esfuerzos y recursos a este fin (CONACYT, 1990: vii) [énfasis nuestro].

Las modificaciones que se realizaron a la política de CyT en la década de los noventa siguieron los planteamientos y recomendaciones de la OCDE, de la cual México se convirtió miembro en 1994. Al igual que los anteriores, el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018 (PECiTI)²³ siguió la tendencia internacional y le concedió un papel central a la innovación, además, este programa está basado en fórmulas de impulso a la CTel provenientes de organismos internacionales y otros países -sobre todo desarrollados- sin considerar la evolución del sistema científico-tecnológico mexicano. La imposibilidad de aplicar estas políticas a la realidad del país ha resultado en una brecha entre las propuestas y la práctica. Veamos un ejemplo, el Programa señala que sus acciones están encaminadas a colocar a México en la llamada sociedad del conocimiento y para acceder a ella se planteó seguir las propuestas del BM (CONACYT, 2014: 11):

El BM ha diseñado cuatro pilares que permiten observar el nivel de desarrollo de una economía del conocimiento, a saber:

- Mano de obra educada y calificada: contar con una población bien educada y calificada es esencial para la creación, adquisición, diseminación y utilización efectiva del conocimiento.
- Sistema de innovación eficaz: fomento público y privado de la investigación y el desarrollo, que da como resultado nuevos productos o bienes, nuevos procesos y nuevo conocimiento.
- Infraestructura de información y comunicaciones adecuada: son las capacidades instaladas que posibilitan el desarrollo de actividades innovadoras, científicas y tecnológicas.

²³ El Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018 (PECiTI) establece que el CONACYT debe guiar al Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI), definido como “la organización que en cada país se especializa en producir conocimientos y saber-hacer, y se encarga de dar respuesta a las necesidades de la sociedad” (CONACYT, 2014: 100).

- Régimen económico e institucional conductor del conocimiento: se refiere a la red de instituciones reglas y procedimientos que influyen la forma en que un país adquiere, crea, disemina y usa la información.

La plataforma científico-tecnológica implementada no ha logrado detonar el crecimiento y desarrollo económico debido, principalmente, al tipo de intervención del Estado (orientado a que las soluciones se den a partir del mercado), sobre todo en las tres últimas décadas. Además, persiste una nula vinculación entre estrategias propuestas y las mejoras continuas del sistema educativo y el fortalecimiento del sistema productivo y laboral. Por tanto, la búsqueda de algunas estrategias para incrementar el desarrollo en este ámbito es una tarea impostergable.

A manera de conclusión, el modelo de desarrollo impide que la plataforma de CyT se oriente a la satisfacción de necesidades sociales, debido a que México, al igual que varios países, opta por vincular la CyT con el crecimiento económico. El análisis de las políticas sexenales dedicadas al área muestra una tendencia a relacionar la biotecnología directamente con la mercantilización del conocimiento, específicamente, para incentivar la producción e incrementar las ganancias de las empresas.

3.2.1.1. Biotecnología en los planes de CTeI en México

En los años setenta algunos científicos pioneros como Francisco Bolívar Zapata y Luis Herrera Estrella se interesaron en formarse en el campo de la biotecnología, pero en el país no existían centros de investigación o universidades que contaran con programas académicos dedicados al área; por esta razón, decidieron formarse en el extranjero y tras su regreso colaboraron en el desarrollo de la biotecnología moderna. Sus aportaciones iniciales fueron la fundación y dirección del Instituto de Biotecnología (IBt) de la UNAM en 1982 (antes Centro de Investigación sobre Ingeniería Genética y Biotecnología [CIIGB]) y en 1986 del Departamento de Ingeniería Genética de la Unidad Irapuato del Centro de Investigación y de Estudios Avanzados (Cinvestav) del Instituto Politécnico Nacional (IPN) (Possani, 2003).

Siguiendo la lógica neoliberal implementada a inicios de esa década, el sector biotecnológico se vio como un campo de oportunidad para la creación de nichos de mercado que podrían atraer capital. Se fomentaron -vía inversión- las investigaciones en el área. El

problema es que no se construyó un puente -empresas paraestatales o mixtas- para que los resultados obtenidos se dirigieran a mitigar problemas sociales.

Fue hasta inicios del siglo XXI cuando la biotecnología figuró en los planes de CTeI en el país (ver cuadro siguiente). En los últimos tres sexenios se le considera como área prioritaria, pero no se establece un plan específico para impulsarla; colocando a México en desventaja, ya que se incrementa su brecha científico-tecnológica. Respecto de la salud, se resalta como un tema de prioridad nacional, incluso que se menciona que las actividades científico-tecnológicas del país deben dirigirse a su progreso.

Cuadro 3.4. La biotecnología en los planes o programas de CTeI	
Programa	Menciones sobre “biotecnología” y sobre “salud”:
Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006	<p>“La ciencia y la tecnología determinan cada vez más el nivel de bienestar de la población. La generación y aplicación del conocimiento científico y tecnológico es fundamental para resolver problemas relevantes de la sociedad...en el área de salud, la generación y aplicación del conocimiento científico se puede traducir en la creación de vacunas y de tratamientos que elevan la esperanza y la calidad de vida de la población” (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2002: 7)</p> <p>“Los programas sectoriales que son parte integral del Plan Nacional de Desarrollo 2001-2006, que se ocupan de temas de prioridad nacional y que considerarán explícitamente las actividades científicas y tecnológicas son principalmente los siguientes: 1) Educación (SEP) 2) Energía (SENER) 3) Salud (SSA) 4) Producción y abasto de alimentos (SAGARPA) 5) Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) 6) Comunicaciones y Transportes (SCT) 7) Economía -comercio interior y exterior, y desarrollo empresarial- (SE) 8) Desarrollo regional, urbano y Social (SEDESOL) 9) Prevención y atención de desastres naturales (SEGOB) 10) Relaciones Exteriores (SRE) 11) Secretaría del Trabajo y Previsión Social (STPS)” (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2002: 14).</p> <p>Dentro del Programa se señalan áreas estratégicas²⁴ del conocimiento, que se deben impulsar: la información y las comunicaciones, la biotecnología, los materiales, el diseño y los procesos de manufactura; y la infraestructura y el desarrollo urbano y rural, incluyendo sus aspectos sociales y económicos.</p> <p>Se añade:</p>

²⁴ “Se denominan áreas estratégicas del conocimiento aquellas que tienen un impacto en varios de los sectores y que tienen una alta tasa de cambio o innovación a nivel mundial” (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2002: 14). “Se denominan áreas estratégicas del conocimiento aquellas que tienen un impacto en varios de los sectores y que tienen una alta tasa de cambio o innovación a nivel mundial” (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2002: 14).

	<p>“Promover el desarrollo de investigación aplicada y tecnológica en campos tales como: informática, computación, biotecnología, comunicaciones, tecnología de materiales, construcción, petroquímica, procesos de manufactura, recursos naturales (marítimos y terrestres), problemática del agua, transferencia de tecnología, economía de la salud, desarrollo regional, problemas lingüísticos, etc.” (CONACYT, 2002: 73).</p>
<p>Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012</p>	<p>Este Programa señala que: “El Plan Nacional de Desarrollo 2007-2012 establece un conjunto de prioridades que han sido debidamente incorporadas en los programas sectoriales de mediano plazo, a saber: i) Salud, ii) Educación, iii) Alimentación, iv) Medio ambiente, agua y cambio climático, v) Energía, vi) Crecimiento económico y desarrollo sustentable, vii) Combate a la pobreza, viii) Seguridad, ix) Gobernabilidad, x) Población, equidad y género, xi) Infraestructura, y xii) Turismo” (CONACYT, 2014: 48)</p> <p>Se añade que: “El sector ciencia y tecnología, establece como factores fundamentales del desarrollo en esta materia la educación de calidad y el fortalecimiento de ciencia básica y aplicada, el desarrollo tecnológico y la innovación para contribuir a mejorar el nivel de vida de la sociedad y lograr una mayor competitividad. En este sentido se impulsarán prioritariamente las siguientes áreas científico-tecnológicas: i) Biotecnología ii) Medicina iii) Energía iv) Medio ambiente v) Tecnologías industriales de fabricación vi) Materiales vii) Nanotecnología viii) Tecnologías de la información y las telecomunicaciones ix) Matemáticas aplicadas y modelación”</p> <p>Respecto a la salud señala la importancia de: “Reorientar la innovación tecnológica y la investigación para la salud hacia los padecimientos emergentes, las enfermedades no transmisibles y las lesiones” (Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología [CONACYT], 2008)</p>
<p>Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018</p>	<p>El Programa hace referencia a su alineación con los objetivos de programas sectoriales establecidos en el Plan Nacional de Desarrollo, en tal sentido, se establece que se debe: “Asegurar la generación y el uso de efectivo de recursos en salud” y “Consolidar las acciones de protección, promoción de la salud y prevención de enfermedades”(CONACYT, 2014: 42–43).</p> <p>Se establece como prioridad para el sector: “Fomentar las aplicaciones de la biotecnología para atender responsablemente las amenazas a la salud humana y animal, a la biodiversidad, a la disponibilidad de alimentos y de recursos energéticos, y a las provenientes del cambio climático. Se requieren incentivos y apoyos para lograr que las aplicaciones con organismos genéticamente modificados transiten adecuadamente por el entramado regulatorio”(CONACYT, 2014: 50).</p> <p>Dentro de los temas prioritarios se mencionan:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El desarrollo tecnológico que incluye: la automatización y robótica, la biotecnología, la genómica, materiales avanzados, nanomateriales y de nanotecnología, la conectividad informática y tecnologías de la información, la comunicación y las telecomunicaciones, ingenierías para incrementar el valor agregado en las industrias y manufactura de alta tecnología. • La salud, donde se consideran prioridad: la conducta humana y prevención de adicciones, las enfermedades emergentes y de importancia nacional, la medicina preventiva y atención de la salud; y el desarrollo de la bioingeniería.

Fuente: elaboración propia.

A pesar de los obstáculos, México cuenta con áreas de oportunidad que puede utilizar para incentivar la investigación pública en vacunas. Se cuenta con infraestructura y personal

altamente calificado en el área biotecnológica; aunque no trabajan de forma integrada ni colaboran entre sí, se pueden diseñar convenios para incentivar la creación de avances.

De forma general, los esfuerzos realizados por normar el uso y aplicaciones de la biotecnología no han sido suficientes para propiciar su desarrollo, ya que no se cuenta con un plan integral que obedezca a la solución de los principales problemas del país. Bolívar (2003) señala que es necesario reestructurar el marco jurídico nacional de manera que se coloque a la biotecnología como palanca de desarrollo y, a la vez, se proteja la salud humana, animal y vegetal, así como el medio ambiente y biodiversidad por encima de los intereses de particulares. Massieu *et al.* (2000: 157) coinciden en la necesidad de tener una sociedad informada que presione para establecer un marco regulatorio adecuado y pertinente.

Reflexiones finales

El marco normativo internacional -acuerdos, convenios y tratados- que rige el progreso de la biotecnología no cubre todas las etapas del ciclo de vida y los riesgos que se desprenden de su uso; esto permite, entre otras cosas, que las empresas amplíen su participación en distintos sectores estratégicos como el que nos atañe. Además, la legislación internacional presenta recomendaciones que muchos países no siguen, por lo que adecuan su legislación nacional según los intereses que persigue su plataforma de desarrollo.

Por su parte, México es firmante de todos los acuerdos, códigos y tratados relacionados con la biotecnología. En este sentido, la legislación mexicana está construida a partir de los lineamientos dictados internacionalmente y que generalmente obedecen a intereses de los grandes grupos de poder económico y político. Recientemente, entró en vigor el T-MEC y la Ley de Protección a la Innovación industrial en los cuales se incluyen reglas que tendrán implicaciones en los DPI de la industria biofarmacéutica, sobre todo porque son más restrictivas y dejan fuera cláusulas que facilitarían el acceso a medicamentos. Algunos de los aspectos más importantes contenidos en esta legislación tienen que ver con la ampliación del tiempo de vida una patente, la de la protección a datos de prueba y no divulgados, que retrasara la posibilidad de crear medicamentos genéricos o bio-genéricos; así como la posibilidad de patentar material biológico aislado de la naturaleza, antes considerado descubrimiento.

Con relación a las políticas de CTel en México, el balance de la plataforma que se ha seguido desde 1930 hasta mediados de 2018 muestra el cambio de una visión nacionalista a una en la que las actividades estratégicas se dejan en manos del mercado. Se puede destacar que, a pesar de que la biotecnología es considerada un área central a nivel mundial, en México no se le ha dado la atención necesaria, tan es así que apareció en la normativa hasta inicios del siglo XXI. Por tanto, los primeros esfuerzos por concretar el progreso de la biotecnología han sido incipientes y únicamente se menciona como área estratégica en la normativa, pero no se han planteado estrategias puntuales para impulsarla y mucho menos se definieron los sectores a los cuales debe orientarse.

Respecto del sistema de patentes, aunque se presenta como un mecanismo para incentivar el desarrollo científico-tecnológico garantizando el retorno de las inversiones, se ha convertido en una forma de apropiación y concentración del conocimiento científico; lo que impide que la democratización del conocimiento y su uso para el beneficio social.

Capítulo IV. Vacunas biotecnológicas: antecedentes, investigación y desarrollo en México

Los seres humanos están expuestos a muchas enfermedades a lo largo de su vida, algunas han causado epidemias que aniquilaron poblaciones completas en poco tiempo. En tal sentido, la inmunización es considerada una de las principales herramientas para prevenir enfermedades; sin embargo, su efectividad es cuestionada debido a los efectos secundarios que algunas provocan, las consecuencias nocivas que causan su producción y los residuos en el medio ambiente, sin mencionar los dilemas éticos y religiosos que han generado.

Se cree que los adelantos biotecnológicos en el área de la inmunización pueden crear mejoras en el diseño, eficacia, seguridad y conservación; por ello el progreso de esta tecnología resulta del crecimiento de la industria biofarmacéutica. Además, la biotecnología crea altas expectativas sobre la creación de vacunas para prevenir y tratar nuevas enfermedades, tales como las crónico-degenerativas: SIDA, VIH, distintos tipos de cáncer y enfermedades ya erradicadas que están resurgiendo con mayor fuerza.

En México, el sistema de vacunación data de la Colonia. Los avances surgidos a nivel mundial se fueron incluyendo exitosamente en el país, así se convirtió en un ejemplo a seguir en Latinoamérica. Sin embargo, en los años setenta comenzaron a desmantelarse los centros de investigación e instituciones que permitían que la nación fuera autosuficiente en la producción de inmunógenos, dejando el área a expensas del mercado. Cabe señalar que la biotecnología como área estratégica se incluyó en la legislación mexicana hasta el 2000, sin embargo, desde los años setenta, científicos pioneros ya la incluían en sus líneas de aplicación y generación del conocimiento.

En este capítulo se tratan aspectos generales y técnicos indispensables para entender el funcionamiento e importancia de las vacunas para los sistemas de salud. El texto se divide en tres secciones: en la primera se explica qué son las vacunas y cómo funcionan, además se especifica la diferencia entre las tradicionales y las de nueva generación, en las que interviene el uso de la biotecnología moderna. En la segunda, se presenta un análisis de los principales argumentos en contra y a favor de las vacunas. Finalmente, en la tercera, se esboza la historia de la vacunación en el mundo y en México.

4.1. De las vacunas tradicionales a las vacunas biotecnológicas

Los seres vivos están expuestos a una gran cantidad de enfermedades a lo largo de su vida, las cuales dejan secuelas graves o pueden causar la muerte. Cuando el cuerpo humano entra en contacto con el patógeno causante de la enfermedad el sistema inmunológico actúa de forma inmediata tratando de eliminarlos. Sin embargo, algunos no pueden ser contenidos debido a que son altamente agresivos o porque el sistema inmune se ha ido debilitando por diversos motivos; uno de los más importantes es el incremento en el consumo desmedido de antibióticos, que es cuando las vacunas son usadas para desarrollar una respuesta inmune protectora.

Thieman y Palladino (2010) explican detalladamente la forma en que el cuerpo responde a las enfermedades: las células de humanos y animales identifican materiales externos, llamados antígenos (bacterias, hongos, virus, entre otros), para neutralizarlos y eliminarlos por medio de la fabricación de anticuerpos, a esto se le conoce como inmunidad medida por anticuerpos. Cuando los linfocitos B se exponen a los antígenos, los leucocitos reconocen el antígeno y se unen a él, mientras que los linfocitos T los ayudan a reconocer y responder al antígeno; posteriormente, los linfocitos B se convierten en células plasmáticas que producen anticuerpos. Estos se distribuyen en el torrente sanguíneo, saliva, lágrimas y otros fluidos, cubriendo el antígeno para el que se crearon. Al mismo tiempo que se desarrolla este proceso se crean células memoria que tienen la capacidad de identificar el antígeno años más tarde y combatirlo generando células plasmáticas.

Sin embargo, en algunas ocasiones el cuerpo no produce anticuerpos suficientes volviéndose incapaz de atacar las enfermedades. Esto puede suceder porque el cuerpo humano tarda en elaborar una respuesta inmune, mientras tanto, la enfermedad evoluciona como ocurre con el SARS-CoV2²⁵; o bien porque la inmunidad del cuerpo humano se debilita por el consumo desmedido de productos químicos, la mutación o surgimiento de nuevos virus

²⁵ “El sistema inmune produce primero anticuerpos de tipo IgM, más rápidos pero menos potentes, y posteriormente anticuerpos de tipo IgG, más potentes y específicos frente a la infección. En COVID-19 los anticuerpos IgM se producen a partir de día 5-7, y le sigue muy de cerca la producción de anticuerpos de tipo IgG. En la mayoría de casos estudiados los niveles de IgM desaparecen en pocas semanas, mientras que los niveles de IgG persisten al menos tres meses” (Instituto de Salud Carlos III [ISCIII], 2020: 3).

altamente agresivos o hábitos deficientes de alimentación, entre otras razones. Cuando esto sucede, las personas comienzan a enfermar, y científicos e investigadores diseñan vacunas²⁶ para hacer más eficiente el sistema inmunológico y con ello contener y prevenir nuevos brotes.

La vacuna o también llamada “inmunización activa” está compuesta por una parte del patógeno u organismos completos (atenuados o vivos), que generan resistencia a enfermedades infecciosas, previniéndolas y evitando que se propaguen; esto se debe a que se producen células de memoria que reconocen el patógeno si vuelve a presentarse en el organismo e inducen una respuesta inmune protectora y duradera para neutralizar al microorganismo virulento; pueden ser administradas a humanos o animales vía oral o por medio de una inyección que estimule el sistema inmune contra la infección (López, 2004, Thieman y Palladino, 2010c: 137).

Dejando de lado por ahora los debates que existen con relación a la eficacia de las vacunas, la mayoría de los profesionales de la salud consideran que la vacunación es uno de los principales avances en el campo de la medicina preventiva, puesto que a su aplicación se le atribuye la disminución de la mortalidad y la erradicación de distintas enfermedades. Aunado a ello, Berdasquera, Cruz, y Suárez (2000) mencionan que las ventajas más importantes de la vacunación son: el ahorro en el costo de tratamientos, la reducción de la incidencia de algunas enfermedades y el decrecimiento de la mortalidad poblacional.

Los potenciales beneficios atribuidos a las vacunas las colocaron como unas herramientas importantes y mayormente utilizadas por los sistemas mundiales de salud para la prevención de distintos padecimientos. Esta es una de las principales razones por las cuales se extendió el interés por desarrollar nuevas y mejoradas que permitieran cubrir la mayor cantidad de enfermedades y, a su vez, disminuyeran los riesgos de su aplicación, por lo que el uso de la CyT cobró relevancia.

Algunos especialistas en el área tienen la expectativa de que esta tecnología puede ayudar a crear la vacuna segura y eficaz, por ejemplo, López (2004) señala que una vacuna ideal debe tener las siguientes características: producir una respuesta inmune a la infección

²⁶ Etimológicamente la palabra “vacunación” significa inoculación con fluido de vaca, animal del que provenían las primeras “vacunas” (Martínez-Mateo, Bustos-Fonseca y Gil-Díaz, 2012).

natural, ser efectiva, aumentar la seguridad y disminuir los posibles efectos secundarios, producir inmunidad a largo plazo; que se aplique una dosis única y sea compatible con otras vacunas; que no se administre de forma invasiva, que sea estable a temperatura ambiente; y finalmente, que sea fácil y económica de producir. Aunque vale apuntar que los avances científico-tecnológicos en la materia aún están alejados de ello, puesto que es más fácil conseguir una vacuna con todas estas características a evitar que el ser humano se enferme.

Otros problemas que se presentan -sobre todo en países pobres o regiones más atrasadas dentro de países desarrollados- para cumplir o incrementar la cobertura de inmunización son los requerimientos necesarios para conservar las vacunas, toda vez que se presenta una diversidad de climas, el difícil acceso a algunos poblados y la escasez de infraestructura adecuada para transportar y mantenerlas en buen estado. La investigación biotecnológica busca nuevas formas de producción, administración y conservación que mantengan las dosis en buen estado bajo situaciones extremas. Todo lo anterior acompañado de la instauración de esquemas básicos de inmunización que contemplen un diagnóstico del perfil epidemiológico de cada país y que permitirían inmunizar a una mayor cantidad de población.

Los avances científicos-tecnológicos de las últimas décadas permitieron la creación de distintos tipos de vacunas (dependiendo de la forma en que se manipula el patógeno causante de la enfermedad) que prometen ser más eficaces y efectivas: las clásicas y aquellas en que la biotecnología tiene un papel central “las de nueva generación” (ver el cuadro siguiente).

Cuadro 4.1. Tipos de vacunas		
Vacunas clásicas o tradicionales	Vivas atenuadas	Se usa el microorganismo atenuado causante de la enfermedad, sin destruir los componentes que generan la respuesta inmune. Este tipo de vacunas proveen una larga e intensa duración, pero existe el riesgo de que los microorganismos utilizados mantengan la actividad patógena activa.
	Inactivadas	Contienen microorganismos enteros o toxinas que son inactivadas por métodos físicos o químicos.
	Subunidades	Se elaboran a partir de un preparado de subunidades antígenos aislando los componentes causantes de la enfermedad.
Vacunas de nueva generación	Atenuadas mediante modificación genética	Se usa la genética reversa para identificar el fragmento de ADN del patógeno virulento para aislarlo y modificarlo. Este tipo de vacunas se encuentra en fase experimental.

De péptidos sintéticos	Se realiza una copia de la secuencia genotípica con información de las proteínas antigénicas de los patógenos y se sintetizan por métodos químicos.
Anti-idiotipo	Se obtienen los anticuerpos del antígeno, los cuales se inyectan en un animal que produce nuevos anticuerpos (idiotípicos) que pueden actuar como vacuna. Son experimentales.
De proteínas y péptidos recombinantes	La tecnología de ADN permite aislar los genes que llevan la información de los patógenos, estos se introducen en bacterias, levaduras y otras células para producir antígenos con ello se producen anticuerpos. Las vacunas de este tipo pueden usar plantas (están en desarrollo) y bacterias o levaduras (ej. Hepatitis B).
Génicas	El antígeno inmunizante no se administra directamente al paciente a vacunar, sino que se extrae y usa material genético procedente del patógeno. Estas vacunas pueden ser de dos tipos: vectores víricos y bacterianos vivos, y de ADN o ARN desnudo; ambas se encuentran en desarrollo.
Comestibles	Por medio de técnicas de ingeniería genética, se producen proteínas antigénicas en plantas comestibles (en desarrollo). Las plantas se pueden cultivar de forma natural y después usar el tejido como vacuna.

Fuente: elaboración propia a partir de López (2004).

Más allá de la explicación técnica que se presenta en este apartado, se muestra que el uso de la biotecnología ha permitido multiplicar las formas y materiales utilizados en el diseño de vacunas. Científicos e investigadores prometen que esto permitirá disminuir algunos riesgos (ver apartado siguiente) de su aplicación, como el uso de ADN de animales o el de aluminio o mercurio como vehículo para evitar reacciones inmunes, así como los efectos secundarios de juntar varias vacunas en un *shot*, etcétera; aunque después de varias décadas de investigaciones no se ha creado una vacuna que no provoque daños al medio ambiente o a la salud.

4.2. Debate sobre el uso de vacunas

Históricamente la vacunación se ha considerado uno de los adelantos médicos más importantes, debido a los beneficios atribuidos. Además se considera que la disminución y el control de la incidencia de enfermedades vía inmunización también trae consigo beneficios económicos, por ejemplo, Kaufmann (2007) estima que por cada dólar gastado en una vacuna se ahorran entre 5 y 10 dólares en cuidados en salud por enfermedades prevenibles por la inmunización.

De esta forma, la inmunización se convirtió en la herramienta mayormente utilizada por los sistemas de salud para la prevención de enfermedades y disminución de la mortalidad, siguiendo al saneamiento y la provisión de agua potable.

Sin embargo, la vacunación no tiene una aceptación generalizada; existen dos posturas en torno a su uso: aquellos que están a favor y los que están en contra de su aplicación, ya que consideran que los riesgos y daños que causan son mayores que su beneficio.

Una de las principales agencias promotoras de la vacunación es la OMS (2019), pues sostiene que las razones por las que las personas deciden no vacunarse son la complacencia, los inconvenientes para acceder a las vacunas y la falta de confianza. Añade que:

la reticencia o la negativa a vacunarse a pesar de la disponibilidad de vacunas, amenaza con revertir los progresos realizados en la lucha contra las enfermedades prevenibles mediante vacunación. La vacunación es una de las formas más costoeficaces de evitar enfermedades: actualmente previene de 2 a 3 millones de muertes al año, y otros 1,5 millones de muertes podrían evitarse si se mejorara la cobertura mundial de las vacunas (OMS,2019a, párr. 1).

Sin embargo, la situación es más compleja. Aquellos que están contra la vacunación presentan una multiplicidad de argumentos que abarcan desde el cuestionamiento sobre su eficacia y seguridad; dilemas éticos, creencias ideológicas y religiosas; hasta el impacto económico. Esto obliga a científicos de distintas áreas a realizar investigaciones para determinar los riesgos y las implicaciones de su uso. El siguiente cuadro muestra una revisión de los principales argumentos en contra de las vacunas; se encuentra organizado en cinco temas centrales: clínicos, ideológicos, éticos, económicos y ambientales.

Cuadro 4.2. Principales críticas al uso de vacunas
Clínicos
<ul style="list-style-type: none"> • La aplicación de vacunas puede causar efectos secundarios. • La aplicación de algunas vacunas puede desencadenar otras enfermedades. • Se cuestiona el uso del timerosal, derivado del mercurio, como conservador en las vacunas.
Ideológicos y religiosos
<ul style="list-style-type: none"> • Algunos grupos poblacionales rechazan la aplicación de vacunas por motivos religiosos o ideológicos. Por ejemplo: comunidad Amish y naturistas. • La medicina alternativa ofrece mecanismos más seguros para prevenir y tratar enfermedades. • La disminución de la incidencia de enfermedades prevenibles se da gracias a las mejoras socioeconómicas, cuestionando la necesidad de vacunarse y su eficacia/efectividad.
Éticos
<ul style="list-style-type: none"> • La historia de la vacunación está permeada de faltas éticas, el primer ejemplo se refiere al uso de niños huérfanos para la inoculación de brazo a brazo en las primeras expediciones. • Los niños vacunados no tienen la capacidad de decidir, por lo que se premian intereses colectivos sobre los individuales. • Los investigadores y empresas ocultan información sobre efectos secundarios. • El ocultamiento de información y falta de criterios de inclusión/exclusión de pacientes en pruebas clínicas.

- El uso de animales en los procesos de investigación y prueba de vacunas.

Económicos

- En algunas ocasiones la introducción de nuevas vacunas en los esquemas de vacunación carece de análisis sobre el costo-oportunidad y del perfil epidemiológico de la población, por lo que no se garantiza la equidad en la aplicación de recursos públicos, dejando de lado problemas sanitarios apremiantes.
- Las campañas de publicidad de las vacunas incrementan las expectativas de los consumidores sobre los potenciales beneficios que pueden traer y permiten la introducción precipitada de una vacuna a los esquemas de vacunación.
- La vacunación se vuelve un negocio para los fabricantes por lo que los intereses económicos se vuelven más importantes que los colectivos.
- La falta de transparencia de todos los actores que intervienen en el mundo de las vacunas pone en duda la importancia de las vacunas.
- Existe discordancia entre la disponibilidad global de vacunas y el acceso universal a las mismas.

Ambientales

- La industria farmacéutica usa sustancias -compuestos orgánicos alifáticos o aromáticos, organohalogenados, metales pesados, cianuros, compuestos de nitrógeno-fósforo, ácidos y bases, materia orgánica de origen biológico, compuestos organometálicos, entre otros- que generan contaminación atmosférica, acuosa y residuos sólidos.
- Los hospitales, centros de salud y/o clínicas generan residuos de productos farmacéuticos vencidos e inutilizados, además de residuos sólidos contaminados.
- Los seres humanos generan desechos mediante la excreción ya que parte importante de la sustancia se elimina del cuerpo sin metabolizarse.

Fuente: elaboración propia con base en Aparicio (2015); Artigas-Pallarés(2010); Camacho, Segura, y García-Onieva (2010); Gómez y Zamanillo (2005); Morice y Ávila (2009); Quesada, Jáuregui, Wilhelm, y Delmas (2009); Ramos (2006); Rodríguez (2007); Tealdi(2015).

Los argumentos clínicos, ideológicos y religiosos tienen mayor impacto en la disminución de la vacunación, mientras que los económicos y ambientales casi no son mencionados y figuran como críticas o externalidades que se deben aceptar para obtener los beneficios que traen las vacunas a la salud. Por su parte, la esfera clínica merece especial atención ya que las investigaciones que evalúan la eficacia y seguridad de las vacunas revelan los efectos secundarios de la inmunización, lo que permite realizar recomendaciones sobre su aplicación.

En este sentido, autores como Artigas-Pallarés (2010) mencionan que no hay evidencia científica contundente que relacione la inmunización con otros padecimientos. En la misma línea, la OMS (2019b) concuerda en que la vacunación es el método más seguro de evitar enfermedades y señala que hay investigaciones sobre su seguridad que no arrojan resultados contundentes, a pesar de eso cuentan con aceptación científica y social, como ejemplo, cita una publicación realizada en 1998 donde se asegura que existe una relación estrecha entre la vacuna triple vírica (sarampión, paperas y rubéola) y el autismo. Debido al revuelo que causó esta investigación dentro de la comunidad científica se realizaron varios estudios que demostraron que los resultados eran falsos y presentaba graves sesgos, aunque

para entonces ya se había desencadenado un estado de pánico que disminuyó las tasas de inmunización causando nuevos brotes. Respecto del uso de timerosal (compuesto orgánico que contiene mercurio) como conservante, la OMS añade que no es peligroso y que no hay datos que indiquen que las cantidades utilizadas sean un riesgo para la salud.

Por su parte, Mateo *et al.* (2012) señalan que con la difusión de los argumentos en contra de la vacunación surgieron nuevos estudios sobre seguridad de las vacunas y con esto se obtuvo evidencia de que no hay relación entre la inmunización y los siguientes padecimientos: autismo, enfermedad inflamatoria intestinal, enfermedades desmielinizantes del sistema nervioso central, encefalopatía permanente, síndrome de Guillain-Barré, otras enfermedades autoinmunes, muerte súbita del lactante, diabetes mellitus tipo 1, enfermedades atópicas como asma, cáncer, sobrecarga y deterioro de los sistemas de inmunización, transmisión vacunal de virus o partículas virales e infecciones por VIH.

Asimismo, estos estudios afirman que las vacunas pueden ayudar a limitar la resistencia a antibióticos, al ser una forma eficaz de impedir infecciones evitando su administración (OMS, 2018b). En este sentido la OMS (2019b: 2–3) asegura que:

Todas las vacunas aprobadas son sometidas a pruebas rigurosas a lo largo de las diferentes fases de los ensayos clínicos, y siguen siendo evaluadas regularmente una vez comercializadas... La mayoría de las reacciones a las vacunas son leves y temporales, tales como el dolor en el lugar de inyección o la febrícula... Es mucho más fácil padecer lesiones graves por una enfermedad prevenible mediante vacunación que por una vacuna. Por ejemplo, la poliomielitis puede causar parálisis; el sarampión, encefalitis y ceguera, y algunas enfermedades prevenibles mediante vacunación incluso pueden ser mortales... los beneficios de la vacunación superan largamente los riesgos, y sin vacunas habría muchos más casos de enfermedad y muerte.

Contrario a lo anterior, otros autores señalan que no se puede garantizar que una vacuna sea cien por ciento segura. Actualmente hay muchas investigaciones sobre los efectos secundarios y la toxicidad de los adyuvantes vacunales.²⁷ Por ejemplo, Petrovsky y Aguilar

²⁷ Los adyuvantes se añaden a las vacunas para estimular del sistema inmunitario; son vehículos formados por micropartículas y emulsiones, así como diversas combinaciones de estos; su propósito es aumentar su inmunogenicidad y eficacia (OMS, 2020a).

(2004) mencionan que desde 1926 el aluminio -principalmente fosfato o hidróxido de aluminio contenidos en alumbre- es el principal adyuvante vacunal utilizado en el mundo y que, aunque en condiciones normales las dosis de aluminio que contienen las vacunas son excretadas por los riñones, si algún individuo presenta baja función renal el metal se acumula volviéndose altamente tóxico afectando el cerebro y tejidos óseos, causando el síndrome neurológico²⁸ fatal y la demencia asociada a diálisis. La intoxicación por aluminio también se asocia a la esclerosis lateral amiotrófica²⁹ y a la enfermedad de Alzheimer. Incluso Aguilar y Rodríguez (2007) apuntan que si el alumbre como adyuvante se hubiera descubierto recientemente los efectos secundarios y su nivel de toxicidad impediría su aprobación para uso en humanos, ya que no cumpliría con los requisitos reglamentarios instituidos en la actualidad.

Luego de casi cien años de que el aluminio es el adyuvante vacunal mayormente usado, no se ha logrado sustituir por otro compuesto más seguro; según Petrovsky y Aguilar (2004), esto obedece a varias causas, todas de índole económica: pocas compañías arriesgarían su inversión para implementar un programa de ensayos clínicos de antígenos candidatos con un adyuvante. Si bien hay nuevos estudios sobre adyuvantes, las compañías de vacunas eligen mantener en secreto la información mediante el patentamiento, y, finalmente, las grandes compañías insisten en que el costo de desarrollar un nuevo producto como un adyuvante ahora es prohibitivo.

Por su parte, Madurga y Abajo (2005) advierten que las vacunas pueden causar efectos adversos, algunos más severos que otros, por ejemplo, la DTP provocaría efectos locales como dolor, inflamación, enrojecimiento, abscesos estériles o bacterianos, convulsiones, llanto persistente, gritos estridentes, trombocitopenia, anemia hemolítica y

²⁸“Los trastornos neurológicos son enfermedades del sistema nervioso central y periférico, es decir, del cerebro, la médula espinal, los nervios craneales y periféricos, las raíces nerviosas, el sistema nervioso autónomo, la placa neuromuscular, y los músculos. Entre esos trastornos se cuentan la epilepsia, la enfermedad de Alzheimer y otras demencias, enfermedades cerebrovasculares tales como los accidentes cerebrovasculares, la migraña y otras cefalalgias, la esclerosis múltiple, la enfermedad de Parkinson, las infecciones neurológicas, los tumores cerebrales, las afecciones traumáticas del sistema nervioso tales como los traumatismos craneoencefálicos, y los trastornos neurológicos causado por la desnutrición” (OMS, 2020b: 1).

²⁹ La esclerosis lateral amiotrófica es una enfermedad del sistema nervioso que ataca a las células nerviosas y a la médula espinal. Al principio causa problemas musculares leves para: caminar o correr, escribir y hablar; hasta limitar por completo el movimiento. Posteriormente fallan los músculos del pecho y la respiración se dificulta (MedlinePlus, 2020).

encefalopatía³⁰ aguda. Asimismo, las que contienen el componente contra la parotiditis pueden desencadenar meningitis aséptica³¹, mientras que la vacuna contra la rubéola puede desencadenar cuadros de artritis.

Otros ejemplos son la retirada de la vacuna contra la influenza de administración intranasal del mercado suizo, creada por la compañía Berna Biotech, al descubrirse que causaba parálisis de Bell en un periodo de 31 a 60 días posteriores a su aplicación (Couch, M.D, 2004); y la suspensión de la aplicación la vacuna tetravalente de rotavirus reagrupado humano-rhesus RRV-TV en Estados Unidos luego de que el Comité Asesor sobre Prácticas de Inmunización retiró la recomendación de aplicarla al comprobar su relación con la intususcepción en menores de un año (Murphy, *et al.*, 2001).

Además, no se pueden olvidar los casos en los que se ha descubierto que las empresas farmacéuticas y biofarmacéuticas ocultan información sobre procedimientos y métodos utilizados, posibles efectos secundarios y daños al medio ambiente durante el ciclo de vida de las vacunas. Por ello, es necesario que se dé importancia al diseño y puesta en marcha de un ciclo de vida de la vacunación sustentable y equitativa. Morice y Ávila (2009: 63) señalan que:

es importante reforzar estrategias para facilitar el acceso al conocimiento basado en evidencia científica. La estandarización en los mensajes mediante la elaboración de manuales para los equipos de vacunación, preguntas y respuestas para diversas audiencias, trípticos, carteles, entre otros, han sido de mucha utilidad. Se debe asegurar la capacitación apropiada de los equipos que atienden a los usuarios, con referentes que resuelvan dudas más complejas, garantizando una inmediata respuesta. En necesario destacar la importancia de contar con un personal de salud debidamente capacitado en el manejo de eventos que ocurren posteriores a la vacunación.

³⁰ La encefalitis es una disfunción aguda del sistema nervioso central (SNC) con evidencia de inflamación cerebral. La disfunción incluye convulsiones, hallazgos neurológicos focales y alteración del estado mental (Lewis y Glaser, 2005).

³¹ La meningitis aséptica es un proceso de naturaleza fundamentalmente infecciosa que afecta las envolturas o meninges del sistema nervioso central (SNC). El término aséptico hace referencia a la ausencia de microorganismos en la tinción de Gram y negatividad de los cultivos habituales para agentes bacterianos en el líquido cefalorraquídeo (LCR). Se caracteriza por fiebre, signos y síntomas meníngeos (cefalea y rigidez de nuca), moderado incremento celular (habitualmente pleocitosis linfocitaria), valores de proteínas normales o discretamente elevados, glucosa en el rango de la normalidad y aspecto claro del LCR. Si la instauración de las manifestaciones clínicas se produce de forma rápida, en horas o pocos días, hablamos de meningitis aséptica aguda (MAA) (Oteo, 2012: 359).

Por otro lado, vale la pena señalar que las creencias religiosas e ideológicas han disminuido de forma importante los índices de vacunación. El derecho de los grupos de creyentes a decidir sobre la inmunización es cuestionado, ya que se cree que afectan su salud y la del colectivo, incluso se ha pensado en establecer la obligatoriedad de la inmunización, en detrimento de los derechos de cada individuo.

El caso reciente es la epidemia de sarampión (enfermedad que ya se había erradicado) que se presentó en octubre del 2018 y se extendió hasta 2019 en Estados Unidos. *El Universal* (2019) señala que la causa del resurgimiento de la enfermedad son las comunidades judías que ejercen su derecho a la exención médica y religiosa de la aplicación de vacunas. Cuando el problema se volvió incontrolable y la enfermedad se dispersó en el país, las autoridades prohibieron el acceso a escuelas y lugares públicos a niños que no se habían vacunado. Esto sin considerar otras causas como la movilidad de los individuos a otros países o la eficacia de las vacunas. De igual manera, algunas instituciones de salud (INSP, 2020, SS, 2020) advirtieron de un rebrote de esta enfermedad en México y hasta julio del 2020 se han presentado 194 casos. Las autoridades señalaron que algunos de estos fueron importados, otros son atribuidos a la ausencia de vacunación; de otros se desconoce la causa, ya que cuentan con antecedente de inmunización.

Los dilemas éticos, económicos y ambientales no son menos graves, pero sí menos mencionados en la literatura. Este grupo de argumentos no han sido negados por las empresas productoras y los hacedores de políticas públicas; generalmente son ignorados o se refieren a ellos como externalidades que se deben asumir; se apela a que son mayores los beneficios obtenidos que los daños causados.

De forma general, Trilla (2015) asevera que las dudas y preocupaciones afectan la confianza pública en la vacunación, lo que se refleja en retrocesos respecto de los logros alcanzados o al rechazo de la misma. Mientras que Gómez y Zamanillo (2005) advierten que la oposición es universal, estable y está alcanzando amplia difusión facilitada por el acceso a las nuevas tecnologías de la información, fundamentalmente internet, además de telefonía móvil, prensa *on line*, prensa escrita y televisión. La mejor forma de evitar estos retrocesos en materia de vacunación es que los pacientes cuenten con información completa sobre los daños y efectos secundarios que pueden causar y que se incremente la farmacovigilancia.

4.3. Breve recorrido histórico del uso de las vacunas

La primera persona que dejó constancia que no se podía enfermar dos veces por el mismo proceso infeccioso fue Tucídides, sobre el 430 a. C. en Atenas, quien propuso que aquellos que hubieran sobrevivido a una enfermedad cuidaran a otros, ya que no podrían volver contraer el mismo padecimiento (Martínez-Mateo *et al.*, 2012). Los datos más antiguos sobre vacunación datan del siglo VII, cuando budistas indios ingerían veneno de serpiente con el fin de ser inmunes a sus efectos. Otros ejemplos pioneros fueron en China, India y el Cercano Oriente, alrededor del siglo XII, donde empezaron a realizar procedimientos de variolación, que consistía en inocular el material obtenido de las lesiones de los enfermos de viruela. Poco después se comenzó a implementar en Inglaterra, popularizándose en el siglo XVIII, cuando el médico inglés Francis Home realizó intentos de inmunización contra el sarampión (Berdasquera, Cruz y Suárez, 2000, Santos, 2002, Jiménez, 2015). La variolación logró controlar la propagación de enfermedades alrededor del mundo. Se comenzaron a usar vacunas producidas de forma artesanal para frenar la dispersión de enfermedades altamente contagiosas que acababan con pueblos enteros rápidamente.

Posteriormente, Edward Jenner, considerado el padre de la inmunología, empezó a utilizar el conocimiento científico para controlar el virus causante de la viruela. Él inoculó linfas de lesiones de viruela bovina (patógeno infeccioso similar al de la viruela humana), provenientes de una mujer que trabajaba como lechera, al niño James Phips protegiéndolo de la enfermedad (Santos, 2002).

En 1880 se dio otro avance sin precedentes en el campo de la vacunación: Pasteur encontró la forma de atenuar la bacteria causante de la viruela, disminuyendo los riesgos de contraer la enfermedad al utilizar el virus activo; a la par de este descubrimiento obtuvo la vacuna antirrábica sin conocer el agente causal y con esto sentó las bases para la preparación de las vacunas (Jiménez, 2015). Después de los descubrimientos de Jenner y Pasteur, el progreso de la inmunización se dio con rapidez. El siguiente cuadro muestra algunos de los avances más significativos:

Cuadro 4.3. Avances en materia de vacunación en el mundo	
430 a.C	Tucídides dejó constancia que no se podía enfermar dos veces por el mismo proceso infeccioso.
Siglo VII	Budistas ingerían veneno de serpiente con el fin de ser inmunes a sus efectos

Siglo XII	China, India y Cercano Oriente
Siglo XVIII	Francis Home realizó intentos de inmunización contra el sarampión
1796	Edward Jenner realizó la inoculación del virus de viruela bovina y humana
1884	Koch descubre el vibrión colérico
1885	Louis Pasteur descubrió la vacuna antirrábica humana
1885	Jaime Ferrán descubre la vacuna anticolérica
1887	Beumer y Peiper comienzan a realizar las primeras pruebas experimentales de la vacuna contra la fiebre tifoidea, usando bacilos vivos.
1888	Chantemasse y Vidal llevan a cabo estudios de la vacuna contra la fiebre tifoidea, pero compuesta de bacilos muertos.
1896	Fraenkel, Beumer, Peiper y Wrigth comienzan la primera vacunación antitifoídica con fines profilácticos
1892	Haffkine preparó la primera vacuna contra la peste
1892	Ferrán y Hafkine inmunizan a sujetos con gérmenes vivos contra el cólera
1896	Wright emplea por primera vez una vacuna antitifoidea con bacilos muertos
1915	Widal agrega a la vacuna antitifoidea los bacilos paratífus A y B
1922	Albert Calmette y Camile Guerin descubren la vacuna contra la tuberculosis
1923	Gaston Ramón desarrolla la inmunización activa contra la difteria
1923	Thorvald Madsen descubre la vacuna contra la tosferina
1932	Sawver, Kitchen y Lloyds descubren la vacuna contra la fiebre amarilla
1937	Salk produce la primera vacuna antigripal inactivada
1954	Salk desarrolla la vacuna antipoliomielítica inactivada
1954	Enders logró cultivar el virus del sarampión y se produce el desarrollo de las diversas cepas de vacuna antisarampionosa a partir de 1960.
1966	Hilleman y sus colaboradores obtienen la vacuna antiparotidítica de virus vivos atenuados
1967	Auslien descubre la vacuna del Neumococo
1968	Gotschlich crea la vacuna antimeningocócica C
1970	David Smith desarrolla la vacuna contra el Haemophilus influenzae
1971	Gotschlich crea la vacuna antimeningocócica A
1973	Takahasi descubre la vacuna contra la varicela
1976	Maupas y Hilleman elaboran la vacuna contra la hepatitis B

Fuente: elaboración propia a partir de Berdasquera et al. (2000); Manterola, Bodino, Spagnuolo, y López, (1990).

Posteriormente, con el uso de biotecnología y de ingeniería genética en el desarrollo de vacunas los avances se multiplicaron. Actualmente, existen vacunas para múltiples enfermedades -algunas ya aprobadas y otras en desarrollo- que son base para la mejora de los sistemas de salud.

4.4. El sistema mexicano de vacunación: desarrollo y producción de vacunas

4.4.1. Del período colonial al Estado Desarrollista

Cinco años después de que Jenner publicara los resultados de su investigación en el libro *Variolae vaccinea*, los avances llegaron a México. En septiembre de 1803 el Rey Carlos IV ordenó la aplicación de la vacuna en todo el territorio de la Corona, debido a que recientemente había perdido a su hijo por causa de esta enfermedad. Se responsabilizó de tal encomienda al médico mexicano Francisco Xavier de Balmis (Santos, 2002). Casi de inmediato se inició la llamada “expedición filantrópica”, en la que se utilizaron niños expósitos para inocular de brazo a brazo a cientos de personas, técnica que se extendió a todo el territorio y más adelante a otros países (Santos, 2014).

En los siguientes 100 años surgieron avances sin precedente en materia de vacunación en todo el mundo. Se crearon vacunas para la prevención de enfermedades como cólera, fiebre tifoidea, peste, tuberculosis, difteria, tosferina, influenza y hepatitis B, entre otras (Manterola *et al.*, 1990, Berdasquera, Cruz y Suárez, 2000). En este contexto, México se convirtió en un ejemplo a seguir en América Latina. El siguiente cuadro muestra un resumen de los más significativos.

Cuadro 4.4. Principales avances en materia de vacunación en México	
Año	Hechos relevantes
Inicios de 1800	El Rey Carlos IV ordenó la aplicación de la vacuna contra la viruela en todo el territorio de la corona, iniciando la expedición filantrópica
1872	Benito Juárez firmó un decreto de ley donde se responsabilizaba a los médicos adscritos a los juzgados de lo civil vacunar a los niños recién nacidos cuando se les llevará a registrar
1888	Eduardo Liceaga trajo a México la vacuna antirrábica que se aplica desde entonces
1895	Apertura de la sección de Bacteriología del Instituto Patológico Nacional
1905	Apertura del Instituto Bacteriológico Nacional
1921	Cambio el nombre del Instituto Bacteriológico Nacional a Instituto Nacional de Higiene
1924	Maximiliano Ruiz montó el Laboratorio Experimental de Inmunología en el Hospital General
1938	Mario Salazar Mallén fundó el primer Servicio de Alergia en México, en el Hospital General
1939	Apertura del Instituto de Salubridad y Enfermedades Tropicales
1960	Inicio de actividades en el Instituto Nacional de Virología
1965-1970	Se implementó la vacunación masiva contra la poliomielitis y sarampión
1973	Se instauró el Programa Nacional de Inmunizaciones, un año antes que la OMS lanzará el Programa Ampliado de Inmunizaciones.
1974	Se inició la vacunación contra difteria, la tosferina y el tétanos
1986	Se comenzó a usar la cartilla nacional de vacunación como instrumento de control y registro
1990-1991	Se realizó la Encuesta Nacional de Vacunación donde se observaron rezagos en las coberturas
1991	Creación del Programa de Vacunación Universal y el Consejo Nacional de Vacunación
1993	Inicio de las Semanas Nacionales de Vacunación

Fuente: elaboración propia con base a Beltrán (1983), De Micheli-Serra (2002), Hurtado y Matías (2005), Jiménez (2015), Santos (2002, 2014), Santos (1999) y Tamez et al. (2016).

Durante los siglos XIX y XX el país aprendió y adoptó rápidamente los avances surgidos en otros lugares. Los hacedores de políticas públicas entendieron la importancia de la vacunación y comenzaron a generar estrategias para ampliar la protección tanto en número de individuos vacunados como en cantidad de enfermedades que se pueden prevenir, es así como se entendió que el sistema mexicano de salud en coordinación con el de CyT necesitaban impulsar investigaciones en el área. Al respecto, Carrillo (2017: 140) menciona que, en el transcurso del siglo XX, se crearon varias instituciones dedicadas a la producción de vacunas todos bajo la supervisión de la Secretaria de Salud. El gobierno consideró que la producción de vacunas era una prioridad nacional debido a los altos costos de importación, la necesidad de proteger a la población, la importancia de disminuir las estadísticas de mortalidad y morbilidad por enfermedades prevenibles y, por último, por razones de seguridad nacional al evitar la dependencia económica y técnica.

Es así como en 1895 se abrió la Sección de Bacteriología del Instituto Patológico Nacional y en 1905 el Instituto Bacteriológico Nacional, centros que antecedieron la creación del Instituto Nacional de Higiene -donde comenzó la producción de vacunas en 1939-. Entre 1965 y 1970 se promovió la vacunación masiva contra la poliomielitis y, posteriormente, contra el sarampión. A la par se creó el Instituto Nacional de Virología.

Además, en 1973 se instauró el programa nacional de inmunizaciones que permitió incrementar la cobertura de vacunación en todo el país. Un año después, según Beltrán (1983), se logró comprobar que la aplicación de dos o más antígenos no interfiere o modifica el proceso de protección. Así se inició con inmunización múltiple en contra de la difteria, la tosferina y el tétanos.

En 1979, el Instituto Nacional de Virología(INV) fue reconocido por la OMS por su capacidad y calidad en la producción de biológicos a nivel mundial, nombrándolo Centro Regional de Referencia para Vacunas (Hurtado y Matías, 2005). En 1986, se creó la cartilla³² de vacunación como instrumento de registro y control de las aplicaciones del país; y

³² Este documento estaba destinado a los siguientes objetivos: a) Mejorar, la cobertura de la vacunación de la población infantil mexicana. b) Conocer las cifras reales de los menores vacunados. e) Tener conocimiento anticipado de la demanda de biológicos. d) Auxiliar al sistema de vigilancia epidemiológica respecto a casos o brotes de padecimientos. e) Conocer el número de menores registrados que no se vacunan o que les falta terminar su ciclo. f) Evitar al máximo el desperdicio de biológicos (Beltrán, 1983: 211).

finamente, la política de días fijos de vacunación (Santos, 2002, 2014). Todas estas fueron medidas esenciales para que el país se colocara como ejemplo a nivel mundial en la cobertura.

Cabe destacar que desde 1970 hasta 1990, aproximadamente, México, junto con otras seis naciones, fue reconocido como autosuficiente en la producción de vacunas y exportación las vacunas del Programa Ampliado de Vacunación (PAI) (Morones, 2009, LatinComm, 2015); fue pionero en la producción de vacunas y en la generación de estrategias y planes que permitieron disminuir la mortalidad por enfermedades prevenibles. Por ejemplo, datos de la Secretaría de Salud (2015a) revelan que el Programa Nacional de Inmunizaciones pasó de tener 6 a 14 inmunógenos, siendo uno de los esquemas más completos en América Latina (ver el cuadro 4.5).

Cuadro 4.5. Esquema de vacunación en México		
Esquema Nacional de Vacunación		
Edad	Vacunas	Enfermedad que previene
Nacimiento	BCG	Tuberculosis
	Hepatitis B	Hepatitis
2 meses	Pentavalente acelular	Difteria, tétanos y tos ferina
	Antirrotavirus	Rotavirus
	Neumococo conjugada	Neumococo
4 meses	Pentavalente acelular	Difteria, tétanos y tos ferina
	Rotavirus	Rotavirus
	Neumococo conjugada	Neumococo
6 meses	Pentavalente acelular	Difteria, tétanos y tos ferina
	Hepatitis B	Hepatitis
	Rotavirus	Rotavirus
	Influenza	Influenza
7 meses	Influenza segunda dosis	Influenza
12 meses	SRP	Sarampión, la rubéola y la parotiditis
	Neumococo conjugada	Neumococo
18 meses	Pentavalente acelular	Difteria, tétanos y tos ferina
24 meses	Influenza refuerzo anual	Influenza
36 meses	Influenza refuerzo anual	Influenza
48 meses	DTP (refuerzo)	Difteria, tétanos y tos ferina
59 meses	OPV (polio oral)	Poliomielitis
72 meses	SRP (refuerzo)	Sarampión, la rubéola y la parotiditis
11 años o quinto de primaria	VPH	Virus del Papiloma Humano
Esquema de Vacunación para adolescentes y adultos		
A partir de los 15 años y cada 10 años	Td	Tétanos y difteria
>11 años que no cuenten con dos dosis de SRP o SR	SR	Sarampión y rubeola
11 años que no cuenten con antecedente vacunal	Antihepatitis B	Hepatitis B
Embarazadas en la semana 20 a 32 de gestación	Tdpa	Tétanos, difteria, tos ferina

Población de 19 a 59 años con factores de riesgo. Toda la población a partir de los 65 años	Antiinfluenza	Influenza
Población de 60 a 64 años. Todos a partir de los 65 años-	Antineumocócica	Infecciones por neumococo

Fuente: elaboración propia a partir de Secretaría de Salud (2015a, 2015c, 2015e, 2015b, 2015d).

Además, las Semanas Nacionales de Vacunación y la aplicación de otros esquemas adicionales han permitido la disminución de la morbilidad y mortalidad de enfermedades como la poliomielitis, el sarampión, la difteria, la tosferina, el tétanos, la tuberculosis meníngea, la rubéola y las infecciones por haemophilus influenza tipo B.

4.4.2. Cambio en el rumbo de la política: entrada del modelo neoliberal

A finales de los setenta se dio un cambio en la política económica y en la plataforma de desarrollo de país, lo cual tuvo repercusiones negativas en el impulso de áreas estratégicas que el Estado controlaba. El gobierno federal dejó de invertir en infraestructura; redujo el gasto en salud, CyT, y otras áreas; e inició con el desmantelamiento de los centros de investigación y desarrollo de vacunas -ignorando las recomendaciones de la OMS de incrementar el financiamiento en el área-, todo esto a pesar de que se producía el 90 % de las vacunas requeridas en todo el país.

Aunado a ello, en 1977 se comenzó con la fusión de varios institutos y dependencias encargados de garantizar la vacunación en el país, proceso que concluyó en 1999 con la desaparición de los institutos y centros de investigación que una vez colocaron al país como líder productor y aplicador de vacunas, en su lugar se fundó Birmex (Gómez, 2009), constituyéndose como empresa de propiedad mayoritaria del Estado mexicano. El objetivo principal de Birmex, desde su apertura, fue garantizar la soberanía del país en la producción de biológicos, como medicamentos y vacunas, que atendieran las necesidades de la población (Secretaría de Salud, 2019a).

Todo lo anterior provocó que el país perdiera la autosuficiencia en la producción de vacunas que había logrado a lo largo de décadas de esfuerzo, dejando esta tarea en manos del mercado, en especial, de empresas farmacéuticas transnacionales que siguen líneas de exploración ligadas mayormente a beneficios monetarios y no sociales. Al respecto, Carrillo (2017: 137–140) asegura que a finales de la década de los noventa se suspendió la fabricación

de la mayoría vacunas y comenzaron a importarse. Cabe señalar que la detención de la producción nacional no se debió a insuficiencia de capital intelectual o técnico, sino a factores económicos y políticos que dominaron la época.

Uno de los cambios económico-político que no se puede olvidar fue la sujeción de México a los mandatos de los organismos internacionales, entre ellos la OMC (1994: 373), que en específico promulgó el Acuerdo sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio, en el cual se determinó que los países miembros debían de conceder la protección mediante una patente a productos farmacéuticos y químicos. Esto por supuesto tuvo impacto en los cambios en la producción que se presentaron en el país, ya que se permitió la entrada de las grandes corporaciones. Es así como desde 1998 no se producen suficientes vacunas en el país, ni siquiera las que considera el Esquema Nacional de Vacunación (ENV). Actualmente Birmex únicamente produce faboterápicos polivalentes (antialacrán y antiviperino), la vacuna Td (que es una combinación de toxoide tetánico y diftérico) y la antipoliomielítica oral (Secretaría de Salud, 2019b); es decir, solo se fabrican dos de las 16 vacunas³³ que incluye el ENV 2015 (Secretaría de Salud, Subsecretaría de Prevención y Promoción de la salud, y Centro Nacional para la Salud de Infancia y la Adolescencia, 2015), y se compra el resto a las grandes corporaciones farmacéuticas que controlan el mercado nacional e internacional.

En tal sentido, Birmex no es capaz de cubrir las necesidades de salud de la población mexicana; se convirtió en una asociación pública-privada que transfiere el financiamiento público al ámbito privado, proceso calculado por hacedores de políticas estructurales para cumplir con los lineamientos del modelo de desarrollo que se estaba implantando (Tamez et al., 2016). México descuidó el impulso y la aplicación de fondos a estas áreas, perdiendo lentamente su liderazgo. Ello obliga a los científicos a adherir sus líneas de estudio las necesidades de los laboratorios foráneos.

Como ejemplo de operación, véase el caso de 2007, en el que mediante el Acuerdo del Consejo de Salubridad, publicado en el Diario Oficial de la Federación, se dieron

³³ Las vacunas que se incluyeron en el Esquema Nacional de Vacunación 2015 son: vacuna BCG, vacuna antihepatitis B para población pediátrica, vacuna pentavalente, vacuna antineumocócica conjugada, vacuna antirrotavirus, vacuna triple viral, vacuna antiinfluenza para población pediátrica y adolescentes, vacuna DPT, vacuna antihepatitis B para adolescentes y adultos, toxoides tetánico y diftérico, vacuna Tdpa, vacuna SR, vacuna antiinfluenza adultos, vacuna antineumocócica 23-serotipos, vacuna contra hepatitis A, vacuna contra varicela y vacuna para el VPH.

instrucciones a Birmex de asegurar la producción de vacunas contra el virus de la influenza para garantizar que el país contara con los inmunógenos necesarios para cubrir la producción de temporada y estar preparados en caso de emergencia. Según Rodríguez-Álvarez y Ponce de León-Rosales (2010: 6–7) esto se debió a que el país no tenía la capacidad de producir estas vacunas adquiriéndolas en laboratorios extranjeros, principalmente de Estados Unidos, Canadá y Francia. Es así como desde 2004 Birmex importa, controla y distribuye 20 millones de dosis de vacuna contra influenza a las instituciones del Sector Salud (IMSS, ISSSTE, Seguro Popular, Secretarías de Salud de los Estados, los servicios de salud de PEMEX y las Fuerzas Armadas, etcétera).

Ante esta solicitud Ponce de León-Rosales *et al.* (2011: A26–A27) -empleados de Birmex- señalan que la paraestatal consideró tres alternativas, a saber: i) crear tecnología interna para desarrollar y comercializar la vacuna, sin embargo, descartaron esta estrategia al considerar el período de tiempo para licenciar una vacuna es largo y tedioso; ii) adquisición de la tecnología necesaria para producir la vacuna, aunque señalan que no pudieron identificar un proveedor de tecnología; y iii) establecer un proyecto conjunto con una compañía de vacunas reconocida internacionalmente.

La empresa adoptó la última estrategia y procedió a comprar una planta para la producción de vacunas a Sanofi Aventis por 222 millones de pesos, con la intención de producir 15 millones de dosis anuales por 15 años, eso garantizaría la autosuficiencia del país ante posibles pandemias. Sin embargo, en 2011 se incrementó el costo de inversión de 493.8 mdp (222.4 compra de la planta y 271.4 construcción) a 1,082.7 millones de pesos, lo cual era insostenible según las autoridades mexicanas. En 2014, aún con la adaptación de la planta inconclusa, Birmex inició negociaciones con Sanofi Pasteur (empresa filial de Sanofi Aventis) para establecer una asociación pública-privada con una duración de 15 años, con las siguientes características: Sanofi Aventis terminará y pondrá en operación la planta, hará transferencia de tecnología y capacitará al personal mexicano; mientras que Birmex estará obligado comprar vacunas a Sanofi Pasteur a precios preferenciales mientras se termina el acondicionamiento de la planta y una vez se inicie la producción será socio de la multinacional hasta el 2032 (Secretaría de Salud, 2018).

En 2009 unos años después de que se encargó a Birmex garantizar el abasto de vacunas contra la influenza, el país fue el centro de una de las pandemias más graves del

siglo, cuando aún no contaba con la capacidad de proteger a toda la población contra el virus, incluso no se pudo garantizar que a las personas más vulnerables (niños, personas de la tercera edad, embarazadas y trabajadores del sistema de salud) fueran vacunadas. Al respecto, Rodríguez-Álvarez y Ponce de León-Rosales (2010: 8) aseguran que la situación por la que atravesó el país en el 2009 dio cuenta de que en caso de requerirse vacunar a todos los habitantes del planeta, la plataforma de producción no será capaz de cubrir esa solicitud. Añade que los avances biotecnológicos se encaminan a tener cada vez mejores vacunas, producidas en procesos óptimos, con altos rendimientos y menos puntos vulnerables; ello permitirá garantizar el abasto de las vacunas en todas las regiones del orbe. Aunado a esto, señalan que es imperante reforzar la educación sanitaria, fortalecer la capacidad de diagnosticar rápida y eficazmente las enfermedades prevenibles (no solo la influenza); establecer protocolos de vigilancia epidemiológica, y finalmente, desarrollar la capacidad de producir nuestras propias vacunas en México.

Ese no es el único ejemplo de la dependencia de la paraestatal. La cuenta pública de Birmex (al 31 de diciembre de 2014) proporcionada por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (2014) muestra como sus proveedores a Sanofi Pasteur, Merck Sharp & Dohme Comercializadora, Merck Sharp & Dohme de México, Schering Plough, Serum Institute of India Limited, entre otros. Estas empresas figuran entre las más grandes a nivel mundial en el desarrollo y producción de vacunas.

En este sentido, Oliva, Jafif, Akkad, y Waliszewski (2013) aseguran que el sistema de salud mexicano tiene nuevos retos y problemas que atender. La introducción de la biotecnología en el área puede ser una estrategia que permita mejorar la situación actual. Sin embargo, para que se obtengan los resultados deseados, es necesario mitigar problemas como la inequidad, pobreza y falta de inversión, para lo cual se tienen que realizar cambios en la orientación de las políticas incluyendo el principio de equidad.

A manera de resumen, durante cien años el país promovió avances sobresalientes en materia de vacunación. No obstante, desde finales de los setenta con la implementación de las políticas económicas neoliberales, se limitó el financiamiento y el apoyo a los centros de investigación, por ello se perdió el liderazgo del país. Birmex debería gestar vinculaciones con universidades e investigadores expertos en la creación de medicamentos y vacunas para

satisfacer las necesidades epidemiológicas de la población mexicana, y con ello reducir la dependencia que mantiene con las grandes empresas extranjeras.

Reflexiones finales

La historia de la inmunización muestra que las vacunas han sido una de las herramientas mayormente usadas en el campo de la medicina preventiva para disminuir la mortalidad y prevenir enfermedades. Los profesionales de la salud, en su afán de crear nuevas y mejores vacunas, se apoyan del progreso de la CyT, en especial de la biotecnología, con la promesa de crear productos que permitan realizar diagnósticos y tratamientos más eficaces, y que además minimicen los riesgos y efectos secundarios que trae consigo su uso.

Sin embargo, existen dilemas éticos, religiosos, clínicos, ideológicos y económicos vigentes en torno a la vacunación que ponen en duda la credibilidad de su efectividad y de la seguridad de su uso en humanos. Esto es una muestra de la necesidad de diseñar un marco normativo que evalúe y regule el uso de aplicaciones biotecnológicas, entre ellas las vacunas; y que las políticas de impulso a la CTeI de cada nación establezcan líneas de investigación acordes al perfil epidemiológico y a las necesidades de su sistema de salud.

Con relación al sistema mexicano de vacunación fue meritorio que durante la época del Estado Desarrollista se colocara como líder en la producción de vacunas y como ejemplo en el diseño de esquemas y programas de inmunización en Latinoamérica; tan es así que su autosuficiencia fue reconocida por organismos internacionales de salubridad. Sin embargo, el cambio de las políticas económicas en los años setenta tuvo un impacto negativo en el área, pues se dejó de invertir abriendo espacios para que el sector privado incrementará su participación. La reducción del gasto provocó el desmantelamiento de los centros de investigación encargados de la producción y la apertura de sectores estratégicos al mercado permitió que las empresas farmacéuticas se encargaran de cubrir las necesidades de salud de los mexicanos. Todo esto resultó en un retroceso que mermó la autosuficiencia con la que contaba el país. Por ello, se deja ver que es necesario un cambio en el paradigma prevaleciente e impulsar la investigación biomédica que atienda las necesidades epidemiológicas para reducir la dependencia que existe con las grandes empresas que controlan el mercado nacional.

El caso de Birmex es representativo de la situación antes descrita, pues esta empresa fue fundada a partir de la fusión de institutos y dependencias que aseguraban la autosuficiencia del país, pero actualmente está lejos de cumplir la encomienda de garantizar el abastecimiento de vacunas en México. La paraestatal ya no produce nuevas vacunas, ya que más que inscribirse en el desarrollo científico-tecnológico al funcionar como un centro de I+D y establecer redes de colaboración con centros de investigación y universidades; su función es de intermediaria al comprar a las grandes empresas biofarmacéuticas y revender a los institutos públicos de salud, representando una carga para el erario. Ejemplo de ello es que no figura como solicitante de patentes ante la OMPI, ni como beneficiaria de los apoyos que otorga el CONACYT. Contrario a ello, la función primordial de Birmex era destinar su área de I+D para desarrollar vacunas propias que atendieran las necesidades epidemiológicas de población.

Capítulo V. Panorama de la investigación pública y el patentamiento sobre vacunas biotecnológicas en México

A lo largo de la historia de la humanidad se han presentado varias crisis de salud que han puesto de manifiesto la insolvencia de los sistemas mundiales para atender a mucha población al mismo tiempo, ya sea porque no cuentan con los insumos o el personal médico necesario, o porque están surgiendo nuevos padecimientos para los cuales no hay tratamientos.

En este contexto se impulsa el progreso de la biotecnología moderna o sintética en el área de la salud, ya que los expertos aseguran que las técnicas usadas por esta, como es la ingeniería genética que tiene el potencial de diseñar o rediseñar el ADN de cualquier organismo, pueden avanzar en la comprensión de las enfermedades. La investigación relacionada con vacunas de nueva generación ya no solo se orienta a crear inmunógenos más eficientes y seguros para prevenir enfermedades ya conocidas, como el sarampión o la varicela; ahora hay estudios sobre nuevos padecimientos para los cuales aún no hay cura, tal es el caso de los distintos tipos de cáncer, el VIH-SIDA, las enfermedades crónico-degenerativas, las alergias y las zoonosis, entre otras; con la intención evitar futuros brotes o disminuir su incidencia. Respecto de lo anterior, podemos decir que la importancia de crear capacidades científicas y tecnológicas para la creación de vacunas biotecnológicas es central por el potencial beneficio social y económico de sus aplicaciones.

En México se han implementado una serie programas y políticas públicas para impulsar el desarrollo de la CTeI - la biotecnología se incluyó desde el 2000- entre las que se encuentra la formación de personal altamente calificado, distintos fondos de financiamiento, estímulos a la investigación básica y aplicada, creación de infraestructura y de incentivos para redes de colaboración.

Este capítulo tiene por objetivo mostrar el panorama de la investigación pública y el patentamiento de vacunas biotecnológicas en México. La relevancia de este trabajo tiene que ver, en primer lugar, con la importancia de la salud para el desarrollo y, en segundo lugar, con el papel que se le ha dado al progreso científico-tecnológico como mecanismo para incentivar el crecimiento y generar progreso social. En este sentido, la biotecnología, junto con otras tecnologías emergentes, es considerada un área sobresaliente por su carácter disruptivo, lo que tiene implicaciones en el desarrollo económico y social. Si bien hay

autores, cuerpos académicos y grupos de investigación que ya cuentan con amplia trayectoria en el estudio, análisis y sistematización información sobre biotecnología en distintas áreas (como la agrícola, ambiental y farmacéutica) y aristas, dada la rápida evolución de la tecnología este es un campo fértil para realizar investigaciones. Más aún, este estudio cobra relevancia si consideramos el contexto actual de la pandemia del SARS-CoV-2, que pone de manifiesto la importancia de la búsqueda de vacunas en todo el mundo.

En esta tesis se consideraron aspectos centrales que permitirán mostrar la situación que prevalece en el país: i) se revisaron los programas de financiamiento público a la investigación para determinar si se prioriza la biotecnología, en especial la creación de vacunas biotecnológicas; ii) se buscaron las instituciones educativas, investigadores y cuerpos académicos para identificar el número aproximado personal altamente calificado que hay en el país; iii) se identificaron los laboratorios nacionales, los centros públicos de investigación y las redes de colaboración para determinar si existe infraestructura y sinergias entre investigadores que permitan el avance del área; iv) se realizó un análisis bibliométrico en la WoS para medir la producción académica sobre vacunas biotecnológicas e identificar redes de colaboración tanto al interior como en el exterior del país; y v) se efectuó una búsqueda de las solicitudes de patente sobre vacunas biotecnológicas ante la OMPI. Todos estos elementos son el principal instrumento para medir el nivel de innovación de un país y/o de un campo tecnológico.

5.1. Financiamiento público a la investigación sobre vacunas biotecnológicas en México

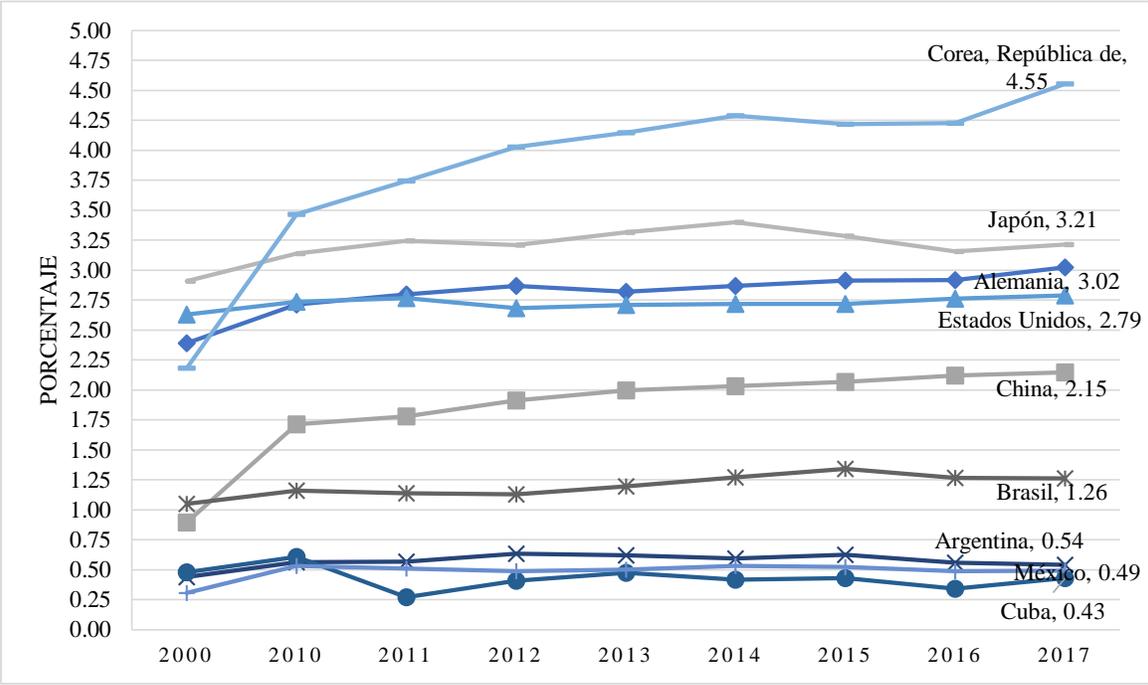
Como ya se señaló al inicio de este documento, organismos internacionales, gobiernos, empresas, académicos y distintas organizaciones de la sociedad civil concuerdan en la importancia de la CTI para generar desarrollo económico y bienestar social; y por tanto consideran prioritario destinar recursos al área para incentivar su progreso. Por ejemplo la (UNESCO, 2020: 1) señala que “Invertir en ciencia, tecnología e innovación (CTI) es fundamental para el desarrollo económico y el progreso social”.

En este sentido, las economías diseñan estrategias que incentiven el gasto público y privado en el área. En México, por ejemplo, el marco normativo nacional reconoce la

importancia de invertir en el progreso científico-tecnológico y menciona la importancia de generar entornos de innovación para que la iniciativa privada invierta y le otorga al sector público la obligación de garantizar el progreso de la CTel; por ejemplo, en el PECiTI 2014-2018 (párr. 1) se anota que: “Existe la convicción de que la inversión en ciencia y tecnología es una herramienta fundamental para acceder a una economía de bienestar, basada en el conocimiento”.

No obstante, en el país se visualizan problemas sobre la cantidad y el manejo de estos recursos, los cuales impiden que se coloque como líder en el área. Primero, el gasto como porcentaje del PIB continua por debajo del mínimo recomendado (1 %), colocándose en 0.49 % para el 2017, según datos del BM (2018). A diferencia de México, otros países, sobre todo los desarrollados, destinan entre el 1 y el 4 % de su PIB a la I+D y algunos han logrado construir entornos científico-tecnológico virtuosos (ver gráfica 5.1).

Gráfica 5.1. Gasto en I+D de algunos países como porcentaje del PIB

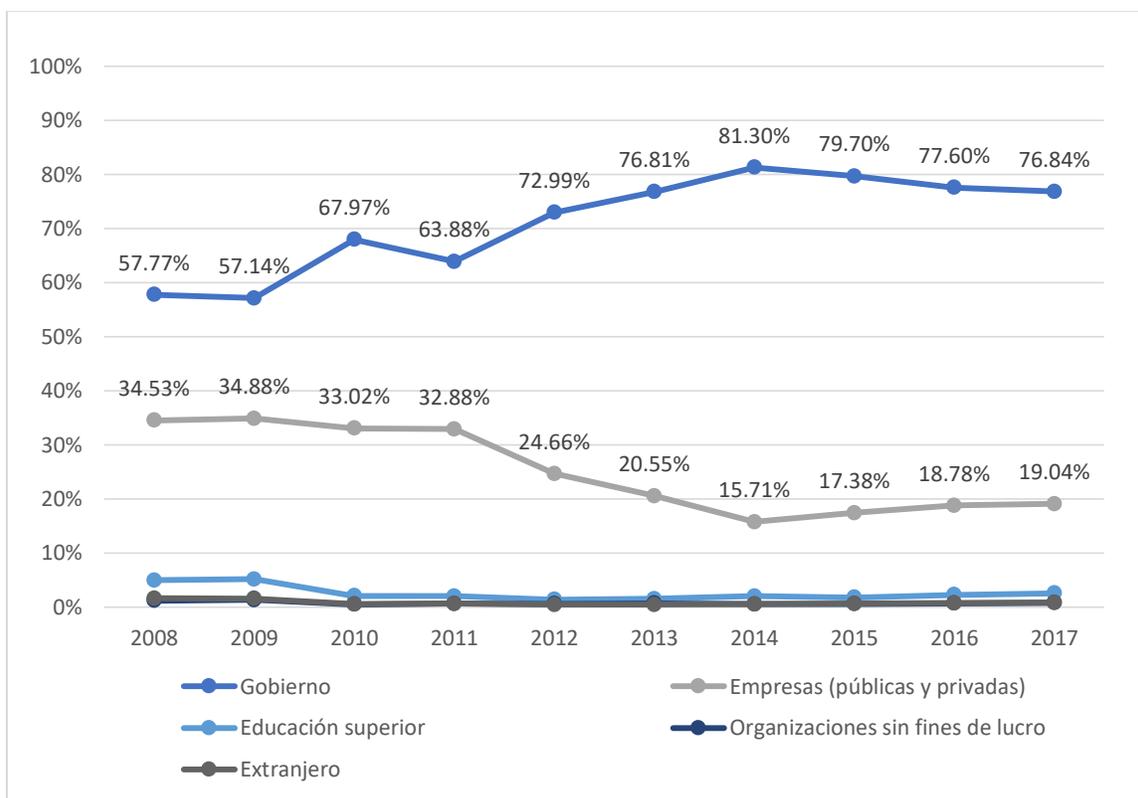


Fuente: datos sobre Gasto en I+D del Banco Mundial (2018).

Segundo, el financiamiento a la I+D proviene de distintas fuentes: el gobierno, las empresas, las instituciones de educación e investigación e incluso de otras organizaciones del interior o exterior del país. En el caso de México, la mayor parte del gasto en este rubro proviene del

gobierno, si bien, se puede observar un incremento en la participación de las empresas, más de la mitad procede del sector público, convirtiéndolo en el más importante (ver gráfica 5.2).

Gráfica 5.2. Gasto en I+D por sector de financiamiento en México



Fuente: Red Iberoamericana de Indicadores de Ciencia y Tecnología (2019).

Según la OCDE, (2016) el escaso financiamiento privado a la CyT en México se debe a que los vínculos entre la industria y la ciencia son débiles. Por su parte, el Consejo Consultivo de Ciencias (CCC, 2017) lo atribuye a que existen pocas industrias innovadoras y agrega que a diferencia de otros países (Estados Unidos, Corea del Sur, India, entre otros), donde estas empresas son creadas por los investigadores, en el país los científicos tienen poco interés en la explotación comercial del conocimiento debido a varias causas: la falta de cultura tecnológica y de emprendimiento de las universidades y centros públicos de investigación; la falta de recursos y asesoramiento legal para gestionar y mantener las patentes; el desconocimiento del mercado y de la composición de la industria mexicana; y por último, la legislación federal impedía -antes de 2015- a los investigadores empleados en instituciones públicas trabajar en empresas a las cuales pudieran transferir tecnologías generadas en las

instituciones públicas. A todo esto se le puede agregar la falta de interés en la creación de industrias nacionales intensivas en conocimiento, como sí sucedió en Cuba, o bien, la generación de un marco regulatorio que obligue a las empresas a establecer centros de I+D - como fue el Requisito de Planta implementado antes del 2000 en México- y a transferir conocimiento y tecnología cuando colaboran con las instituciones públicas, como se realizó en China.

Finalmente, el tercer problema tiene que ver con el manejo y orientación de los recursos. La política actual de CTeI y, en específico, algunos programas de financiamiento público tienen limitaciones que impiden optimizar el uso de los recursos. Así por ejemplo, Villavicencio (2019: 81–84) señala algunas de ellas: i) los programas no tienen una relación jerarquizada entre sí para que las empresas incursionen en actividades de I+D cada vez más complejas; ii) no hay articulación entre todos los programas de financiamiento, lo que permite a las empresas que puedan acceder a los subsidios para ejecutar proyectos similares durante varios años, o bien, de forma simultánea en distintos tipos programas; iii) no existen instrumentos que apoyen el escalamiento industrial y la comercialización de manera que las empresas que no cuentan con capital suficiente para esta última fase y no logran colocar en el mercado los resultados de sus proyectos de I+D; iv) no cuentan con de un enfoque sectorial y concomitante con una política de fomento industrial; v) algunos programas de financiamiento a las empresas funcionan por medio de subsidios a fondo perdido, en lugar de ser créditos o exenciones fiscales, por lo que las empresas no están obligadas a devolver los recursos.

Aunado a ello, no se establece una agenda de investigación que vincule los temas de prioridad nacional con los proyectos susceptibles a financiarse; también si los resultados obtenidos en las investigaciones son susceptibles de DPI no son divulgados, lo que incrementa la concentración de conocimientos; además, del hecho de que muchas patentes no se insertan en la esfera productiva, por lo que no hay garantía de que la inversión pública colabore con el desarrollo nacional.

En este sentido, Ribeiro (2019: 3) menciona que, en muchos casos, en los proyectos participan universidades y centros públicos de investigación, lo cual facilita la influencia de las trasnacionales en las agendas de investigación, que además aprovechan la infraestructura, la formación y trabajo de investigadores, docentes y estudiantes. Por su parte, Foladori,

(2014) señala que aunque la investigación pública tiene como objetivo directo brindar un servicio a la comunidad, de forma indirecta colabora en proceso de obtención de ganancias de las grandes empresas, en primer lugar, al generar conocimiento científico básico en el que la iniciativa privada no invierte; y en segundo lugar, al formar personal altamente calificado cuyo costo de instrucción representa un subsidio al capital.

A lo anterior se le añade que los objetivos de las políticas científico-tecnológicas están sujetos a intereses económicos que definen qué áreas deben financiarse, y en general, determinan el rumbo de la investigación; específicamente, se centran en elevar la competitividad y productividad, situación que se aleja de la satisfacción de necesidades sociales. En este contexto, Foladori (2015) señala que la competitividad significa orientar la investigación hacia sectores que puedan competir en el mercado mundial, que generen empresas (spin-offs) que puedan ser rápidamente vendidas o conocimiento que pueda ser patentado; los cuales están cooptados por las corporaciones transnacionales.

Entre los sectores que pueden competir en el mercado internacional se encuentra la biotecnología y a las otras tecnologías emergentes: la nanotecnología, la genómica, las tecnologías de la información y comunicación. Por tanto, los planes y programas de CTeI del país consideran la biotecnología como un sector estratégico, es decir, es un área que debe guiar la generación y aplicación del conocimiento. Por ejemplo, el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI) 2014-2018 plantea la necesidad de “fomentar las aplicaciones de la biotecnología para atender responsablemente las amenazas a la salud humana...” (CONACYT, 2014: 42, 43, 50).

Cabe señalar que en México la institución encargada de incentivar y vigilar el progreso científico-tecnológico es el CONACYT, específicamente, se le atribuye la función de:

ser la entidad asesora del Ejecutivo Federal y especializada para articular las políticas públicas del gobierno federal y promover el desarrollo de la investigación científica, el desarrollo tecnológico y la innovación a fin de impulsar la modernización tecnológica del país (CONACYT, 2019b: 1)

Para ello, el CONACYT contaba con distintos fondos y apoyos de financiamiento a la investigación científica, tales como: Fondos Sectoriales, Fondos Mixtos; Fondos y Apoyos Institucionales; el Programa de Estímulo a la Innovación y el Estímulo Fiscal a la

Investigación y Desarrollo de Tecnología. El CONACYT señala que esta batería de fondos debe atender temas de prioridad nacional ya que se financian con recursos públicos, específicamente indica que:

el CONACYT reestructura sus programas presupuestales para atender las necesidades de financiamiento que permitan el cabal cumplimiento de los objetivos de las líneas de acción estratégicas, definidas tanto por la Ley de Ciencia y Tecnología, el Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación y el Plan Nacional de Desarrollo (CONACYT, 2019c: 2).

Por lo anterior, este apartado muestra una revisión de los proyectos de investigación que se han financiado con los fondos y apoyos públicos del CONACYT, para determinar si el desarrollo de vacunas biotecnológicas es incluido como tema prioritario como se establece en la legislación³⁴. Cabe señalar que el periodo analizado en cada programa está en función de las bases de datos disponibles.

5.1.1. Fondos sectoriales

Estos fondos son fideicomisos que tienen la finalidad de fomentar el desarrollo científico y tecnológico en los distintos sectores que son considerados estratégicos para el desarrollo del país. Los recursos están destinados a:

las universidades e instituciones de educación superior públicas y particulares, centros, laboratorios, empresas públicas y privadas y demás personas que se encuentren inscritas en el Registro Nacional de Instituciones y Empresas Científicas y Tecnológicas que puedan brindar soluciones científicas y/o tecnológicas a las problemáticas de los sectores (CONACYT, 2019d: 3).

Hasta el segundo semestre de 2019 el CONACYT tenía registrados 32 fondos sectoriales constituidos, que abarcan distintos sectores estratégicos:

- 1) Fondo Sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Actividades Espaciales CONACYT-AEM
- 2) Fondo Sectorial de Investigación para el Desarrollo Aeroportuario y la Navegación Aérea
- 3) Fondo Sectorial para Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía

³⁴ Se puede retomar el Capítulo III “Marco normativo sobre biotecnología”; en especial, el Cuadro 3.4. “*La biotecnología en los planes o programas de CTeI en México*”.

- 4) Fondo Sectorial CONACYT – CONEVAL
- 5) Fondo Sectorial de Investigación para la Evaluación de la Educación CONACYT-INEE
- 6) Fondo Sectorial de Investigación CONACYT – INEGI
- 7) Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Hidrocarburos
- 8) Fondo Sectorial CONACYT-Secretaría de Energía-Sustentabilidad Energética
- 9) Fondo Sectorial CONACYT-SEGOB-CNS para la Seguridad Pública
- 10) Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal
- 11) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua
- 12) Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico para el Fomento de la Producción y Financiamiento de Vivienda y el Crecimiento del Sector Habitacional
- 13) Fondo Sectorial de Innovación PROSOFT – INNOVACIÓN
- 14) Fondo de Innovación Tecnológica
- 15) Fondo Sectorial de Investigación INIFED-CONACYT
- 16) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo INMUJERES–CONACYT
- 17) Fondo Sectorial de Investigación en Materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos
- 18) Fondo Sectorial de Investigación SECTUR–CONACYT
- 19) Fondo Sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos
- 20) Fondo Sectorial de Investigación para el Desarrollo Social
- 21) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencias Navales
- 22) Fondo Sectorial de Investigación Ambiental
- 23) Fondo Sectorial de Investigación para la Educación
- 24) Convocatoria de Investigación Científica Básica
- 25) Convocatoria de la Administración Federal de Servicios Educativos en el Distrito Federal (AFSEDF)
- 26) Convocatoria de Investigación para la Educación Indígena e Intercultural
- 27) Convocatoria de Investigación en Juventud
- 28) Convocatoria de la Subsecretaría de Educación Básica
- 29) Subcuenta de Investigación para la Evaluación de la Educación
- 30) Investigaciones Acerca de la Violencia de Género/Investigaciones con Enfoque de Género
- 31) Fondo Sectorial de Investigación SRE–CONACYT
- 32) Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social

Es importante puntualizar que durante el primer trimestre de 2020 se observó una disminución de fondos sectoriales. Actualmente, hay 24 fondos sectoriales vigentes; además, al 31 de marzo del 2020 no les habían asignado recursos (CONACYT, 2020a), esto impidió incluirlos en el análisis:

- 1) Fondo Sectorial de Investigación para la educación FSIE, SEP-CONACYT

- 2) Fondo Sectorial de Investigación para el Desarrollo Aeroportuario y la Navegación Aérea
- 3) Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal
- 4) Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica en Turismo SECTUR-CONACYT
- 5) Fondo Sectorial de Investigación en materias Agrícola, Pecuaria, Acuicultura, Agrobiotecnología y Recursos Fitogenéticos
- 6) Fondo sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación del Ejército y Fuerza Aérea Mexicanos (SEDENA-CONACYT)
- 7) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo en Ciencias Navales (SEMAR-CONACYT)
- 8) Fondo Sectorial de Innovación PROSOFT-INNOVACIÓN
- 9) Fondo Sectorial CONACYT-SEGOB-CNS para la Seguridad Pública
- 10) Fondo de Innovación Tecnológica Secretaría de Economía- CONACYT (FIT)
- 11) Fondo Sectorial para la Investigación y Desarrollo Tecnológico en Energía CFE-CONACYT
- 12) Fondo Sectorial CONACYT-SENER-HIDROCARBUROS
- 13) Fondo Sectorial CONACYT-SENER-SUSTENTABILIDAD ENERGÉTICA
- 14) Fondo Sectorial de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación en Actividades Espaciales AEM-Conacyt
- 15) Fondo de Desarrollo Científico y Tecnológico para el Fomento de la Producción y Financiamiento de Vivienda y el Crecimiento del Sector Habitacional CONAVI-Conacyt
- 16) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo INMUJERES – Conacyt
- 17) Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad social SS/IMSS/ISSSTE-Conacyt
- 18) Fondo Sectorial de Investigación para el Desarrollo Social SEDESOL-Conacyt
- 19) Fondo Sectorial de Investigación Ambiental SEMARNAT-Conacyt
- 20) Fondo Sectorial de Investigación y Desarrollo sobre el Agua Conagua-Conacyt
- 21) Fondo Institucional del Conacyt
- 22) Fondo Sectorial CONACYT-INEGI
- 23) Fondo Sectorial CONACYT-INEE
- 24) Fondo Sectorial CONACYT-CONEVAL

Con la revisión de los fondos vigentes hasta el 2019 se encontró que solo en 4 de ellos existen proyectos dedicados al desarrollo de la biotecnología: i) el Fondo Sectorial de Innovación, ii) el Fondo de Innovación Tecnológica, iii) el Fondo de Investigación Científica Básica y, iv) el Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social.

Con relación al *Fondo Sectorial de Innovación* se encontró información disponible desde 2011 hasta 2018, en la que se evidencia que se financiaron 1,152 proyectos con un monto total de inversión de 836,438,638.01 de pesos. Asimismo, se encontraron únicamente

3 proyectos dedicados al desarrollo de vacunas para uso humano con un financiamiento de 6,021,500 de pesos. De estos proyectos de investigación, 2 corresponden al desarrollo de vacunas biotecnológicas y uno es un plan de comercialización de nano biopolímeros para el transporte de vacunas (de cualquier tipo), por lo que está orientado al sector de servicios. Por su parte, entre 2002 y 2010 el *Fondo de Innovación Tecnológica* financió 3 proyectos de investigación relacionados a la creación de vacunas biotecnológicas de uso humano con una aportación de 21,412,202.99 de pesos, lo que corresponde al 0.78 % del monto total de financiamiento.

Respecto del *Fondo de Investigación Científica Básica*, se cuenta con información de proyectos financiados desde el 2002 hasta el 2018; en este periodo se encontraron 38 proyectos relacionados con la invención de vacunas de uso humano, de los cuales 31 tienen que ver con la creación de vacunas biotecnológicas, mientras que por falta de información no se pudo definir si los restantes corresponden a la creación de vacunas tradicionales o de última generación; en lo que refiere al financiamiento de estos proyectos corresponde al 0.39 % de la inversión total del fondo.

Finalmente, entre 2013 y 2019 el *Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social* solo cuenta con 6 proyectos dedicados al desarrollo de vacunas humanas los cuales son acreedores a un financiamiento de 13,436,375 de pesos. De estos, 3 tienen que ver con la creación de vacunas biotecnológicas y el resto se ubican en la esfera de servicios; es decir, en la evaluación, diagnóstico, comercialización de vacunas tanto tradicionales como de última generación. Algunos de los entes beneficiados por este fondo son: el Instituto Mexicano del Seguro Social, el Instituto Nacional de Salud Pública, la Universidad Veracruzana, la Universidad Nacional Autónoma de México, la Universidad Autónoma Yucatán, la Universidad Autónoma de Nuevo León y el Instituto Politécnico Nacional, entre otros.

Cuadro 5.1. Proyectos de investigación para el desarrollo de vacunas financiados por Fondos Sectoriales		
Proyectos	Número de proyectos	Monto del financiamiento
Fondo Sectorial de Innovación		
Todos	1,152	\$836,438,638.01
Vacunas para uso humano	3	\$6,021,500.00
Fondo de Innovación Tecnológica		
Todos	998	\$2,725,874,193
Vacunas para uso humano	3	\$21,412,202.99

Fondo de Investigación Científica Básica		
Todos los proyectos	10,294	\$11,762,961,969.00
Vacunas para uso humano	38	\$46,406,994.73
Fondo Sectorial de Investigación en Salud y Seguridad Social		
Todos los proyectos*	n/d	n/d
Vacunas para uso humano**	6	\$13,436,375.00

Fuente: elaboración propia con base en datos del CONACYT (2019d).

*Respecto del número de proyectos y monto total otorgado en este periodo no se puede determinar ya que hay periodos en los cuales el CONACYT no proporciona información (segundo trimestre del 2014 y primer trimestre del 2015); además existen bases de datos duplicadas (por ejemplo, la base correspondiente al tercer trimestre del 2014 es igual a la del cuarto trimestre del 2013).

**Tres de los proyectos obtuvieron financiamiento en dos ejercicios fiscales.

5.1.2. Fondos mixtos

Los fondos mixtos tienen por objetivo incentivar las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación regionales, ello mediante un fideicomiso que concentra aportaciones de los tres niveles de gobierno: federal, estatal y municipal (CONACYT, 2019e). Entre 2002 y 2018 este fondo financió 5,614 proyectos por un monto de 13,474,142,724 de pesos; de los cuales solo 12 proyectos tienen que ver con el desarrollo de vacunas, aunque solo 4 de ellas serían de uso humano (ver siguiente cuadro).

Cuadro 5.2. Proyectos de investigación para el desarrollo de vacunas humanas financiados por Fondos Mixtos		
Estado	Sujeto de apoyo	Monto aprobado
Nuevo León	UANL (Universidad Autónoma de Nuevo León)	\$650,000.00
San Luis Potosí	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)	\$499,000.00
Sonora	UNISON (Universidad de Sonora)	\$175,000.00
Yucatán	IMSS (Instituto Mexicano del Seguro Social)	\$750,000.00

Fuente: elaboración propia con base en datos de CONACYT (2019c).

De los cuatro proyectos tres corresponden al desarrollo de vacunas biotecnológicas o de última generación, y uno tiene que ver con una investigación sobre la eficiencia y seguridad de vacunas tradicionales.

5.1.3. Fondos y apoyos institucionales

Estos fondos fueron creados para dar respuesta a la demanda de apoyos que realiza la comunidad científica y tecnológica del país, fortalecer las relaciones del país con sus socios en el plano de CTel; promover acciones científicas, tecnológicas y de innovación; formar de

recursos humanos especializados; y fortalecer de los sistemas locales, estatales y regionales dedicados al área (CONACYT, 2019f). Para el cumplimiento de estos objetivos, el CONACYT creó la siguiente batería de Fondos Institucionales: el Fondo Institucional del CONACYT (FOINS), el Fondo de Cooperación Internacional en Ciencia y Tecnología del CONACYT (FONCICYT), el Fondo Institucional de Fomento Regional para el Desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación (FORDECYT) y, por último, el Fondo para el Fomento y Apoyo a la Investigación Científica y Tecnológica en Bioseguridad y Biotecnología (Fondo CIBIOGEM).

En relación con el FOINS, el CONACYT tiene información disponible desde 2009 hasta el 2013, periodo en el cual se financiaron 79 proyectos por un monto de 575,486,294.94 de pesos. Durante este lapso no se encontraron proyectos relacionados con vacunas. Por otro lado, el FONCICYT financió 77 proyectos de investigación por un monto de apoyo de 246,446,724.20 de pesos entre 2014 y 2017; del total únicamente se encontraron 2 proyectos relacionados con el desarrollo de vacunas por un monto de 3,838,471.46 de pesos, una de ellas para uso veterinario y otra de uso humano; esta última biotecnológica. Mientras tanto desde 2009 hasta 2019 el FORDECYT financió 315 proyectos por un monto de apoyo de 5,295,829,674.06 de pesos, de los cuales no existen proyectos sobre vacunas.

Respecto al Programa para el Desarrollo de la Bioseguridad y la Biotecnología (PDDB), en el sexto objetivo del PECiTI 2014-2018 se establece la instauración de este programa y se plasman cuatro estrategias específicas a seguir:

- i) fortalecer la investigación en bioseguridad de los desarrollos biotecnológicos que sustente científicamente la toma de decisiones en la materia, ii) fomentar aplicaciones innovadoras de la biotecnología moderna, orientadas hacia la atención de las necesidades del país, iii) favorecer el intercambio, cooperación internacional y vinculación de especialistas en bioseguridad y biotecnología y iv) promover la comunicación, difusión y apropiación social del conocimiento en bioseguridad y biotecnología (CONACYT, 2014; 58-59).

Desde 2011 hasta la fecha solo se reportan 23 proyectos financiados³⁵, de los cuales 20 están ubicados en el desarrollo de la biotecnología agrícola y solamente uno³⁶ en el área de la salud, en específico, a la creación de vacunas. El monto otorgado al proyecto es de 1,060, 000 pesos, lo cual corresponde solo al 1.3 % del presupuesto total otorgado.

5.1.4. Apoyos para infraestructura

El Programa de Apoyo al Fortalecimiento y Desarrollo de la Infraestructura Científica y Tecnológica está dirigido a instituciones que realicen actividades de investigación, y tiene la finalidad de proveer recursos económicos para la renovación de equipo científico (CONACYT, 2019g). El CONACYT provee información de este fondo desde 2011 hasta 2018, tiempo en el que se financiaron 1,130 proyectos de renovación, adecuación o construcción de instalaciones, así como de adquisición de equipo especializado. Durante este tiempo se encontró que 5 proyectos se orientaron a fortalecer la infraestructura para el desarrollo de vacunas de última generación, más aún, su financiamiento fue de \$13,471,175.71 lo que corresponde al 0.32 % del monto total del programa de apoyo. Además, las universidades y centros de investigación beneficiados cuentan con departamentos, líneas de investigadores y personal altamente calificado especializados en el estudio y desarrollo de la biotecnología.

5.1.5. Programa de estímulos a la innovación

El Programa de Estímulos a la Innovación (PEI) tiene el objetivo de otorgar estímulos a las empresas para el fomento de la investigación, el desarrollo tecnológico y la innovación (CONACYT, 2019c: 2). Entre el 2009 y el 2017 se apoyó, vía inversión, el desarrollo de proyectos de investigación por un monto de 24,487,170,121.45 de pesos. Las empresas beneficiadas están vinculadas a diferentes sectores industriales como: electrónica,

³⁵ Se puede revisar los detalles de cada proyecto en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/fomento-investigacion-inicio/10-contenido-estatico/95-proyectos-financiados-fondo-cibiogem>

³⁶ El título del proyecto que se financió es “Diseño y desarrollo de vectores sintéticos inducibles no convencionales para la producción de vacunas de ADN”, el responsable es Álvaro Raúl Lara Rodríguez, adscrito a la Universidad Autónoma Metropolitana.

automotriz, telecomunicaciones, agroindustrial, biotecnología, farmacéutica y salud, entre otras.

No obstante, a pesar de que la salud y la biotecnología son áreas estratégicas, solo el 10.67 % de la inversión total del PEI se otorgó a proyectos relacionados con el desarrollo de biotecnología, el 10.67 % a salud y farmacéutica, y solo el 0.05 % al desarrollo de vacunas.

Cuadro 5.3. PEI financiamiento de proyectos sobre biotecnología, salud y farmacéutica.

Proyectos por área industrial	Costo total	Monto de apoyo	Porcentaje
Todos	\$52,132,257,081.36	\$24,487,170,121.45	100
Biotecnología	\$3,201,727,669.84	\$1,655,580,738.00	6.76
Salud y farmacéutica	\$5,762,891,950.87	\$2,613,633,799.90	10.67
Vacunas humanas	\$38,795,408.00	\$11,534,090.00	0.05

Fuente: elaboración propia con base en datos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2019).

Desde 2009 hasta 2017 se financiaron cinco proyectos relacionados con el desarrollo de vacunas de uso humano, las empresas beneficiadas son: Birmex, Sanofi Pasteur y Bioextracto; es importante señalar que todas se dedican a la creación productos biotecnológicos. Además, con excepción de un proyecto relacionado al desarrollo de una vacuna contra la influenza, ninguna combate enfermedades de mayor morbilidad en México; antes bien, se trata de enfermedades que representan un mercado potencial importante no solo en México, sino en otras latitudes. Las enfermedades prioritarias para el país son aquellas plasmadas en el ENV³⁷ (Secretaría de Salud, 2015a) y las que figuran entre las principales causas de mortalidad y morbilidad³⁸ (Secretaría de Salud, 2017; INEGI, 2017).

Cuadro 5.4. Proyectos sobre vacunas financiados por el Programa de Estímulos a la Innovación

Año	Empresa	Costo total del proyecto	Monto de apoyo
2009	Birmex	\$3,900,000	\$1,620,000
2009	Sanofi Pasteur	\$1,969,296	\$433,245
2009	Sanofi Pasteur	\$2,720,376	\$598,483
2011	Birmex	\$2,242,000	\$493,240
2014	Bioextracto	\$9,922,000	\$2,976,600
2015	Bioextracto	\$10,568,512	\$3,170,554
2016	Bioextracto	\$4,155,212	\$1,246,564
2017	Bioextracto	\$3,318,012	\$995,404

³⁷ Tuberculosis, hepatitis a y b, difteria, tétanos, tosferina, rotavirus, neumococo, influenza, sarampión, rubéola, parotiditis, poliomiélitis y virus del papiloma humano.

³⁸ Enfermedades intestinales, infecciosas, parasitarias y víricas; infecciones de transmisión sexual, diversos tumores, enfermedades en la sangre, endocrinas, metabólicas, reumáticas e isquemias del corazón, hipertensivas, cerebrovasculares y respiratorias, enfermedades del oído y ojo, enfermedades intestinales, úlceras, gastritis y duodenitis, intoxicación por picadura de alacrán, varicela, entre otras.

Fuente: elaboración propia con base en datos del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (2019).

Cabe señalar que la pertinencia del PEI se ha cuestionado, dado que otorga millones de pesos en financiamiento no solo a pequeñas y medianas empresas, sino a grandes corporaciones transnacionales. Por ejemplo, Ribeiro (2019: 10–11) advierte que por medio de este programa se entregaron decenas de millones de pesos a las mayores transnacionales farmacéuticas del mundo, como Merck, Novartis, Sanofi, Bayer y Boheringer Ingelheim. Esto a pesar de que la industria la farmacéutica es la que tiene el mayor porcentaje de retorno de ganancias y es conocida por su falta de innovación, al lanzar supuestos nuevos productos que son copias modificadas de los anteriores para prolongar la vida de sus patentes e impedir el acceso a medicamentos a bajo costo. Este autor añade que, como resultado, las transnacionales toman las innovaciones financiadas con dinero público y las privatiza para su lucro, con patentes y en mercados oligopólicos, creando dependencia e inhibiendo la innovación; por todo ello, considera que es fundamental la eliminación ese programa y replantear las acciones e investigaciones que debieran financiarse.

Si bien Villavicencio (2019) señala que actualmente las reglas de operación del PEI distinguen el tamaño de las empresas, por lo tanto, entre más grande menor el porcentaje de financiamiento; cuestiona que estos apoyos sean subsidios directos a los proyectos de las empresas en lugar de créditos flexibles o exenciones fiscales, como sucede en otros países.

Con excepción del programa de estímulos fiscales que fue reactivado en 2017, tanto PEI como FIT subvencionan hasta 50% de los gastos de los proyectos de I+D a fondo perdido. Esto quiere decir que las empresas no están obligadas a devolver los recursos públicos otorgados en el caso de fracasar en la comercialización de los prototipos o productos mejorados, ni tampoco en el caso de que la innovación sea exitosa [...]lo que nos interesa destacar aquí es que una evaluación contextualizada del impacto de los más de 7000 proyectos apoyados a la fecha por el PEI es inexistente [...] Hoy por hoy, es imposible saber cuántos de los prototipos, mejoras a procesos o productos nuevos tuvieron viabilidad comercial con la consecuente rentabilidad para las empresas, mayor competitividad y derramas económicas para el país (Villavicencio, 2019: 79–80).

Además de lo anterior, este autor (Villavicencio, 2019) analizó 5,874 proyectos apoyados en este programa y únicamente identificó que 223 (menos del 5%) de estos fueron destinados a

la biotecnología en todas las áreas; por lo tanto, los proyectos compiten con los de otras áreas que son mayormente beneficiadas, como software con 877 proyectos aprobados, mecánica con 856 y electrónica con 337. De esta forma, llegó a la conclusión que la convocatoria del PEI no especifica sectores estratégicos que se deben apoyar, lo que impide realizar una distribución adecuada de los subsidios en función de las prioridades nacionales. De manera que, a pesar de que en los últimos años se han hecho ajustes a las reglas de operación de este programa, aún persisten deficiencias que impiden la creación de procesos de innovación endógenos.

5.1.6. Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología (EFIDT)

Este estímulo es un crédito fiscal a empresas que tengan por lo menos tres años de experiencia comprobables en inversiones en actividades de investigación y desarrollo de tecnología. Este beneficio consiste en acreditar el 30 % de sus gastos en este rubro contra el Impuesto Sobre la Renta (ISR) y lo pueden ejercer durante 10 años. Con ello se pretende incrementar la investigación científica y el desarrollo tecnológico vía el incremento de la inversión de la iniciativa privada (CONACYT, 2019i).

El CONACYT provee información sobre las empresas que fueron beneficiadas por este estímulo únicamente del 2017 a la fecha. En este periodo fueron elegidos, sujetos de apoyo, 93 proyectos de investigación por un monto de apoyo de 1,395,663,194.88 de pesos. Mediante la revisión de las bases de datos se pudo encontrar que 25 proyectos tienen que ver con el área de la salud humana; 8 tienen con distintas áreas biotecnológicas (2 están relacionados con la biotecnología roja); y finalmente, 2 están dedicados al desarrollo de vacunas, de las cuales una es para uso humano y la otra para uso veterinario. Los montos de cada proyecto no pueden definirse ya que algunas empresas tienen registrados varios proyectos y el monto de apoyo no está encuentra desglosado.

5.2. Personal altamente calificado e infraestructura para el desarrollo de vacunas biotecnológicas en México

5.2.1. Formación de personal altamente calificado, investigadores y cuerpos académicos

Diversas economías han incluido estrategias sobre CTeI en sus planes de desarrollo económico con la intención de hacer frente a los retos económicos y sociales que se imponen globalmente (OCDE, 2014). Por ello, este tema se coloca dentro de las prioridades de las agendas mundiales de desarrollo, tanto que los mismos organismos internacionales han hecho recomendaciones con la intención de que los países puedan acceder a los beneficios que traen consigo los avances científico-tecnológicos.

Dentro de la encomienda de incrementar la inversión en CyT, existe un aspecto que sobresale: la formación de personal altamente calificado. Al respecto, Fred y Cao (2009 introd., párr. 4, posición 226) definen a un talento como: “[aquellos] con habilidades y capacidades de alto calibre de importancia estratégica para la modernización del país y creación de riqueza nacional”. Por su parte, Solimano (2013) se refiere a estos individuos como aquellos con altos niveles de educación, cualificaciones especiales, conocimientos y habilidades, que son utilizados en el fomento a la CTeI a través de actividades empresariales, comerciales, académicas, culturales y sociales.

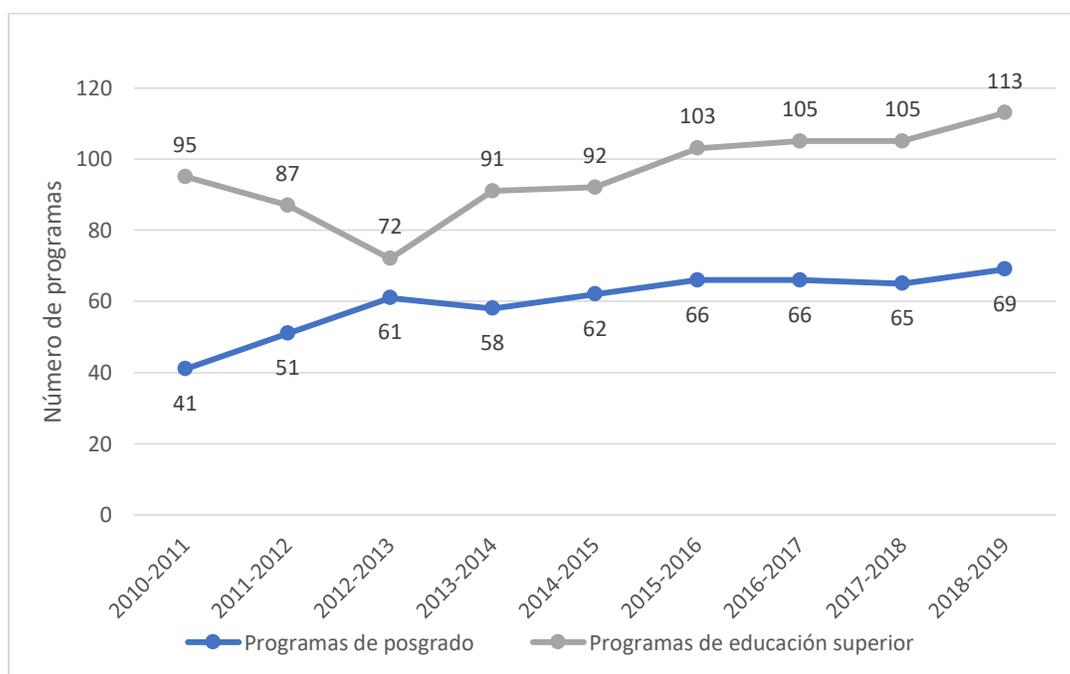
La importancia de impulsar la formación de personal altamente calificado se refiere a la capacidad de las naciones para utilizar todos los conocimientos y destrezas de estos individuos en la creación y fomento de la CTeI. Este impulso hacia áreas estratégicas crea beneficios económicos para los países, ello, combinado con políticas estatales que se distribuyan en la sociedad, permitiría colocar a estos individuos como un factor estratégico para impulsar el desarrollo económico y social.

En el caso particular de la biotecnología su progreso depende de la formación de personal altamente calificado en distintas áreas del conocimiento, como química, medicina, biología y bioquímica, entre otras; precisamente el carácter multidisciplinario de esta tecnología vuelve complicado contabilizar el cúmulo real de personal que se desenvuelve en el país. A pesar de ello, es bien sabido que la mayor parte de la investigación en México es realizada en las universidades y centros públicos, por lo tanto, la identificación de instituciones dedicadas al estudio de la biotecnología permite brindar una aproximación del

número de científicos y académicos que se desarrollan en el área. Para este análisis se revisaron: los programas académicos licenciatura y posgrado pertenecientes a la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior (ANUIES), los investigadores que forman parte del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) y los Cuerpos Académicos Consolidados del PRODEP.

Para identificar los programas académicos de biotecnología y el número de estudiantes matriculados en el país se recurrió a las estadísticas disponibles en la ANUIES. En la gráfica siguiente se muestra el número de programas de posgrado -incluye doctorado, maestría y especialidad- y de educación superior -incluye licenciaturas, ingenierías y formación de técnicos superior universitarios- desde 2010 hasta 2019³⁹ y se observa que en 9 años se crearon 18 programas de posgrado y 28 de educación superior.

Grafica 5.3. Programas académicos de biotecnología (2010-2019)



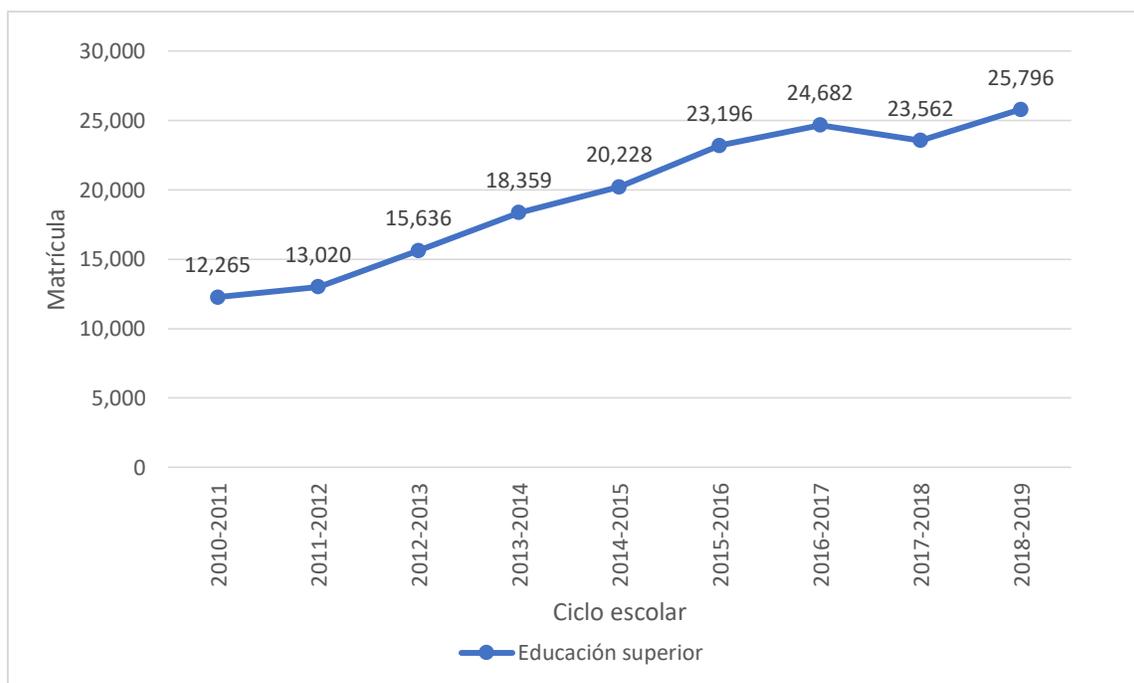
Fuente: elaboración propia con base en datos de ANUIES (2020).

Aunque el crecimiento del número de programas académicos no parece tan significativo, la matrícula de los programas de educación superior en biotecnología se duplicó en el mismo

³⁹ El periodo de tiempo está en función de los datos disponibles en la ANUIES.

periodo de tiempo, pasando de 12,265 alumnos matriculados a 25,796; la tasa media anual de crecimiento fue de 8.6.

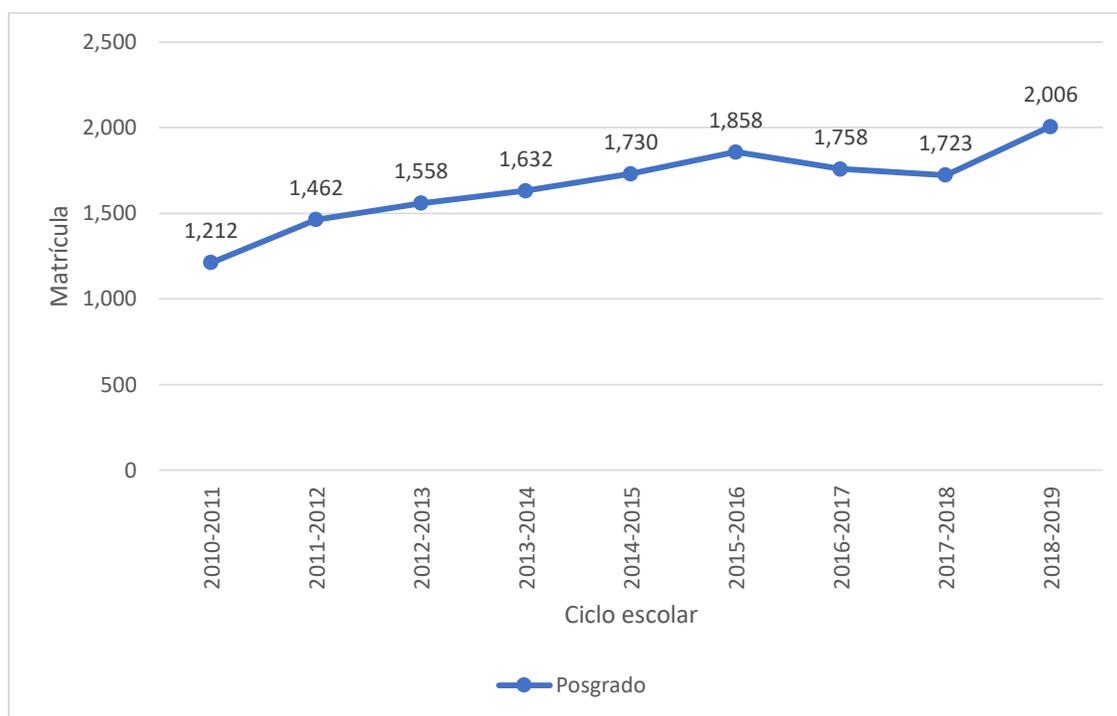
Gráfica 5.4. Matrícula de programas de educación superior en biotecnología (2010-2019)



Fuente: elaboración propia con base en datos de ANUIES (2020).

Por su parte, la matrícula de programas de posgrado también se incrementó de 1,212 alumnos en el ciclo escolar 2010-2011 a 2,006 en el ciclo escolar 2019-2020; la tasa media anual de crecimiento fue de 5.8.

Gráfica 5.5. Matricula de programas de posgrado en biotecnología (2010-2019)



Fuente: elaboración propia con base en datos de ANUIES (2020).

También se buscaron los programas dedicados a la formación de biotecnólogos en el área de la salud, ya que son aquellos que tienen el potencial de desarrollar vacunas biotecnológicas. Para ubicar estos programas se revisaron sitios web y los planes de estudio. Cabe señalar que únicamente se tomó en cuenta el ciclo escolar 2018-2019, ya que los programas de estudio y las líneas de investigación cambian, por lo que no se puede asegurar que un programa que estudia el área de salud lo hiciera desde su creación. En tal sentido se encontró que de los 69 programas de posgrado registrados en la ANUIES, solo 29⁴⁰ se ubican en el área de la salud teniendo 965 matriculados. Respecto de los programas de educación superior únicamente 74⁴¹ de los 113 registrados se ubican en esta área y en conjunto tienen 20,343 alumnos matriculados.

Por otro lado, se utilizaron los datos del Sistema Nacional de Investigadores (SNI) para identificar la batería de investigadores en el país dedicados al estudio de vacunas

⁴⁰ Ver listado de programas de posgrado relacionados con vacunas biotecnológicas en el [anexo2](#).

⁴¹ Ver listado de programas de educación superior relacionados con vacunas biotecnológicas en el [anexo 1](#).

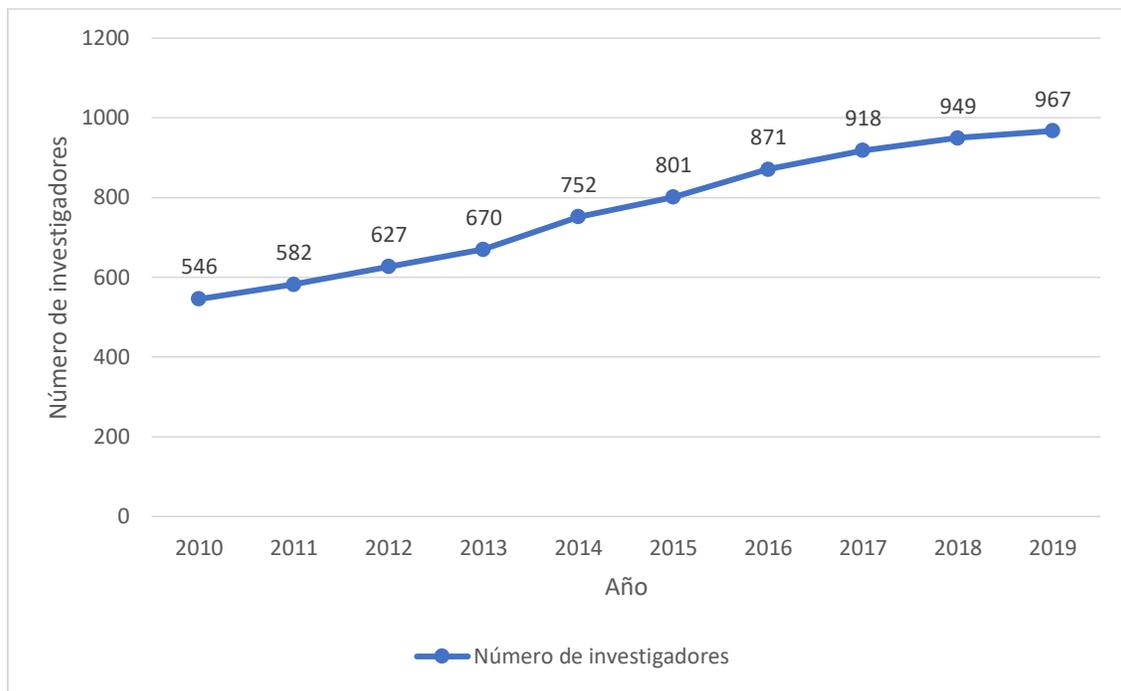
biotecnológicas. Según el CONACYT (2019j) este programa fue creado en 1984 para reconocer el trabajo de personas dedicadas a la producción de conocimiento científico y tecnológico. Para acceder al nombramiento de investigador nacional se realiza una evaluación entre pares y una vez acreditada se otorgan estímulos económicos cuyo monto varía dependiendo del nivel asignado.

El SNI tiene por objeto promover y fortalecer, a través de la evaluación, la calidad de la investigación científica y tecnológica, y la innovación que se produce en el país. El Sistema contribuye a la formación y consolidación de investigadores con conocimientos científicos y tecnológicos del más alto nivel como un elemento fundamental para incrementar la cultura, productividad, competitividad y el bienestar social (CONACYT, 2019j: 2).

Amaro y Morales (2016) señalan que la importancia del SNI reside en que parte importante de los investigadores realizan investigación de frontera, por tal motivo contribuyen en la generación de conocimiento social científico y tecnológico.

En este análisis se incluyeron datos desde 2010 hasta 2019 y se consideraron investigadores dedicados al estudio, evaluación y desarrollo de vacunas biotecnológicas. La búsqueda se llevó a cabo en tres etapas: en primer lugar se identificó a los investigadores inscritos en las siguientes áreas: ciencias de la salud, ciencias de la vida; medicina y patología humana, y ciencias de la tecnología. Posteriormente, se utilizó información de investigadores obtenida en otros estudios -fondos y programas de financiamiento, el análisis bibliométrico de la WoS e identificación de solicitudes de patente registradas ante la OMPI- y se cruzó con la información del SNI. Finalmente, se realizó un filtrado manual en el que se revisó el currículum vitae y las publicaciones de todos los investigadores. Tal como se observa en la gráfica 5.6, en este tiempo se incrementó el número de investigadores que están relacionados con vacunas biotecnológicas, aunque es un número reducido considerando el total de investigadores. Asimismo, conviene señalar que la mayor parte de los biotecnólogos registrados en el SNI trabajan temas relacionados con la biotecnología agrícola y alimentaria.

Gráfica 5.6. Investigadores del SNI relacionados con vacunas biotecnológicas



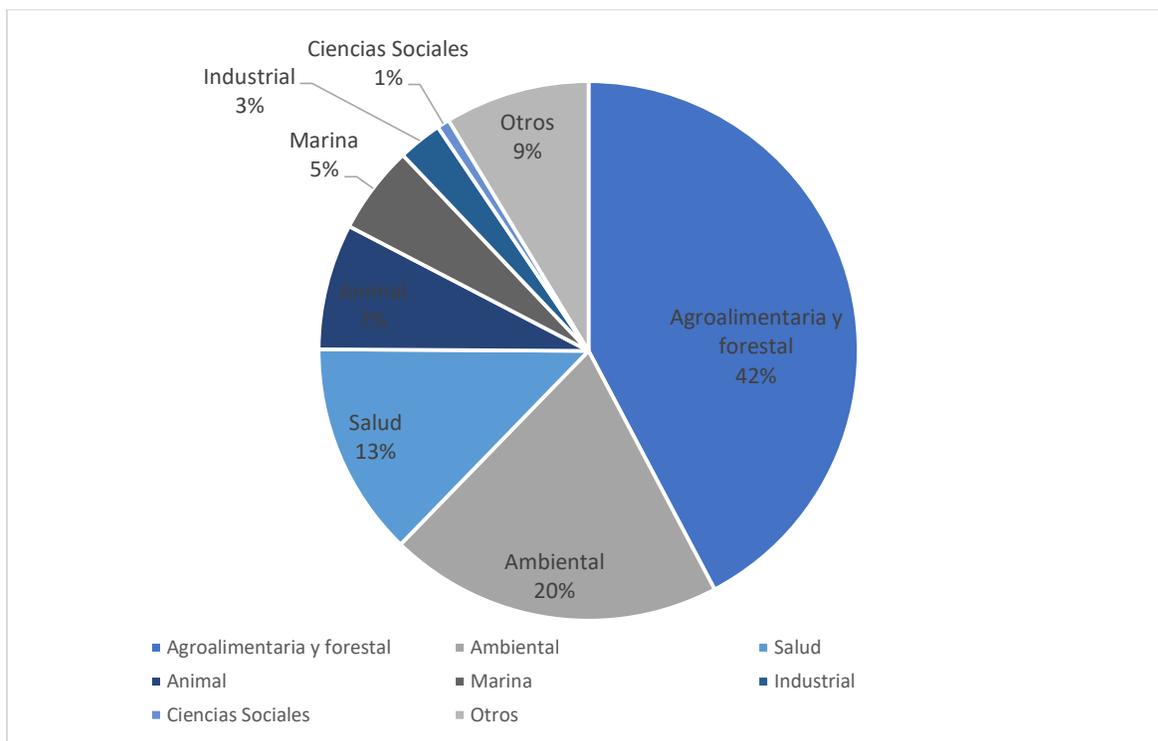
Fuente: elaboración propia con base en datos del CONACYT (2019j).

Además, se buscaron los Cuerpos Académicos (CA) registrados hasta abril del 2020 en el Programa para el Desarrollo Profesional Docente (PRODEP) relacionados con la biotecnología y, en específico, con la creación de vacunas o sus componentes. Para ello, se utilizó la base de datos de CA seleccionando el criterio de búsqueda por palabras clave, incluyendo todos los subsistemas y las áreas del conocimiento. Se hicieron dos búsquedas: una con la palabra clave “biotec” y la otra con “vacuna”. Posteriormente, se cruzó la información de ambas bases de datos, y se revisaron las descripciones de cada uno de los cuerpos académicos para identificar las áreas de investigación que trabajan. Finalmente, se buscó el currículum y las publicaciones de los investigadores que integran cada CA para detectar aquellos que están relacionados con la investigación, desarrollo de vacunas biotecnológicas.

Se identificaron un total de 348 cuerpos académicos que se dedican a distintos campos de injerencia de la biotecnología como el agroalimentario, ambiental, animal, acuícola, industrial, entre otros (ver grafica 5.7), de los cuales el 42 % se ubican en el área

agroalimentaria y forestal, el 20 % en la ambiental y el 13 % en aquella relacionada a la salud humana.

Gráfica 5.7. Cuerpos académicos PRODEP dedicados a la investigación en biotecnología, por área.



Fuente: elaboración propia con base en datos del PRODEP (2020).

Una vez ubicados los cuerpos académicos relacionados con la biotecnología, se revisaron las líneas de generación del conocimiento, los currículos y producción académica de cada uno de sus integrantes para contabilizar aquellos que trabajan en el desarrollo, creación o evaluación de vacunas humanas; de esta forma se encontraron 24 cuerpos académicos consolidados, en los cuales por lo menos uno de sus miembros se dedica a esta área.

Finalmente, los datos obtenidos dan cuenta de que México ha impulsado la formación de personal altamente calificado en el área de la biotecnología, aunque la mayoría realiza investigaciones sobre el sector agrícola y alimentario, aquellos dedicados a la salud y, en específico, a la creación de vacunas o sus componentes van en aumento. Sin embargo, debido a la ausencia de industrias biofarmacéuticas innovadoras en el país, la integración de estos

científicos e investigadores al mercado laboral es limitada; la mayoría recurre a la academia, donde la situación no es muy diferente debido a los pocos puestos que se generan, o bien, deciden migrar a países que cuentan con trayectoria mucho más amplia en el área.

5.2.2. Centros públicos de investigación y redes de colaboración

Además de la formación de recursos humanos altamente calificados que generen conocimiento, la construcción de un sistema científico-tecnológico sólido requiere de infraestructura como son los centros de investigación y laboratorios. Por tal motivo, en este trabajo de investigación se realizó una revisión de los Centros Públicos de Investigación, Laboratorios Nacionales y Redes de Colaboración que CONACYT ha impulsado mediante políticas públicas concretas; específicamente esta sección tiene por objetivo encontrar la infraestructura que sirve al desarrollo de vacunas biotecnológicas.

La estructura de los Centros Públicos de Investigación en el país se compone de dos tipos de centros: aquellos que dependen de alguna secretaría de Estado y los que pertenecen a CONACYT. Los primeros suman once en total, de los cuales tres tienen relación con la biotecnología agrícola, alimentaria y medioambiental –el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA) y el Colegio de Posgraduados (COLPOS)– y dos más pertenecen al área de la salud –el Instituto Nacional de Salud Pública (INSP) y el Instituto Nacional de Nutrición Salvador Zubirán (INCMNSZ)–, que se destacan por sus importantes investigaciones relacionadas con la biotecnología aplicada (Amaro y Morales, 2016: 24).

Respecto del sistema de Centros Públicos de Investigación CONACYT está conformado por 27 instituciones, las cuales tienen el objetivo de realizar actividades de investigación, formar recursos humanos, transferir conocimientos con el fin de promover la modernización y mejora de sectores productivos, públicos y sociales; finalmente, socializar los resultados obtenidos en las investigaciones (CONACYT, 2020b).

La revisión de los sitios web y el perfil de los colaboradores de cada centro permitieron identificar que en 16 de estos se realiza investigación en alguno de los campos de injerencia de la biotecnología. Mientras que aquellos involucrados en el desarrollo de vacunas o cualquiera de sus componentes son 7: el Centro de Investigación en Materiales

Avanzados S.C., el Centro de Investigación en Química Aplicada, el Centro de Investigación en Matemáticas A.C., el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., el Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, A.C., el Centro de Investigación Científica de Yucatán y el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.

Cuadro 5.5. Centros públicos de investigación CONACYT relacionados con biotecnología		
Área del conocimiento	Centros públicos de investigación CONACYT relacionados con biotecnología	Campo de injerencia de la biotecnología
Materiales Manufactura Avanzada y Procesos Industriales	Centro de Innovación Aplicada en Tecnologías Competitivas	Ambiental
	CIATEQ, A.C. Centro de Tecnología Avanzada	Industrial
	Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial	Salud
	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica, S.C.	Ambiental
	Centro de Investigación en Materiales Avanzados, S.C.	Ambiental y salud
	Centro de Investigación en Química Aplicada	Vegetal
	Corporación Mexicana de Investigación en Materiales, S.A. de C.V.	Agrícola
Física Y Matemáticas Aplicadas y Ciencia De Datos	Centro de Investigación en Matemáticas, A.C.	Salud
Medio Ambiente, Salud y Alimentación	Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.	Alimentaria, agrícola y salud
	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.	Vegetal, alimentaria, salud y ambiental
	Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S. C.	Agrícola, ambiental, marina y salud
	Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C.	Acuícola y ambiental
	Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C.	Agrícola, salud y ambiental
	Colegio de la Frontera Sur	Ambiental, agrícola, pecuaria, industrial y salud
	Instituto de Ecología, A.C.	Ambiental
Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C.	Agrícola, ambiental y salud	

Fuente: elaboración propia.

Por otro lado, los laboratorios nacionales CONACYT son unidades de investigación que tienen tres funciones principales: realizar actividades de investigación, formación de recursos humanos y la prestación de servicios que les permita alcanzar su sostenibilidad financiera (CONACYT, 2020c). Actualmente hay 37 laboratorios nacionales que tienen relación con la

biotecnología, de estas únicamente 7 están vinculadas con la investigación y desarrollo de vacunas biotecnológicas (ver cuadro 5.7).

Cuadro 5.7. Laboratorios nacionales CONACYT relacionados con biotecnología	
Áreas del conocimiento	Laboratorios nacionales CONACYT
Estudio de la tierra y sus elementos	Laboratorio Nacional de Buques Oceanográficos
	Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía
Investigación en Alternativas e Inocuidad Alimentaria	Laboratorio Nacional de Investigación y Servicio del Sector Agro-Alimentario y Forestal
	Laboratorio Nacional de nutrigenómica y microbiómica digestiva animal
	Laboratorio Nacional de Referencia Molecular y Microbiológico para el Control Sanitario
	Laboratorio Nacional para la investigación en inocuidad alimentaria
Medio ambiente y sustentabilidad	Laboratorio Nacional PLANTECC
	Laboratorio Nacional de análisis y síntesis ecológica para la conservación de los recursos genéticos
	Laboratorio Nacional de Biodiversidad
	Laboratorio Nacional de Ciencia, Tecnología y Gestión Integrada del Agua
	Laboratorio Nacional de Desarrollo y Aseguramiento de Calidad de Biocombustibles
	Laboratorio Nacional de Identificación y Caracterización Vegetal
	Laboratorio Nacional de Innovación Ecotecnológica para la Sustentabilidad
	Laboratorio Nacional de Micro y Nanofluídica
Investigación en Salud, Genómica y Biotecnología	Laboratorio Nacional de nutrigenómica y microbiómica digestiva animal
	Laboratorio Nacional de resiliencia costera
	Laboratorio Nacional Biobanco
	Laboratorio Nacional de Apoyo Tecnológico a las Ciencias Genómicas
	Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental
	Laboratorio Nacional de Canalopatías
	Laboratorio Nacional de Citometría de Flujo
	Laboratorio Nacional de Estructura de Macromoléculas
	Laboratorio Nacional de Investigación y Desarrollo de Radiofármacos
	Laboratorio Nacional de Máxima Seguridad Biológica para el estudio de la Tuberculosis y de Enfermedades emergentes
	Laboratorio Nacional de Medicina Personalizada
	Laboratorio Nacional de Microscopía Avanzada
	Laboratorio Nacional de Óptica de la Visión
	Laboratorio Nacional de Recursos Genómicos
	Laboratorio Nacional de Servicios Especializados de Investigación, Desarrollo e Innovación (I + D + i) para Farmoquímicos y Biotecnológicos
	Laboratorio Nacional de soluciones biomiméticas para diagnóstico y terapia
Laboratorio Nacional en Salud: Diagnóstico Molecular y Efecto Ambiental en Enfermedades Crónico-Degenerativas	
Laboratorio Nacional para la Producción y Análisis de Moléculas y Medicamentos Biotecnológicos	
Materiales avanzados	Laboratorio Nacional de Materiales Gráficos
	Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales
Investigación en Nanotecnología	Laboratorio Nacional de Nanotecnología
	Laboratorio Nacional de Investigaciones en Nanociencias
	Laboratorio Nacional de Servicios Experimentales

Fuente: elaboración propia.

Por su parte, el Programa de Redes Temáticas CONACYT tiene el objetivo de: “Promover la colaboración interdisciplinaria para atender problemas de magnitud nacional desde una perspectiva multidimensional de manera articulada entre actores nacionales e internacionales de la academia, gobierno, empresas y sociedad civil”(CONACYT, 2020d: 1). Las redes se conforman de forma voluntaria por investigadores, empresas, estudiantes o personas interesadas en colaborar y con alguna experiencia en las temáticas establecidas como prioritarias para el país, establecidas en el PECiTI 2014-2018.

Con la revisión de los sitios web, el perfil de los investigadores que las conforman y la producción académica de cada red temática conformada, se identificaron 23 redes que tienen relación con algún campo de la biotecnología, de estas únicamente 3, la Red Temática de Farmoquímicos, la Red Temática de Glicociencia en Salud y la Red Mexicana de Virología, dedican parte de su trabajo de investigación al área de vacunas humanas.

Cuadro 5.6. Redes temáticas de investigación CONACYT relacionados con la biotecnología	
Áreas del conocimiento	Red temática
Ciencia y Tecnología de Materiales	Red Temática de Bionanotecnología con impacto en biomedicina, alimentación y bioseguridad
	Red temática de la materia condensada blanda
	Red temática de química supramolecular
Salud	Red Temática Colegio Mexicano para la investigación del cáncer
	Red Temática de Farmoquímicos
	Red Temática Glicociencia en salud
	Red Temática de Proteínas, Priones y Enfermedades Neurodegenerativas
	Red Temática en Salud ambiental infantil
	Red Temática de Estructura, función y evolución de proteínas
	Red temática de biofotónica
	Red Mexicana de Virología
Salud, Ambiente y Sociedad	Red Temática de Toxicología de plaguicidas
Ambiente y Desarrollo Sustentable	Red Temática Programa Mexicano del Carbono
	Red Temática Código de barras de la vida
	Red Temática sobre Florecimientos Algaes Nocivos
	Red Temática para el Conocimiento de los Recursos Costeros del Sureste
Sociedad y Territorio	Red Temática Áreas naturales protegidas
	Red Temática Mexicana aprovechamiento integral sustentable y biotecnología de los agaves
	Red Temática Productos forestales no maderables
	Red Investigación e innovación tecnológica para la ganadería bovina tropical
	Red Temática Gestión de la Calidad y Disponibilidad del Agua
	Red Temática Mexicana de Recursos Fitogenéticos

Fuente: elaboración propia.

En México se ha apostado la generación de infraestructura científica-tecnológica; ejemplo de ello son los programas revisados en este apartado, aunque es importante aclarar que fue

imposible determinar la cantidad, calidad y vigencia de su equipamiento, lo cual también es central para la generación de conocimiento de frontera. En el caso puntual de la infraestructura dedicada a la generación de vacunas biotecnológicas, aún es insuficiente, dado que únicamente el 43.7% de los Centros de Investigación, el 18.9% de los Laboratorios Nacionales y 13% de las Redes temáticas realizan estudios sobre vacunas biotecnológicas, aunque ninguno se dedica exclusivamente a ello. Finalmente, un aspecto que es importante destacar es que los programas antes descritos han incentivado la investigación colaborativa entre instituciones e investigadores, tanto del interior como del exterior del país, lo cual es beneficioso para la creación de entornos científico-tecnológicos virtuosos.

5.2.3. Producción académica

La investigación permite avanzar en el conocimiento de un tema en particular y debiera tener el objetivo de incrementar el entendimiento del funcionamiento de la naturaleza y la sociedad. Los conocimientos obtenidos mediante el ejercicio de investigación son plasmados en diferentes productos académicos que sirven para socializar el conocimiento. Además, la actividad académica es considerada una forma de medir la productividad de los investigadores y caracterizar las dinámicas de colaboración entre pares de distintas partes del país y del mundo.

Para mostrar las dinámicas de investigación relacionadas con vacunas biotecnológicas en el país fue ineludible realizar un análisis bibliométrico que permitiera observar el panorama sobre la producción científica en México, para ello se utilizó la base de datos de la WoS. Para realizar la búsqueda se utilizó la colección principal de la plataforma, la cual incluye las siguientes bases de datos: Science Citation Index Expanded (SCI-EXPANDED), Social Sciences Citation Index (SSCI), Arts & Humanities Citation Index (A&HCI) y Emerging Sources Citation Index (ESCI). El periodo de tiempo analizado fue de 1980 a 2020⁴² y se consideraron todos los tipos de publicación (artículos, artículos de revisión, capítulos de libros, documentos de procedimientos, materiales editoriales, notas, cartas, entre otros).

⁴² La consulta abarca hasta el 1 de abril de 2020.

Para que el análisis cuantitativo fuera lo más representativo posible, se usaron palabras clave representativas del tema (ver cuadro 5.8), estas fueron identificadas y elegidas mediante la revisión bibliográfica especializada en el tema.

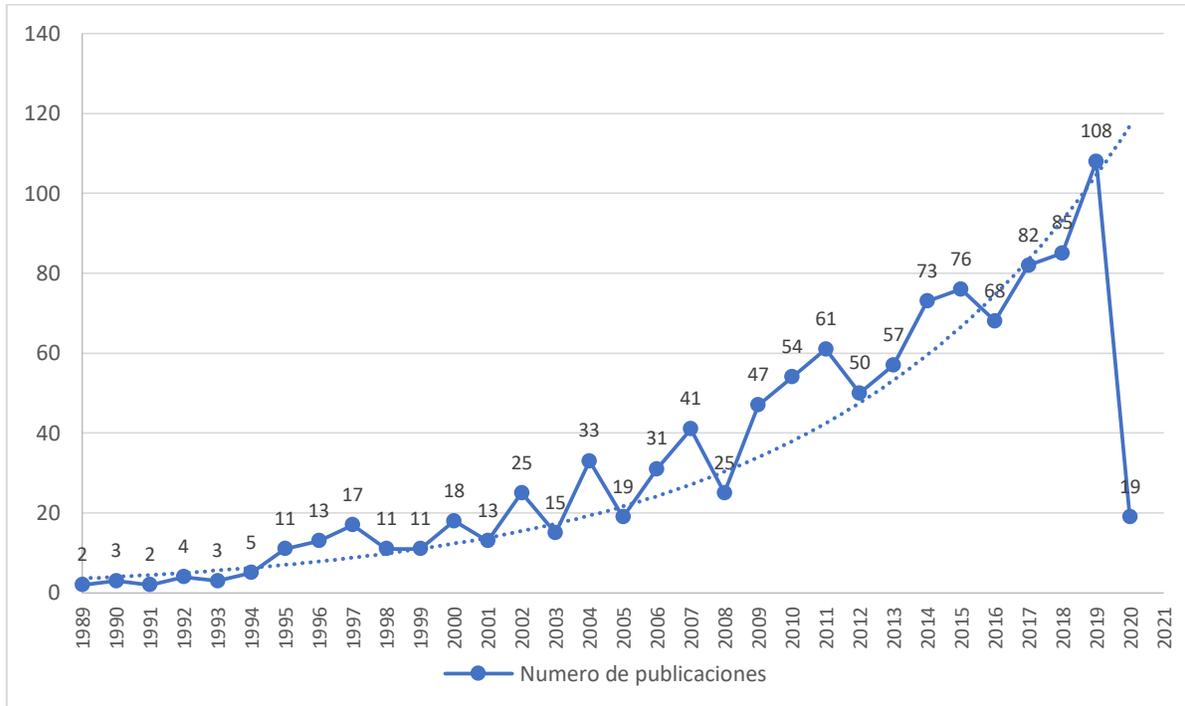
Cuadro 5.8. Palabras usadas para la búsqueda

Biotech	Bio*	Bionano*
Vaccin*	Engineering	Biochemistry
Inmuniza*	Vaccinomic	Virus
Inoculate	Antibody	Viral
Inmuno*	Antigen	Pathogen
Immunogen	Gen	DNA
Recombinant	Peptide	Toxoid
Synthetic	Conjugated	Vector
Comestible	Subunit	Marker
Protein	Genetic	Metabolomic
Antiidiotype	Nucleic	Acids
Reorganized	Reassorted	Molecular
Proteomic	Genomic	Therapie
Adjuvant		

Fuente: elaboración propia.

La consulta arrojó 2,835 resultados que se filtraron manualmente, es decir, cada publicación se revisó para ubicar y descartar aquellas ajenas al tema y las relacionadas con vacunas veterinarias; se obtuvieron 1,082 publicaciones sobre vacunas biotecnológicas para humanos. El número de registros encontrados por año se pueden observar en la gráfica 5.8. Cabe señalar que a pesar de que la búsqueda se realizó desde 1980, la primera publicación encontrada data de 1989.

Gráfica 5.8. Producción científica en la WoS relacionada a vacunas biotecnológicas en México

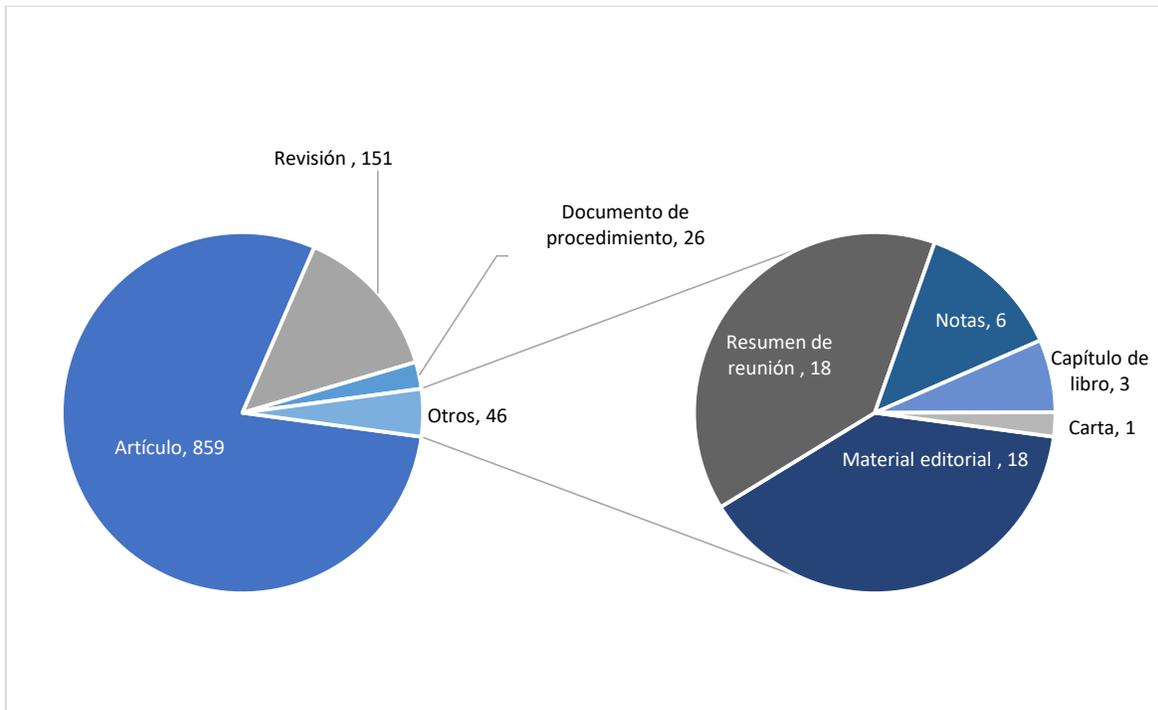


Fuente: elaboración propia con base en registros de la WoS.

*La consulta solo abarca hasta el 1 abril de 2020.

El tipo de publicación que mayormente se publicó fue el artículo con 859 resultados obtenidos; en segundo lugar, se ubican los artículos de revisión con 151 registros encontrados, en tercer lugar, los documentos de procedimiento con 26 registros; en la gráfica 5.9 se muestran el resto de los registros.

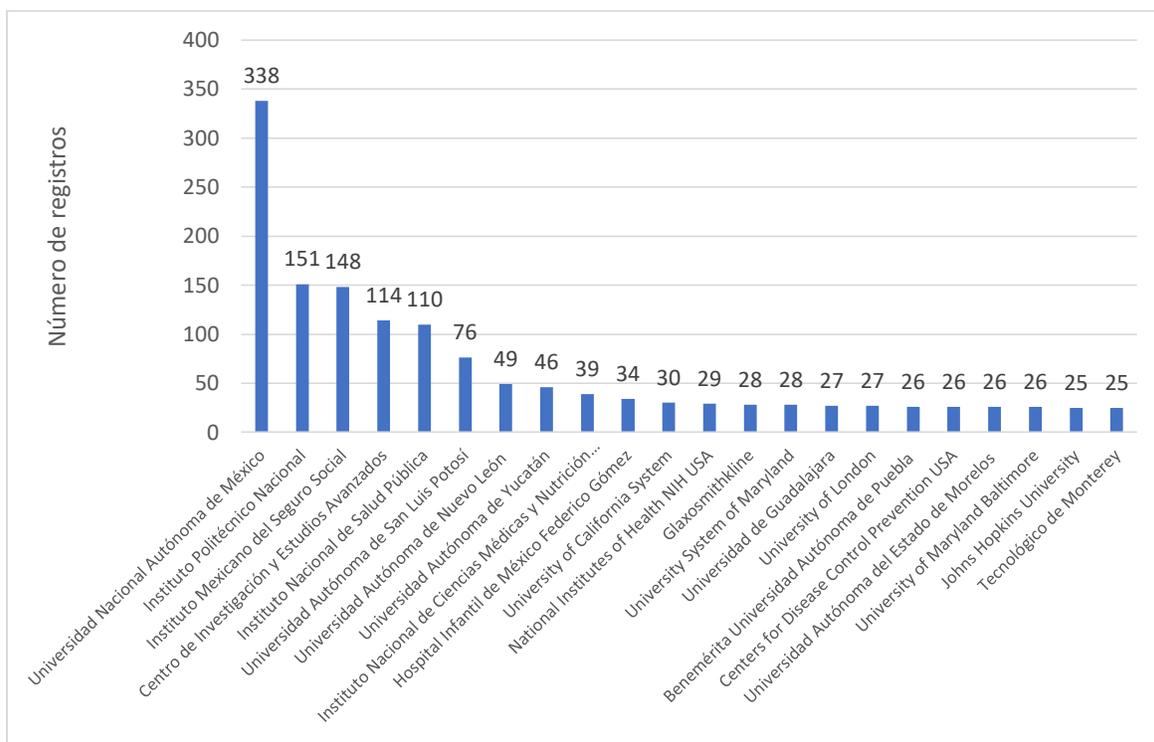
Gráfica 5.9. Tipo de publicación



Fuente: elaboración propia con base en registros de la WoS.

En relación con las organizaciones o instituciones de afiliación de autores que trabajan el tema de vacunas biotecnológicas se puede destacar a la Universidad Autónoma de México (UNAM), el Instituto Politécnico Nacional (IPN), el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), el Centro de Estudios Avanzados del IPN y el Instituto Nacional de Salud Pública por ser aquellas con el mayor número registros sobre vacunas biotecnológicas. En menor medida aparecen empresas como Glaxosmithkline, Merck, Pfizer y Sanofi; así como universidades de menor tamaño y extranjeras (ver gráfica 5.10).

Gráfica 5.10. Instituciones destacadas en publicaciones de vacunas biotecnológicas

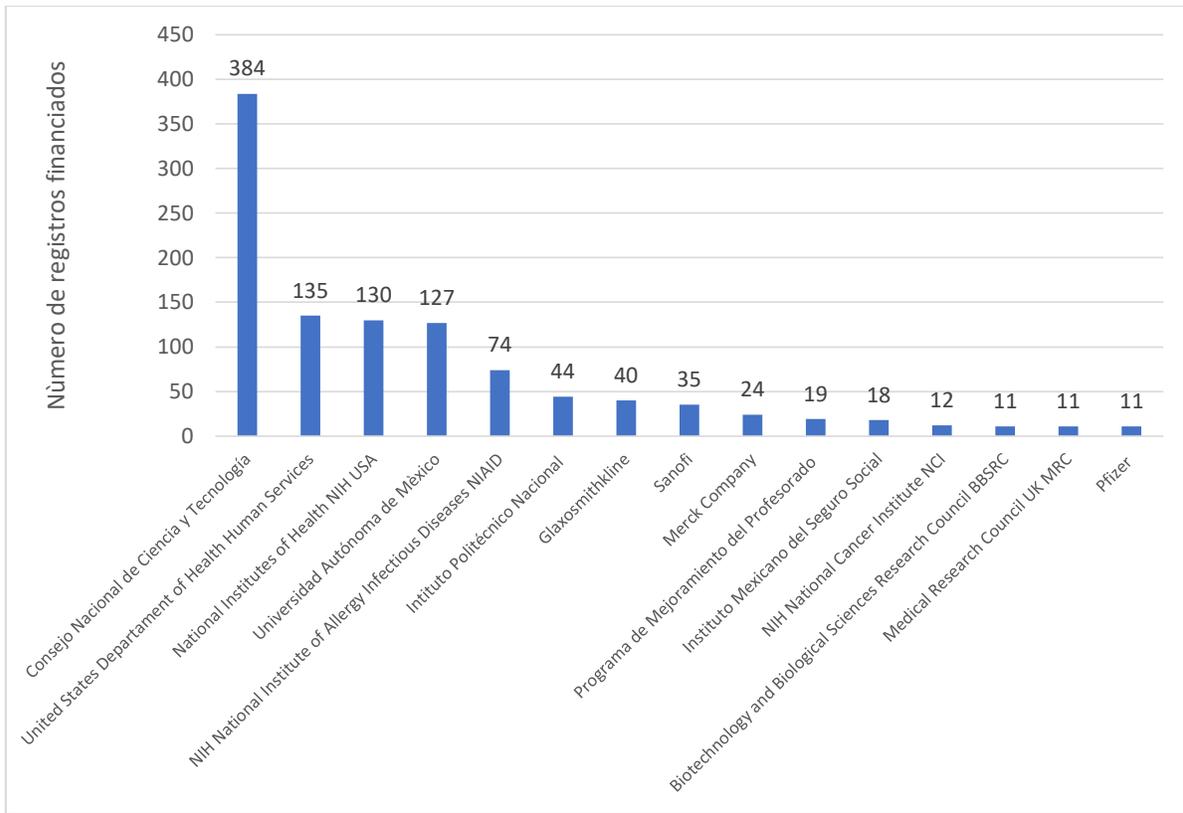


Fuente: elaboración propia con base en registros de la WoS.

También se obtuvo información sobre el origen de las instituciones de afiliación, es decir, con aquellos lugares con los que se presentan dinámicas de colaboración. Los países que destacan la creación de sinergias con más registros⁴³ son EE.UU., Brasil, Reino Unido, España, Francia y Alemania (en el mapa 5.1.). Cabe destacar que la mayor parte de las colaboraciones se suscitan en instituciones del interior del país (UNAM, IPN, IMSS, CINVESTAV e INSP).

⁴³ La lista completa se puede ver en el anexo 1.

Gráfica 5.11. Principales entidades financiadoras



Fuente: elaboración propia con base en registros de la WoS.

El análisis bibliométrico permitió medir la producción científica, mapear las instituciones en las que están inscritos los investigadores y las entidades que financian proyectos relacionados con vacunas biotecnológicas. A partir de los datos obtenidos se pueden hacer algunas puntualizaciones generales que se aplican al tema de interés de esta investigación: las universidades más grandes e importantes del país son las que cuentan con más fondos y recursos humanos para realizar investigaciones con características para ser aceptadas en revistas prestigiosas; las publicaciones se han incrementado como resultado de la integración del trabajo científico a la esfera económica, dado que la productividad de los investigadores es medida a partir de la cantidad de productos académicos que obtienen -cual también define los estímulos que reciben- que no necesariamente tienen que estar ligados a las áreas estratégicas o necesidades sociales del país; finalmente, la mayor de parte de la investigación proviene de la esfera pública, esto se debe que la ciencia básica no es prioritaria para las

empresas, contrario a ello, le apuestan a ciencia aplicada ya que de ella se obtienen productos que se puedan colocar en el mercado.

5.3. Panorama de patentamiento de vacunas de uso humano en México 2000-2018: metodología y resultados

El patentamiento es uno de los indicadores más usados para medir el nivel de innovación de un país o de un campo tecnológico particular. Aunque las patentes no abarcan el cúmulo de conocimiento tecnológico desarrollado en un sector, son un indicador proxy que sirve para identificar capacidades tecnológicas y observar la tendencia que ha seguido la investigación (Jaffe, 1986).

Por ello, para conocer el panorama sobre la producción de conocimiento y brindar una aproximación sobre las capacidades tecnológicas relacionadas con vacunas biotecnológicas en México, fue necesario indagar cuánto y quiénes patentan. En este análisis se utilizó la base de datos de Patentscope de la OMPI, en la cual se identificaron las solicitudes de patente registradas en México desde el 1 de enero de 2000 al 31 diciembre de 2018. Posteriormente, se realizaron dos búsquedas avanzadas utilizando palabras clave que se identificaron con la revisión de literatura sobre vacunas biotecnológicas de uso humano (ver el siguiente cuadro).

Búsquedas	Tipo	Periodo	Oficina	Palabras clave
Búsqueda 1	Avanzada	2000-2018	México	(vacuna OR vaccine)
Búsqueda 2	Avanzada	2000-2018	México	(vacuna OR vaccine) AND (“recombinante” OR “génética” OR “péptido” OR “antiidiotipo” OR “ADN”)

Fuente: elaboración propia.

Una vez realizadas las búsquedas, se obtuvieron dos bases de datos que incluían 2,512 solicitudes de patente. Para el análisis y tratamiento de la información se utilizó el programa estadístico STATA, con el cual se ubicaron las solicitudes repetidas; y finalmente, se realizó

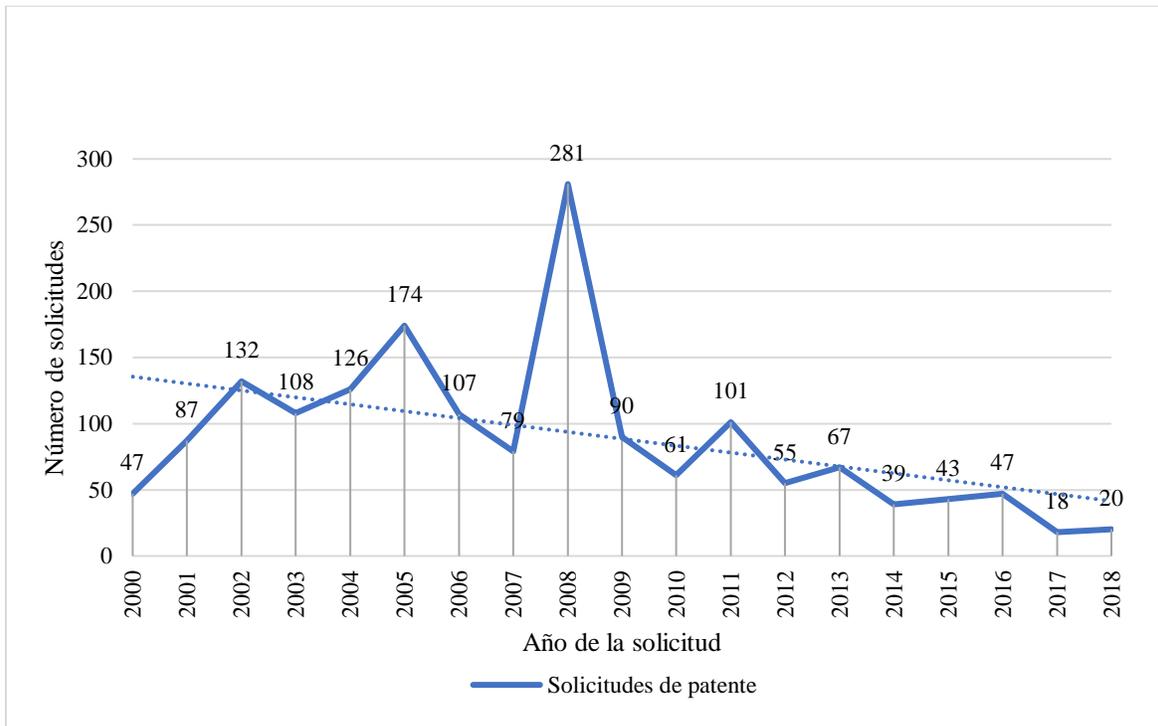
un filtrado manual⁴⁴ para eliminar las vacunas de uso exclusivo veterinario y los registros no relacionados con el tema.

Se identificaron 1,682 solicitudes de patentes sobre vacunas registradas ante OMPI para México. El 2008 fue un año representativo, ya que observó un incremento en las solicitudes, aunque la tendencia general desde 2000 muestra un declive en las solicitudes presentadas (ver la gráfica 3). Algunos acontecimientos que pudieran explicar el incremento de solicitudes en ese año fueron las modificaciones realizadas a la legislación mexicana encargada de regular los productos farmacéuticos usados en el país. Uno de los cambios fue la Reforma al Artículo 138 del Reglamento de Insumos para la Salud, en el cual se eliminó el llamado “requisito de planta” para la fabricación y registro de medicamentos exigido para otorgar registros sanitarios, con el propósito de quitar obstáculos a la importación de medicamentos e incrementar el acceso a nuevas moléculas para investigación y desarrollo. Para el caso de las vacunas este decreto fue efectivo después de 6 meses de su publicación. El gobierno mexicano señaló que entre los beneficios se encontrarían una reducción en los costos de los productos y el acceso a una mayor cantidad de ellos.

Otro de los cambios fue la publicación del Reglamento Interior del Comité de Moléculas Nuevas en el que se establece el Acuerdo para la Promoción de la Innovación, en el cual se refrenda la prohibición de emitir registros sanitarios a medicamentos genéricos antes del vencimiento de la patente de la sustancia activa, además se establece la necesidad de incrementar el acceso a más medicamentos para atender la mayor cantidad posible de padecimientos (Misión de México, 2008, Gallaga *et al.*, 2016). La finalidad principal de estos cambios fue establecer leyes que beneficiaran a las grandes corporaciones transnacionales, en detrimento de las empresas locales, protegiéndolas a fin de pudieran controlar el mercado nacional sin establecer plantas o centros de I+D en el país.

⁴⁴ La búsqueda avanzada por palabras clave incluyó todos los registros disponibles en la base de datos de Patentscope. La Clasificación Internacional de Patentes que concentra todas las solicitudes en ocho secciones: i) necesidades humanas, ii) realización de operaciones y transporte, iii) química y metalurgia, iv) textiles y papel, v) construcciones, vi) ingeniería mecánica, iluminación, calefacción, armas y “blasting” vii) física y; viii) electricidad; únicamente sirvió como referencia para facilitar el filtrado manual. De esta forma se identificó que las vacunas pueden incluirse en la primera y tercera sección, y los códigos que se usan para ello son: A61K 39/00, que se refiere a preparaciones medicinales que contienen antígenos y anticuerpos y C12N, sobre microorganismos o enzimas o composiciones de esta. Cabe mencionar que los registros que no se incluían dentro de esta clasificación no se descartaron, sino que se revisaron para identificar si eran vacunas o no.

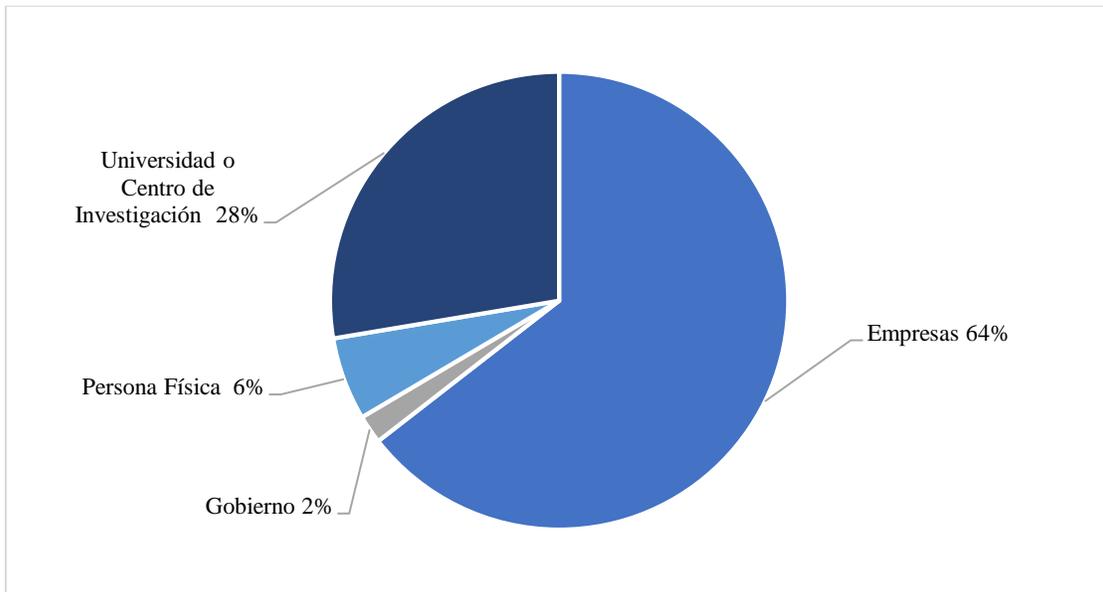
Grafica 5.12. Solicitudes de patente de vacunas de uso humano en México



Fuente: elaboración propia con base en datos de Patentscope, OMPI.

Las solicitudes fueron hechas por 597 demandantes, mayormente empresas, pero también universidades, centros de investigación y personas físicas. Cabe resaltar que el 64% de las solicitudes pertenecen a grandes empresas farmacéuticas y biotecnológicas provenientes de distintos países como: EE.UU., Reino Unido, Alemania, Francia, Suiza, Canadá, Japón, entre otras; las cuales controlan el mercado nacional de vacunas al ser propietarias de las patentes registradas en el país. En este sentido vale la pena señalar que estos países son considerados líderes globales en innovación (OMPI, Cornell University y INSEAD, 2018). Además, estos datos tienen relación con la concentración de la industria farmacéutica mundial en unos cuantos países industrializados: el 42,3% se ubica en EE. UU., el 29,2% en Europa; 12,4 % en China, India y Australia; 10,8% en Japón y 5,3% en América Latina (Dartayete, 2017).

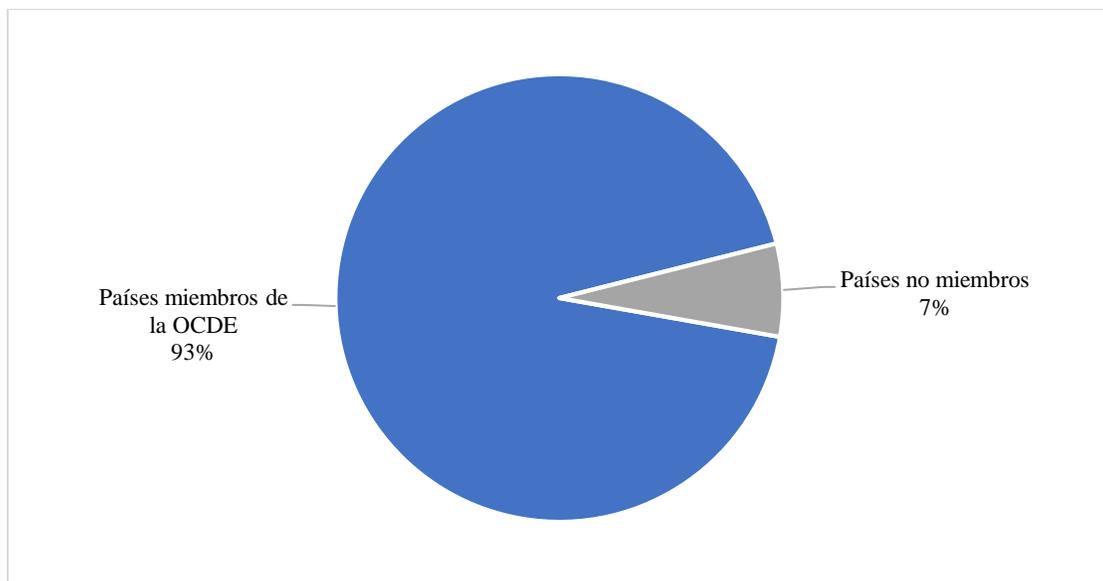
Gráfica 5.13. ¿Quiénes patentan vacunas de uso humano en México?



Fuente: elaboración propia con base en datos de Patentscope, de la OMPI.

Aunado a ello, las solicitudes provienen de 37 países, de los cuales 27 son miembros de Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico. El 44 % de los solicitantes (260 de los 597) se concentran en EEUU, los cuales pueden ser empresas, centros de investigación, universidades o personas físicas.

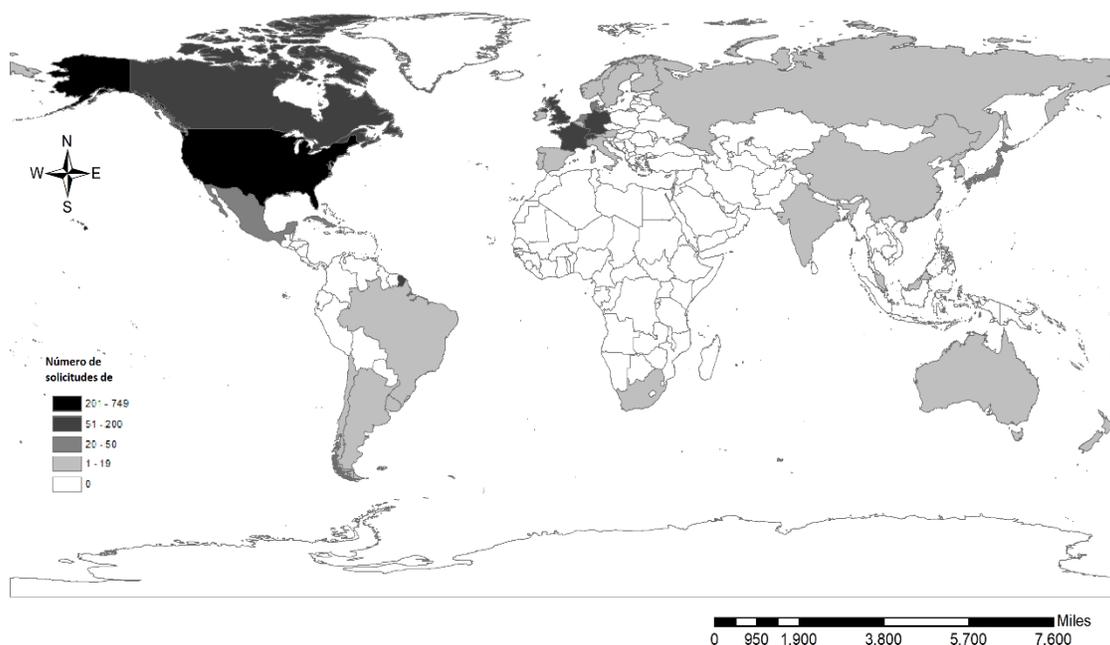
Gráfica 5.14. Países de origen de las solicitudes



Fuente: elaboración propia con base en datos Patentscope, de la OMPI.

Además de que la mayoría de los solicitantes proviene de EEUU., también este país concentra 749 de 1,682 solicitudes de patente para México, convirtiéndose en que tiene mayor número de patentes, seguido de Reino Unido con 195, Alemania con 111, Francia 102 y Suiza 100 (ver mapa 1).

Mapa 5.2. Países con solicitudes de patente en México 2000-2018



Fuente: elaboración propia con base a datos de Patentscope, de la OMPI.

La OMPI tiene registro de 45 solicitudes de patente de origen mexicano, que corresponden al 2.6% del total de las solicitudes, 17 corresponden a personas físicas, 5 de empresas mexicanas, y el resto de universidades y centros de investigación como: la Universidad Autónoma de México, el Instituto Mexicano del Seguro Social, el Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica, el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, el Instituto Politécnico Nacional y la Universidad Autónoma Metropolitana, entre otros.

La baja participación de universidades, centros públicos investigación, investigadores y empresas mexicanas en el patentamiento de vacunas biotecnológicas está relacionada con los objetivos que persigue la plataforma científico-tecnológica. Como ya se mencionó, las políticas orientadas al mercado que se han venido implementando causaron un paulatino

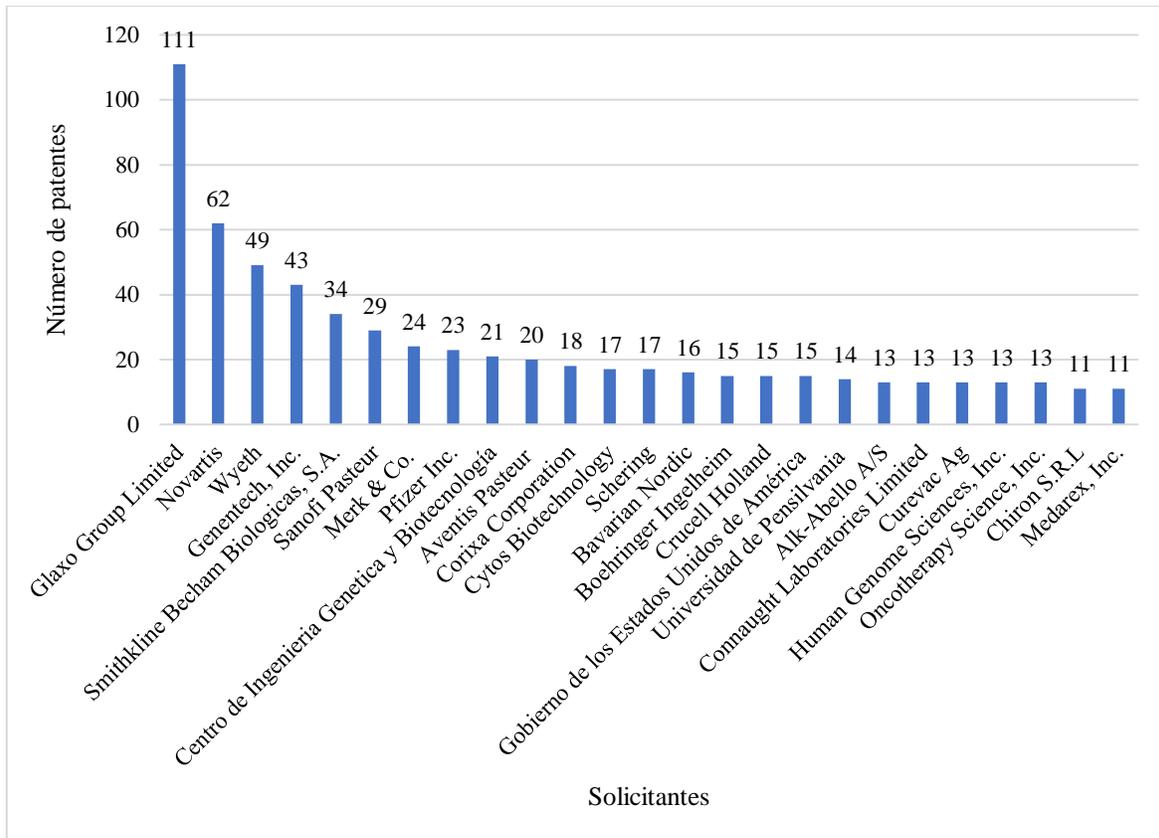
desmantelamiento del sistema de mexicano de vacunación, esto aunado a la baja inversión en CyT han facilitado la participación de agentes extranjeros en el área.

Otra cuestión que determina la baja participación tiene que ver con la ausencia de una política de fomento a la transferencia tecnológica que permita aprovechar las capacidades científicas y tecnológicas que surgen en el país. En muchos casos los inventores mexicanos no están interesados en patentar, ya sea por la dificultad burocrática, el costo, el desinterés o el desconocimiento de los procedimientos.

Igualmente, llama la atención que las patentes registradas por mexicanos provienen de las grandes universidades, instituciones o centros públicos de información, mientras que la participación de universidades y centros locales es prácticamente nula. Esto se debe a las diferencias que hay entre ambas entre términos de financiamiento, infraestructura, equipamiento, acceso a información, entre otras cosas.

Por otro lado, también se pudo observar que se presenta una concentración de las solicitudes de patente en pocos solicitantes, mayoritariamente empresas, aunque figura el Centro de Ingeniería Genética y Biotecnología proveniente de Cuba y el gobierno de E.U.A entre los principales solicitantes. Para dar una idea de esta concentración basta con señalar que el 50% de las solicitudes se acumulan en 55 entes (ver siguiente gráfica).

Grafica 5.15. Principales solicitantes



Fuente: elaboración propia con base en datos de Patentscope, de la OMPI.

Según Garibay, (2017) las empresas farmacéuticas con mayores ingresos en mundo son: Pfizer que 2017 logró 49.9 millones de dólares, Novartis y Roche, con 42.5; Sanofi, con 39.9; Merk & Co. y Johnson & Johnson con 35.7; GlaxoSmithKline con 31.2; AbbVie con 27.7; Gilead Sciences con 27.5; y finalmente Tavacon 23.5. El poderío de estas se refleja en el control de las patentes de vacunas biotecnológicas por lo menos en el caso de México.

Morales, Amaro y Stezano (2019: 23) aseguran que las empresas usan las patentes como mecanismos de apropiación de la innovación y como activos estratégicos para crear y mantener posiciones dominantes. Esto se debe a que las transacciones con patentes son un componente importante para los mercados de conocimiento; usan las patentes para redefinir posiciones jerárquicas, aumentar su poder de negociación, resolver disputas legales y facilitar acuerdos de licencias cruzadas.

Otros mecanismos usados en la concentración de patentes y el control del mercado biofarmacéutico de vacunas son las fusiones y adquisiciones. Algunas de las patentes para

México fueron presentadas por empresas filiales o compradas por las grandes corporaciones. GlaxoSmithKline es un caso representativo, pues esta empresa es dueña de Glaxo Group Limited, Novartis unidad de vacunas, Smithkline Becham Biológicas, S.A., Corixa Corporation, Human Genome Sciences, Inc., y Chiron S.R.L, entre otras tantas que figuran entre las solicitantes. Esta práctica se repite en otras empresas como Pfizer, Sanofi S.A., Merck & Co, Johnson & Johnson y Roche, dejando a luz que menos de 10 empresas son las dueñas de las patentes en vacunas en México.

Finalmente, el análisis del patentamiento sobre vacunas biotecnológicas en México muestra que, aunque la mayor parte de la investigación se realiza en universidades y centros de investigación financiados por el Estado, las empresas son las que lideran las solicitudes de patente, lo que les permite controlar el mercado nacional de vacunas. Si bien mucha de la investigación que resultó pudo generarse en los centros de I+D de estas corporaciones, no se debe perder de vista que los convenios entre las instituciones de investigación y la iniciativa privada facilita la apropiación y concentración de conocimiento a manos de las empresas.

Reflexiones finales

Desde inicios del siglo XIX el país ha incluido a la biotecnología como área estratégica en sus planes y programas de desarrollo científico-tecnológico, sin embargo, no existen mecanismos claros sobre cómo se impulsarlo, ni que áreas se deben priorizar. Por esto, la mayoría de la investigación biotecnológica en el país se orienta a los sectores agroalimentario y ambiental, dejando de lado la salud humana.

El financiamiento público destinado a la creación de vacunas biotecnológicas es insuficiente, y además es cooptado por las grandes corporaciones biofarmacéuticas que controlan el mercado nacional y mundial. Aunado a que existen proyectos que no tienen que ver con la generación de tecnologías o innovación, sino que están orientados al sector servicios o a planes de comercialización.

Por otro lado, México también impulsa la formación de personal altamente calificado especializado en esta área, por lo que el cúmulo instituciones educativas, estudiantes e investigadores se ha incrementado. A pesar esto, en el país no hay suficientes puestos de trabajo ni en el ámbito académico ni en el empresarial, como consecuencia crece la brecha

entre la formación y el nivel de empleabilidad, o incluso vinculación. Esto es: se privilegia la oferta laboral, pero no se llevan a cabo acciones en la demanda que puedan absorber estos recursos humanos formados. Respecto de los centros públicos de investigación, laboratorios nacionales y redes de colaboración del CONACYT, efectivamente incluyen la biotecnología como parte de sus líneas de investigación, pero el desarrollo de vacunas no es prioritario, ya que en pocas instituciones se trabaja el tema.

Finalmente, las publicaciones sobre vacunas biotecnológicas en la WoS, en su mayoría son financiadas por el CONACYT, la UNAM y el IPN; a pesar de esto hay un desfase entre quien financia la mayor parte de la investigación sobre el tema y quién patenta en México. Esto quiere decir que las grandes corporaciones transnacionales se benefician de los fondos públicos, controlan las líneas de investigación y el mercado de vacunas y otros productos farmacéuticos en México, vía las patentes, convirtiéndose en las principales proveedoras de las instituciones de salud del país y de la región.

Conclusiones generales

El argumento de la tesis se organizó en cinco capítulos en función de los lineamientos y objetivos trazados para desarrollar la hipótesis de trabajo. Los dos primeros capítulos sirvieron para examinar la importancia de la salud y la CyT para el desarrollo social; y entender cómo se vincula el desarrollo con la investigación sobre vacunas biotecnológicas. En el tercer capítulo se revisó el marco normativo internacional y nacional que rige el uso de esta tecnología. A partir de ello se analizó si la política pública considera a la investigación sobre vacunas biotecnológicas un sector prioritario y los mecanismos que se establecen para impulsar el área, y si estos están en función de las necesidades sanitarias de la población. También se indagó de qué forma se vinculan las políticas orientadas al mercado con las agendas u objetivos que persigue la política científica relacionada con la biotecnología en salud. Se revisó la forma en que está configurado el sistema de patentes y la manera en que limita que los beneficios tecnológicos se orienten a disminuir los problemas sanitarios del país. El cuarto capítulo explicó aspectos técnicos de las vacunas, además, se realizó un recorrido por la historia del sistema de vacunación en el mundo y en México; y se abordó el debate que gira en torno a la vacunación. Este apartado permitió conocer de qué forma la política económica que se implementa en el país incide en la definición de las políticas de salud. Finalmente, en el quinto capítulo se identificaron las capacidades científico-tecnológicas sobre vacunas biotecnológicas, a partir de ello se visibilizó la forma en que se articulan la investigación pública y el patentamiento con los objetivos de la política económica que se ha implementado en el país.

En esta tesis se indaga la relación entre el capitalismo, salud y enfermedad. Asimismo, se reflexiona acerca de la importancia de la salud para el desarrollo al considerarse un factor indispensable para lograr condiciones mínimas de bienestar humano y social; y para incentivar el crecimiento económico-productivo. Ante esto los países utilizan diversas estrategias que les permiten mejorar sus indicadores de salud entre ellas el impulso a la I+D en áreas vinculadas con la salud. Se ha apostado sobre todo al uso de las tecnologías emergentes, entre ellas la biotecnología que, debido a su carácter multidisciplinario, ha demostrado su capacidad para diversificar sus aplicaciones en distintos campos de la medicina.

Sin embargo, el uso de estas tecnologías por sí solo no soluciona de forma automática los problemas sanitarios, para ello, son necesarias, entre otras cosas, políticas públicas que encaucen la investigación pública a la satisfacción de necesidades sociales y que incentiven su socialización. En este contexto, no cabe duda de que el debate que prevalece sobre el uso de las innovaciones tecnológicas respecto del desarrollo y la sociedad es central, y que debe incorporar el contexto social, económico, político y jurídico al cual se sujeta el progreso de la CTel.

No se puede perder vista que, a pesar de que el uso de la biotecnología tiene siglos de antigüedad, su constante renovación la coloca en el centro de los debates actuales. Su capacidad de modificar y manipular la estructura genética de organismos vivos y, más recientemente, de crear organismos totalmente nuevos a conveniencia, plantea tremendos retos en cuanto a su control y regulación, y en general a lo que la humanidad está dispuesta a aceptar con el fin de crear “organismos perfectos”, ya que esta tecnología tiene el potencial de alterar la vida tal y como la conocemos, sin considerar los impactos negativos al ambiente. No obstante, su acelerado desarrollo y vinculación con distintos sectores impide conocer el funcionamiento completo de cada una de sus aplicaciones y, por tanto, evaluar los efectos negativos que trae a todos los ámbitos de la vida.

En México, como en todo el mundo, el discurso que rodea el progreso de la CTel señala la necesidad e importancia de tratar de avanzar en el conocimiento de la biotecnología, y en especial aquella dedicada a la salud, con la intención de construir marcos normativos que permitan regular y articular sus objetivos con modelos de desarrollo justos y equitativos que sirvan al progreso económico, pero sobre todo al social. Empero, la legislación mexicana sobre biotecnología está formulada a partir de los lineamientos internacionales que son aprovechados por los grandes grupos de poder, económicos y políticos, para salvaguardar sus intereses. Esta situación incluye a las políticas de CTel que se han instrumentado en el país, y que a partir de los años setenta aparecen ligadas al avance de la competitividad y productividad económica, por encima de las necesidades sociales. Un ejemplo reciente es la entrada en vigor del T-MEC y la Ley de Protección a la Innovación industrial, en las cuales se incluyen aspectos que tendrán implicaciones importantes en los DPI de la industria biofarmacéutica, como es la extensión del tiempo de vida de las patentes, lo que limitara aún más el acceso a productos de biofarmacéuticos.

Por lo tanto, para satisfacer las necesidades apremiantes de la población, entre ellas la salud, vía el uso de aplicaciones biotecnológicas como las vacunas, es necesario un cambio en la regulación y en los objetivos del modelo de desarrollo; meta complicada al considerar el poderío económico, político, tecnológico y social de los grandes grupos de poder que inciden en la formulación de la legislación mexicana.

Otro aspecto importante fue avanzar en la comprensión del contexto en el que se desarrollan las vacunas biotecnológicas. El interés de usar la biotecnología en el área de la inmunización obedeció a su declarado potencial de solucionar los problemas e impactos negativos que conlleva su uso, por ejemplo: incrementar su eficiencia y seguridad, diversificar las formas de aplicación y extender su periodo de vida aún en condiciones extremas; promesas que hasta hoy no se han cumplido. El debate sobre la efectividad de las vacunas continúa vigente, y trastoca aspectos clínicos, económicos, éticos, ideológicos y religiosos, incluso ambientales; que ponen en duda desde diferentes aristas la pertinencia de la vacunación. A pesar de esto, las agencias de salud minimizan estas opiniones, que no solo provienen de miembros de la sociedad civil, sino que también de expertos en el tema, y continúan recomendando la vacunación sin atender las exigencias de estos grupos que pugnan por más información y seguridad; endurecimiento de los requisitos para aprobar su comercialización o en otros casos suprimir la vacunación obligatoria.

En relación con la historia del sistema mexicano de vacunación desde sus inicios en la época colonial hasta la etapa del Estado Desarrollista se caracterizó por adoptar rápidamente los avances surgidos a nivel mundial; generó estrategias novedosas que permitieron ampliar la cobertura en cuanto a cantidad de población y de enfermedades prevenibles atendidas, e incentivó la vinculación entre el sistema de salud y el de CyT para la construcción de una plataforma de investigación en el área. Todo esto permitió al país la autosuficiencia en el diseño y creación de vacunas para atender las necesidades sanitarias nacionales, lo que le valió el reconocimiento internacional. Empero, la situación cambió a partir de los años setenta con la implementación de las políticas neoliberales, dictadas internacionalmente. El mercado tomó el control del sector y la intervención del Estado se orientó mayormente a financiar actividades consideradas poco rentables o no ligadas directamente con la obtención de ganancia. En este contexto, se perdió la autosuficiencia en el desarrollo y producción de inmunógenos que había logrado a través de décadas de

esfuerzos. Precisamente, estos cambios en la política económica abrieron espacio y facilitaron la participación de las grandes empresas transnacionales biofarmacéuticas en el sector salud, dejando las necesidades sanitarias de la población mexicana en manos de estas corporaciones, ya que son las principales proveedoras de medicamentos, vacunas, material quirúrgico y de curación; instrumental, y en general, de todos los insumos médicos.

En este sentido, en función de la información obtenida se puede afirmar que la hipótesis que guía esta investigación se cumple. Se encontró que persiste la tendencia de orientar la I+D en biotecnología a la creación de productos que se puedan insertar fácilmente en la esfera productiva para facilitar la obtención de ganancias por parte de las empresas, dejando en segundo plano la resolución de problemas sociales. Esto tiene implicaciones en el área de la salud; ya la I+D no necesariamente está ligada a la creación de productos que atiendan los problemas sanitarios que enfrenta el país. Aunado a ello, el patentamiento incentiva la concentración del conocimiento en manos de pocas empresas, lo que permite que controlen el mercado y los precios, orientando los beneficios del desarrollo biotecnológico hacia sectores económicos más favorecidos, en detrimento de los beneficios que la biotecnología puede traer a la población.

Para entender el entorno en el que se desarrollan la investigación pública y el patentamiento de vacunas biotecnológicas en el país fue indispensable conocer la dinámica del gasto en I+D, y compararlo con otras experiencias. México destina menos del 1 % del PIB a I+D, muy por debajo de otras naciones con entornos científicos-tecnológicos sólidos y virtuosos, que gastan entre el 2 y el 4 %, por ejemplo, Corea del Sur gasta el 4.5 %, Japón 3.21 %, Alemania 3.2 %, solo por mencionar algunos ejemplos. A esto se agrega que la inversión de la iniciativa privada en I+D es escasa, dado que no hay interés por crear industrias innovadoras nacionales, la vinculación entre la ciencia y la industria existente en el país es insuficiente; y no hay marcos normativos que obliguen a las empresas a invertir, transferir tecnología y conocimiento a las instituciones de investigación nacionales.

México ha diseñado e implementado distintos programas de financiamiento para impulsar la investigación y el desarrollo tecnológico con la intención de mejorar los indicadores de CTel. Estos programas incluyen como área estratégica a la biotecnología, pero no se definen sectores prioritarios, por lo cual la salud y en especial las vacunas aparecen en proyectos aislados, algunos de los cuales comandados por las grandes corporaciones

biofarmacéuticas que tienen el control del mercado internacional y nacional. Por tanto, el uso de los recursos no se orienta a la resolución de problemas sociales, sino que colabora directa o indirectamente con el proceso de acumulación de las empresas.

Otro aspecto que sobresale dentro de la encomienda de incrementar la inversión en CyT es la formación de recursos humanos, dado que es necesaria para la generación de conocimientos científicos y tecnológicos. México le ha apostado a la creación de centros de enseñanza para formar biotecnólogos, otorga incentivos a los investigadores y fomenta la colaboración entre pares. Se encontró que hasta el 2019 había 113 programas de educación superior y 69 de posgrado relacionados con distintas áreas de la biotecnología, y su tasa media anual de crecimiento fue de 8.6 y 5.8 respectivamente. Mientras que los programas dedicados a la salud, es decir, con potencial de desarrollar vacunas biotecnológicas para el 2019 son 29 posgrados y 74 instituciones de educación superior, que en conjunto tienen 20,343 alumnos. Respecto del número de investigadores del SNI dedicados a la I+D de vacunas biotecnológicas se incrementó de 546 en 2010 a 927 en 2019; además se identificaron 24 cuerpos académicos registrados en el PRODEP, en los cuales por lo menos uno de sus miembros está relacionado con el diseño, creación o evaluación de vacunas biotecnológicas y sus componentes.

Estos datos dan cuenta de que en México se invierte en la formación de personal altamente calificado dedicado al desarrollo de vacunas biotecnológicas y otros productos médicos; esto con el objetivo de usar sus conocimientos, destrezas y habilidades para impulsar el progreso de la CTel. Sin embargo, el mercado laboral público y privado es insuficiente para emplear a todos los egresados. En el ámbito público, es decir, en la docencia y la investigación los espacios son reducidos, lo cual se complica por la extensión de los años de trabajo necesarios para la jubilación. Mientras que, en el ámbito privado, la situación no es diferente, existen pocos empleos ya que el país no se apuesta la creación de industrias nacionales y son pocas las empresas extranjeras que instalan plantas de I+D en el territorio. Aunado a lo anterior, estos investigadores no tienen la posibilidad de autoemplearse, dado que para crear productos biotecnológicos son necesarios grandes montos de inversión en infraestructura y equipamiento, resultado de ello, el recurso humano opta por migrar o no ejercer su profesión; ambos casos constituyen un desperdicio de capacidades para México.

En el mismo sentido, otro problema es la desvinculación y la poca colaboración entre instituciones de investigación y, también, entre científicos e investigadores, quienes trabajan de forma aislada. En este contexto, es importante la creación de una red nacional de investigadores -que incluya información sobre su área de especialización y los centros de trabajo a los que pertenecen-, que sirva para incentivar la colaboración entre ellos y definir agendas de investigación.

Otro indicador importante es el número de publicaciones científicas, particularmente sobre vacunas biotecnológicas, a partir de las cuales se mide la productividad de los investigadores y visibiliza la dinámica de colaboración. Se encontraron 1,082 publicaciones desde 1980 hasta 2020, el 79 % son artículos. Las instituciones destacadas en el tema son la UNAM, el IPN, IMSS, el CINVESTAV y el INSP; y en menor medida aparecen empresas como GlaxoSmithKline, Merck, Pfizer y Sanofi. Además, el CONACYT financia la mayor parte de estas investigaciones, otras son la UNAM y el IPN, todas instituciones públicas. Respecto de las dinámicas de colaboración de México con otras partes del mundo, se encontró que hay vinculación con EE.UU., Brasil, Reino Unido, España, Francia y Alemania, entre otros lugares.

Estos datos son ejemplo de la concentración de conocimientos y recursos entre las grandes instituciones ubicadas, por lo general, en el centro de país o en las grandes ciudades. La participación de las universidades estatales es limitada debido a que su financiamiento es menor, pues el horario laboral de los científicos e investigadores se divide entre la docencia y la investigación; y la infraestructura no es suficiente o es obsoleta. Además, es importante añadir que el incremento de las publicaciones obedece, principalmente, a la integración de los investigadores en la esfera productiva; dentro de esta lógica, la productividad es medida a partir del número de publicaciones, y de estas depende la obtención de incentivos económicos.

En lo que se refiere al patentamiento de vacunas biotecnológicas en México, hay registro de 1,682 solicitudes ante la OMPI, de las cuales el 64 % provienen las grandes empresas transnacionales, en su mayoría norteamericanas, como Glaxo Group Limited, Novartis, Wyeth, Genentech y Sanofi. Esto podría explicarse por el hecho de que las patentes aumentan el valor de las corporaciones, que además se valen de otros mecanismos para controlar las patentes y el mercado biofarmacéutico de vacunas, como son las fusiones y

adquisiciones de empresas de menor tamaño. También, evidencia el poderío de estas empresas sobre la I+D en vacunas biotecnológicas, no solo en México, sino a nivel mundial. Son estas compañías las que diseñan y controlan agendas de investigación, y los circuitos de comercialización a fin de cumplir con su principal objetivo: el incremento de la ganancia.

Todo lo anterior muestra la necesidad de replantear el rol del Estado en el control de áreas estratégicas para el desarrollo, como se vio en el caso de Birmex, que pasó de ser una empresa innovadora en producción de vacunas a tomar el papel de distribuidora, teniendo como único objetivo garantizar el abasto de vacunas en el país.

Hoy más que nunca es importante tener la capacidad científica y tecnológica que permita tener soberanía en cuanto al desarrollo y producción de vacunas que cubran en primera instancia el ENV y, en segundo lugar, que permitan hacer frente a los nuevos retos sanitarios, por ejemplo, a la actual pandemia causada por el SARS-CoV-2.

El contexto económico y político condiciona las posibilidades de que la investigación pública sobre las vacunas biotecnológicas se oriente a atender los problemas sanitarios del país. Contrario a ello, la desigualdad social que existe en torno del acceso de la población a tecnologías sanitarias de punta crecerá mientras que la investigación y la producción se encuentren atadas a la participación de las corporaciones globales del sector, ya que únicamente un pequeño segmento de la población tiene la capacidad de pago para adquirirlas.

Finalmente, esta investigación abre nuevas líneas de investigación que permitirán avanzar en el conocimiento del área a fin de visualizar los problemas que persisten y proponer estrategias de atención. Algunos ejemplos pueden ser: i) evaluar del tipo de infraestructura y equipamiento con el que cuentan los centros de investigación y universidades, es decir, si es de frontera o es obsoleta, con esto visibilizar la desigualdad que existe entre ellas; ii) dado que mayoría de los insumos utilizados son importados es pertinente analizar la cadena de valor con el objetivo de buscar mecanismos para que puedan producirse en el país, y con esto se disminuir la dependencia tecnológica con el exterior; iii) revisar los marcos normativos nacionales poniendo especial énfasis en los aspectos que favorecen a las grandes corporaciones, y proponiendo reformas que pongan en igualdad de condiciones a las empresas nacionales; iv) estudiar ampliamente los requisitos para realizar ensayos clínicos en el país y observar si cumplen con el principio de precaución o si se ha aprobado el uso de

vacunas que habían sido prohibidas en otros lugares; v) estudiar las barreras que impiden que las innovaciones lleguen a toda la población y no solo a quienes pueden pagarla.

Anexos

Anexo 1				
<i>Programas de educación superior relacionados con biotecnología en salud</i>				
Estado	Universidad	Facultad	Programa	Matricula Total
Aguascalientes	Universidad Autónoma de Aguascalientes	Centro Ciencias Básicas	Licenciatura en Biotecnología	190
Baja California	Universidad Tecnológica de Tijuana	Universidad Tecnológica de Tijuana	Técnico Superior Universitario en Química Área Biotecnología	46
Chihuahua	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Chihuahua	Ingeniería en Biotecnología	139
	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez	Instituto de Ciencias Biomédicas UACJ	Licenciatura en Biotecnología	129
		Instituto de Ciencias Sociales Y Administración UACJ	Licenciatura en Biotecnología	0
Coahuila	Universidad Tecnológica de Coahuila	Universidad Tecnológica de Coahuila	Ingeniería en Biotecnología	25
			Técnico Superior Universitario en Química Área Biotecnología	101
Ciudad de México	Instituto Politécnico Nacional	Unidad Profesional Interdisciplinario de Biotecnología (UPIB)	Ingeniería Biomédica	661
			Ingeniería en Biotecnología	654
			Ingeniería en Farmacéutica	463
	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Ciudad de México	Ingeniería en Biotecnología	290
	Universidad Abierta y a Distancia de México	Universidad Abierta y a Distancia de México (UNAD de México)	Ingeniería en Biotecnología	2,562
			Técnico Superior Universitario en Biotecnología	107
	Universidad del Valle De México	Universidad del Valle de México - Campus Chapultepec	Químico Farmacéutico Biotecnólogo	137
		Universidad del Valle de México - Campus Coyoacán	Químico Farmacéutico Biotecnólogo	264
	Universidad Simón Bolívar	Universidad Simón Bolívar	Licenciatura en Biotecnología	47
Durango	Universidad Juárez del Estado de Durango	Escuela de Ciencias Químicas	Químico Biotecnólogo	202
	Universidad Politécnica de Gómez Palacio	Universidad Politécnica de Gómez Palacio	Ingeniería en Biotecnología	365
Guanajuato	Instituto Politécnico Nacional	Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería del IPN	Ingeniería en Biotecnología	524

	Universidad de Guanajuato	Campus Celaya-Salvatierra, División Ciencias de la Salud e Ingenierías	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	321
	Universidad Politécnica de Guanajuato	Universidad Politécnica de Guanajuato	Ingeniería en Biotecnología	256
	Universidad Politécnica de Pénjamo	Universidad Politécnica de Pénjamo	Ingeniería en Biotecnología	279
Guerrero	Universidad Autónoma de Guerrero	Unidad Académica de Ciencias Químicas Biológicas	Licenciatura en Biotecnología	135
Hidalgo	Universidad Politécnica de Pachuca	Universidad Politécnica de Pachuca	Ingeniería en Biotecnología	488
Jalisco	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Guadalajara	Ingeniería en Biotecnología	253
	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente	Departamento de Procesos Tecnológicos e Industriales	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	240
	Universidad Autónoma de Guadalajara	Universidad Autónoma de Guadalajara - Instituto de Ciencias Biológicas	Ingeniería en Biotecnología	127
	Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara	Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	119
México	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Estado de México	Ingeniería en Biotecnología	294
		Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Toluca	Ingeniería en Biotecnología	197
	Universidad Anáhuac	Universidad Anáhuac del Norte	Licenciatura en Biotecnología	116
	Universidad Autónoma del Estado de México	Facultad de Ciencias	Licenciatura en Biotecnología	310
	Universidad del Valle de México	Universidad del Valle de México - Campus Lomas Verdes	Químico Farmacéutico Biotecnólogo	177
		Universidad del Valle de México - Campus Toluca	Químico Farmacéutico Biotecnólogo	170
	Universidad Politécnica de Cuautilán Izcalli	Universidad Politécnica de Cuautilán Izcalli	Ingeniería en Biotecnología	422
	Universidad Politécnica del Valle De México	Universidad Politécnica del Valle de México	Ingeniería en Biotecnología	530
	Universidad Politécnica del Valle de Toluca	Universidad Politécnica del Valle de Toluca	Ingeniería en Biotecnología	482
		Universidad Tecnológica de Tecámac	Ingeniería en Biotecnología	344

	Universidad Tecnológica de Tecámac		Técnico Superior Universitario en Química Área Biotecnología	732
	Universidad Tecnológica del Valle de Toluca	Unidad Académica de Capulhuac	Técnico Superior Universitario en Química Área Biotecnología	128
Michoacán	Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	Instituto de Investigaciones Químico-Biológicas	Licenciatura en Biotecnología	353
	Universidad Tecnológica de Morelia	Universidad Tecnológica de Morelia	Ingeniería En Biotecnología	178
			Técnico Superior Universitario en Química-Área Biotecnología	313
	Universidad Tecnológica del Oriente de Michoacán	Universidad Tecnológica del Oriente de Michoacán	Ingeniería En Biotecnología	41
Técnico Superior Universitario en Biotecnología			97	
Morelos	Universidad Politécnica del Estado de Morelos	Universidad Politécnica del Estado de Morelos	Ingeniería en Biotecnología	386
Nuevo León	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Monterrey	Ingeniería en Biotecnología	476
	Universidad Autónoma de Nuevo León	Facultad de Ciencias Biológicas U.A.N.L.	Licenciatura en Biotecnología Genómica	935
Oaxaca	Universidad del Papaloapan	Universidad del Papaloapan Campus Tuxtepec	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	103
Puebla	Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	Escuela De Biología	Licenciatura En Biotecnología	373
		Unidad Regional Izúcar de Matamoros-Sustentabilidad y Tecnologías Emergentes	Licenciatura en Biotecnología	113
	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Puebla	Ingeniería en Biotecnología	3
			Ingeniero en Biotecnología	187
	Universidad Iberoamericana - Puebla	Departamento de Negocios	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	7
	Universidad Interamericana, A.C.	Escuela de Arte y Diseño de la Universidad Interamericana, A.C.	Licenciatura en Biotecnología	43
	Universidad Interserrana del Estado de Puebla - Ahuacatlán	Universidad Interserrana del Estado de Puebla, Plantel Ahuacatlán	Licenciatura en Biotecnología	40
	Universidad Politécnica de Puebla	Universidad Politécnica de Puebla	Ingeniería en Biotecnología	434

	Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla	Universidad Politécnica Metropolitana de Puebla	Ingeniería en Biotecnología	247
	Universidad Popular Autónoma del Estado De Puebla	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla - Campus Puebla	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	151
	Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez	Universidad Tecnológica de Xicotepec de Juárez	Ingeniería En Biotecnología	62
			Técnico Superior Universitario en Química - Área Biotecnología	118
Querétaro	Arkansas State University CQ	Arkansas State University CQ	Licenciatura en Biotecnología	53
	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Querétaro	Ingeniería en Biotecnología	309
	Universidad Autónoma de Querétaro	Universidad Autónoma de Querétaro - Campus Centro Universitario	Ingeniería en Biotecnología	182
	Universidad del Valle de México	Universidad del Valle de México - Campus Querétaro	Químico Farmacéutico Biotecnólogo	138
Quintana Roo	Universidad Politécnica de Quintana Roo	Universidad Politécnica de Quintana Roo	Ingeniería en Biotecnología	142
Sinaloa	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Culiacán	Ingeniería en Biotecnología	0
	Universidad Autónoma de Sinaloa	Unidad Académica Facultad de Ciencias Químico y Biológicas	Licenciatura en Biotecnología Genómica	391
	Universidad Politécnica de Sinaloa	Universidad Politécnica de Sinaloa	Ingeniería en Biotecnología	470
Tabasco	Universidad del Valle de México	Universidad del Valle de México - Campus Villa Hermosa	Químico Farmacéutico Biotecnólogo	100
	Universidad Politécnica del Centro	Universidad Politécnica del Centro	Ingeniería en Biotecnología	203
Tlaxcala	Universidad Politécnica de Tlaxcala	Universidad Politécnica de Tlaxcala	Ingeniería en Biotecnología	439
Veracruz	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey - Campus Veracruz	Ingeniería en Biotecnología	16
Yucatán	Universidad Autónoma de Yucatán	Facultad de Ingeniería Química UADY	Licenciatura en Ingeniería en Biotecnología	214
			Total	20,343

Anexo 2

Programas de posgrado relacionados con biotecnología en salud

Estado	Universidad	Facultad	Programa	Matricula Total
Chihuahua	Universidad Autónoma de Chihuahua	Facultad de Ciencias Químicas UACH	Maestría en Ciencias en Biotecnología	17

Coahuila	Universidad Autónoma de Coahuila	Facultad de Ciencias Químicas	Doctorado en Biotecnología Opción Biocatálisis	0
			Maestría en Biotecnología Opción Ciencias y Biotecnología de Enzimas	0
Ciudad De México	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN	Departamento de Biotecnología y Bioingeniería	Doctorado en Ciencias en Biotecnología	33
			Maestría en Ciencias en Biotecnología	43
	Instituto Politécnico Nacional	Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB)	Doctorado en Ciencias con Especialidad en Biomedicina y Biotecnología Molecular	62
			Doctorado en Ciencias en Biotecnología	12
			Maestría en Ciencias con Especialidad en Biomedicina y Biotecnología Molecular	67
			Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía (ENMYH)	Doctorado en Ciencias en Biotecnología
		Unidad Profesional Interdisciplinario de Biotecnología (UPIB)	Doctorado en Ciencias de Bioprocesos	37
			Maestría en Biotecnología Productiva	0
	Maestría en Ciencias en Bioprocesos	23		
	Durango	Instituto Politécnico Nacional	Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral,	Doctorado en Ciencias en Biotecnología
Guanajuato	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN	Centro de Investigación y de Estudios Avanzados Del IPN	Doctorado en Biotecnología de las Plantas	106
			Maestría en Ciencias con Especialidad en Biotecnología de Plantas	112
Hidalgo	Universidad Politécnica de Pachuca	Universidad Politécnica de Pachuca	Doctorado en Ciencias en Biotecnología	16
			Maestría en Biotecnología	16
Jalisco	Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.	Centro de Investigación y asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C.	Doctorado en Ciencias en Biotecnología e Innovación	57
			Maestría en Ciencias en Biotecnología e Innovación	79
	Universidad de Guadalajara	Centro Universitario de Ciencias Exactas E Ingeniería	Doctorado en Ciencias en Procesos Biotecnológicos	4
Morelos	Universidad Autónoma Del Estado de Morelos	Centro de Investigación en Biotecnología – CEIB	Maestría en Biotecnología	47
			Maestría en Investigación y Desarrollo de Plantas Medicinales	8
		Facultad de Ciencias Biológicas	Maestría en Biotecnología	0
Nuevo León	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey	Doctorado en Biotecnología	45
			Maestría en Ciencias con Especialidad en Biotecnología	52
Puebla	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla	Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla	Doctorado en Biotecnología	13
			Maestría en Biotecnología	24
Sinaloa	Instituto Politécnico Nacional	Centro Interdisciplinario de Investigación para el	Doctorado en Ciencias en Biotecnología	11

		Desarrollo Integral Regional		
Tlaxcala	Instituto Politécnico Nacional	Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada CIBA-IPN	Maestría En Biotecnología Productiva	39
				965

Anexo 3			
<i>Cuerpos Académicos registrados en el PRODEP relacionados con vacunas biotecnológicas</i>			
Institución	Nombre del Cuerpo Académico	Línea de generación y aplicación del conocimiento	Miembros
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	BUAP-CA-322 - Genómica Funcional y Metabolismo de la Interacción Microorganismo-Hospedero	<ul style="list-style-type: none"> • Genómica Estructural y Funcional de la Interacción Microorganismo-Hospedero • Estudio de la participación de la Producción de los segundos mensajeros y Metabolitos Secundarios en Bacterias 	<ul style="list-style-type: none"> • Baca Beatriz Eugenia • Martínez Morales Luis Javier • Ramírez Mata Alberto • Soto Urzúa Lucía
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla	BUAP-CA-347 - Microorganismos y Biomoléculas en Biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Regulación de la Expresión Genética • Microorganismos y Biomoléculas con Aplicación Biotecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Martínez Contreras Rebeca Débora • Morales Lara Laura • Pérez Y Terrón Rocío
Universidad Autónoma de Baja California	UABC-CA-34 - Biológico-Farmacéutico	<ul style="list-style-type: none"> • Biotecnología para la Salud 	<ul style="list-style-type: none"> • Chávez Santoscoy Rocío Alejandra • Mares Alejandro Rosa Elena • Meléndez López Samuel Guillermo • Muñoz Muñoz Patricia Lilián Alejandra • Ramírez Rodríguez Ana Alejandra • Ramos Ibarra Marco Antonio • Romero Pérez Diego
Universidad Autónoma de Baja California	UABC-CA-289 - Biología integrativa	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina básica y aplicada • Manejo, Aprovechamiento Sustentable y Conservación de Recursos Naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Carballo Amador Manuel Alejandro • Flores López Carlos Alberto • Pacheco Bardullas Ulises Gregorio • Romero Figueroa Guillermo • Valencia Suarez Julio Enrique
Universidad Autónoma de Chihuahua	UACH-CA-64 - Epidemiología y caracterización molecular	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización molecular de agentes patógenos • Evaluación de la exposición a sustancias toxicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Delgado Gardea María Carmen Elizabeth • González Horta María del Carmen • Infante Ramírez María del Rocío • Sánchez Ramírez Blanca Estela
Universidad Autónoma de Chihuahua	UACH-CA-73 - Biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Genética molecular • Microbiología aplicada 	<ul style="list-style-type: none"> • Arévalo Gallegos Sigifredo • Espinoza Sánchez Edward Alexander • Rascón Cruz Quintin • Siqueiros Cendón Tania Samanta

Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-112 - Inmunología	<ul style="list-style-type: none"> • Trinomio inmunidad, Cáncer y virus • Desarrollo biotecnológico de modificadores de la respuesta biológica para diagnóstico y terapia • Formulación y aplicación de biológicos 	<ul style="list-style-type: none"> • Alcocer González Juan Manuel • Caballero Hernández Diana Elia • Franco Molina Moisés Armides • Gómez Flores Ricardo Alberto • Martínez Torres Ana Carolina • Mendoza Gamboa Edgar • Rivera Morales Lydia Guadalupe • Rodríguez Padilla María Cristina • Tamez Guerra Patricia • Tamez Guerra Reyes S. • Trejo Ávila Laura María • Vázquez Guillen José Manuel • Zapata Benavides Pablo • Zarate Triviño Diana Ginette
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-288 - Biotecnología y Bioquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Biotecnología Aplicada • Metabolismo Celular 	<ul style="list-style-type: none"> • Cantú Cárdenas María Elena • Gómez Treviño Jesús Alberto • Morones Ramírez José Rubén • Zarate Kalfopulos Xristo
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-304 - Nanobiotecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Nanotecnología y Nanobiotecnología • Modelación matemática • Microbiología y Biotecnología 	<ul style="list-style-type: none"> • Elizondo Villarreal Nora • García Méndez Manuel • Torres López Ernesto
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-317 - Biotecnología Molecular y Bioprocesos	<ul style="list-style-type: none"> • Biotecnología Molecular • Bioprocesos con Organismos Genéticamente Modificados (OGMS) 	<ul style="list-style-type: none"> • Gallegos López Juan Antonio • Guerrero Olazarán Martha • Viader Salvado José María
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-326 - Biotecnología, Monitoreo, Diagnóstico, Prevención y Tratamientos en Salud Ambiental	<ul style="list-style-type: none"> • Monitoreo de microorganismos para la disminución de riesgos en salud ambiental y ocupacional • Desarrollo de tecnologías para la recuperación de los recursos naturales que contribuyan a la protección del ambiente • Monitoreo de protozoarios y helmintos para la disminución de riesgos de infección ocupacional, así como su prevención y control ambiental • Biotecnología de microorganismos y de proteínas recombinantes de interés académico, médico e industrial • Aplicación de técnicas analíticas y quimiométricas para la construcción de escenarios climáticos regionalizados y el estudio de 	<ul style="list-style-type: none"> • Acuña Askar Karim • Alfaro Barbosa Juan Manuel • Ascacio Martínez Jorge Ángel Isidro • Rodríguez Pérez Elba Guadalupe • Saldívar Palacios Roberto

		<p>sus efectos sobre la salud ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desarrollo de Sistemas para Diagnostico y Prevención de Enfermedades Pediátricas Infecciosas 	
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-402 - Farmacología Molecular y Modelos Biológicos	<ul style="list-style-type: none"> • Estudio de Compuestos con actividad farmacológica y biotecnología farmacéutica 	<ul style="list-style-type: none"> • Arredondo Espinoza Eder Ubaldo • Balderas Rentería Isaías • Ramírez Cabrera Mónica Azucena
Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo	UAEH-CA-25 - Investigación Biomédica	<ul style="list-style-type: none"> • Microbiología molecular de las enfermedades infecciosas y aplicación biotecnológica 	<ul style="list-style-type: none"> • Becerril Flores Marco Antonio • Imbert Palafox José Luis • Molina Trinidad Eva María
Universidad de Sonora	UNISON-CA-10 - Biología y Bioquímica	<ul style="list-style-type: none"> • Bioquímica e inmunología de las enfermedades infecciosas y crónico degenerativas de mayor prevalencia regional • Actividad biológica y bioquímica de productos naturales 	<ul style="list-style-type: none"> • Garibay Escobar Adriana • Quintero Vargas Jael Teresa De Jesús • Rascón Valenzuela Luisa Alondra • Robles Zepeda Ramon Enrique • Ruiz Bustos Eduardo • Valenzuela Antelo Olivia • Velázquez Contreras Carlos Arturo
Universidad de Sonora	UNISON-CA-23 - Biotecnología de Recursos Bióticos	<ul style="list-style-type: none"> • Biotecnología de lípidos • Bioprocesos 	<ul style="list-style-type: none"> - Ayala Astorga Gloria Irma - Gámez Meza Noemi - Hayano Kanashiro Angela Corina - Medina Juárez Luis Ángel - Montesinos Cisneros Rosa María - Ovando Martínez Maribel - Tejeda Mansir Armando
Universidad Juárez del Estado de Durango	UJED-CA-139 - Proteínas y Metabolitos de Interés Biotecnológico	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterización Integral de Proteínas y Metabolitos de Interés Biotecnológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Ayala García Víctor Manuel • López Rodríguez Angelica María • Meneses Morales Iván • Ruiz Baca Estela
Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo	UMSNH-CA-188 - Microbiología Celular y Genética Molecular en la Salud Pública	<ul style="list-style-type: none"> • Patogénesis bacteriana y epidemiología molecular • Genética molecular y biotecnología 	<ul style="list-style-type: none"> • Baizabal Aguirre Víctor Manuel • Bravo Patiño Alejandro • Cajero Juárez Marcos • Núñez Anita Rosa Elvira • Oviedo Boyso Javier • Quintero Silva Yunuen • Valdez Alarcón Juan José
Universidad Veracruzana	UV-CA-361 - Química y Biotecnología	<ul style="list-style-type: none"> • Moléculas de Interés Químico y Biotecnológico 	<ul style="list-style-type: none"> • Cen Pacheco Francisco Abelardo • Domínguez Chávez Jorge Guillermo • Mondragón Vásquez Karina • Sánchez Otero María Guadalupe
Universidad Autónoma de Guerrero	UAGRO-CA-120 - Enfermedades Crónico - Degenerativas e Infecciosas	<ul style="list-style-type: none"> • Factores genéticos y ambientales asociados a diabetes, obesidad y enfermedad cardiovascular 	<ul style="list-style-type: none"> • Castro Alarcón Natividad • Guzmán Guzmán Iris Paola • Parra Rojas Isela • Ramírez Peralta Arturo

		<ul style="list-style-type: none"> • Mecanismos moleculares de la interacción huésped-parásito 	<ul style="list-style-type: none"> • Salgado Goytia Lorenzo • Vences Velázquez Amalia
Universidad Autónoma de Nuevo León	UANL-CA-210 - Inmunología y dermatología médica	<ul style="list-style-type: none"> • Respuesta inmune contra agentes infecciosos intracelulares y mecanismos de patogenicidad y virulencia de bacterias del género nocardia y mocobacterium • Inmunología oral • Enfermedades autoinmunes de la piel y mucosas 	<ul style="list-style-type: none"> • Arce Mendoza Alma Yolanda • Limón Flores Alberto Yairh • Medina De La Garza Carlos Eduardo • Molina Torres Carmen Amelia • Ocampo Candiani Jorge de Jesús • Rendon Pérez Luis Adrián • Rosas Taraco Adrián Geovanni • Salinas Carmona Mario Cesar • Vera Cabrera Lucio • Welsh Lozano Oliverio
Universidad Autónoma de San Luis Potosí	UASLP-CA-34 - Biomedicina	<ul style="list-style-type: none"> • Inmunología e inmunogenética • Salud pública • Bioquímica de enfermedades • Toxicogenómica • Vacunas recombinantes 	<ul style="list-style-type: none"> • González Castillo María Del Carmen • Niño Moreno Perla Del Carmen • Portales Pérez Diana Patricia • Quezada Calvillo Roberto
Universidad Autónoma de Yucatán	UADY-CA-57 - Biomedicina de enfermedades infecciosas y parasitarias	<ul style="list-style-type: none"> • Biomedicina de las enfermedades infecciosas y parasitarias 	<ul style="list-style-type: none"> • Acosta Viana Karla Yolanda • Ayora Talavera Guadalupe • Concha Valdez Fanny Guadalupe • Conde Ferráez Laura • González Losa María Del Refugio • Guzmán Marín Eugenia Del Socorro • Jiménez Coello Matilde • Puerto Solís Marilyn Rubí De La Cruz • Vargas González Alberto
Universidad de Sonora	UNISON-CA-195 - Bionanoingeniería	<ul style="list-style-type: none"> • Ingeniería de procesos de nano fabricación • Nanosistemas para aplicaciones biomédicas • Propagación y purificación de biomoléculas 	<ul style="list-style-type: none"> - Guerrero German Patricia - Gutiérrez Valenzuela Cindy Alejandra - Lucero Acuña Jesús Armando - Zavala Rivera Paul
Universidad Veracruzana	UV-CA-156 - Inmunología y biología molecular aplicada	<ul style="list-style-type: none"> • Inmunología y biología molecular 	<ul style="list-style-type: none"> • Guapillo Vargas Mario Roberto Bernabé • López Monteón Aracely • Méndez Bolaina Enrique • Ramos Ligonio Ángel

Anexo 3

Origen de las instituciones de afiliación de autores con publicaciones sobre vacunas biotecnológicas en la WoS entre 1980 y 2020

México	1082	Filipinas	16	Rumania	5	Benín	1
EE.UU.	360	Portugal	16	Arabia Saudita	5	Bosnia	1
Brasil	77	Sudáfrica	15	Vietnam	5	Botsuana	1
Reino Unido	72	Cuba	14	Nigeria	4	El Salvador	1

España	67	Noruega	14	Croacia	3	Estonia	1
Francia	62	Corea del Sur	14	República Dominicana	3	Etiopía	1
Alemania	56	Taiwán	14	Líbano	3	Gambia	1
Canadá	51	Uruguay	14	Mozambique	3	Hungría	1
Australia	50	República Checa	13	Nueva Zelanda	3	Indonesia	1
Colombia	48	Guatemala	11	Nicaragua	3	Iraq	1
Argentina	38	Israel	11	Pakistán	3	Jamaica	1
Bélgica	37	Escocia	10	Serbia	3	Kirguistán	1
Países Bajos	36	Venezuela	10	Eslovenia	3	Malí	1
Italia	27	Costa Rica	8	Argelia	2	Mauritania	1
China	27	Egipto	7	Bolivia	2	Mongolia	1
Suecia	27	Islandia	7	Ghana	2	Nepal	1
Finlandia	23	Malasia	7	Jordán	2	Irlanda del Norte	1
India	23	Turquía	7	Kuwait	2	Papúa Nueva Guinea	1
Suiza	22	Ecuador	6	Lituania	2	Catar	1
Chile	20	Honduras	6	Malawi	2	Ruanda	1
Polonia	20	Irán	6	Marruecos	2	Eslovaquia	1
Singapur	20	Panamá	6	Sri Lanka	2	Trinidad y Tobago	1
Tailandia	20	Paraguay	6	Tanzania	2	Túnez	1
Dinamarca	19	Rusia	6	Gales	2	Emiratos Árabes	1
Austria	18	Bangladesh	5	Albania	1	Uganda	1
Japón	18	Grecia	5	Bielorrusia	1	Ucrania	1
Perú	17						

Referencias

- ACADEMIA MEXICANA DE CIENCIAS, 2002. "Tendencias, prioridades, oportunidades y recomendaciones en los que incide la biotecnología". *Biotechnología*. Blog, disponible en : <https://www.amc.edu.mx/biotecnologia/comite/tendencias.htm>.
- AGUILAR, J.C. y RODRÍGUEZ, E.G., 2007. "Vaccine adjuvants revisited". *Vaccine*, 25 (19), pp. 3752–3762, disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0264410X07001703> [15, abril, 2020].
- ALBORNOZ, M., 1997. "La política científica y tecnológica en América Latina frente al desafío del pensamiento único". *Redes*, 4 (10), pp. 95–115, disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/907/90711303003.pdf>.
- ALBORNOZ, M., 2013. "Innovación, equidad y desarrollo latinoamericano". *Isegoría*, 0 (48), pp. 111–126, disponible en: <http://isegoria.revistas.csic.es/index.php/isegoria/article/view/813/812> [17 enero 2019].
- ÁLVAREZ, A., 1988. "De la quiebra del neoliberalismo a la necesidad de superarlo: México en los noventas". *Hacia un nuevo modelo económico*. pp. 65–77.
- AMARO ROSALES, M. y MORALES SÁNCHEZ, M.A., 2016. "Sistema sectorial de innovación biotecnológica en México: análisis y caracterización de sus principales componentes". *Redes*, 22 (42), pp. 13–40, disponible en: <http://www.unq.edu.ar/advf/documentos/589b6b8b30ca0.pdf>.
- AMARO ROSALES, M. y ROBLES BELMONT, E., 2013. "Producción de conocimiento científico y patrones de colaboración en la biotecnología mexicana". *Entreciencias. Diálogos en la sociedad del conocimiento*. 1 (2), pp. 183–195.
- Anon., 1947. *Código de Nüremberg*, disponible en: https://scholar.google.com/scholar?start=0&q=codigo+de+nuremberg&hl=es&as_sdt=0,5&lookup=0#d=gs_cit&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3A2P7cOqBtB68J%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des.
- ANUIES, 2020. Información Estadística de Educación Superior. Blog: <http://www.anui.es/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior>.
- APARICIO RODRIGO, M., 2015. "Antivacunas: un reto para el pediatra". *Pediatría Atención Primaria*, 17 (66), pp. 107–110, disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1139-76322015000300001&lng=en&nrm=iso&tlng=en [8 abril 2019].
- ARTIGAS-PALLARÉS, J., 2010. "Autismo y vacunas: ¿punto final?". *Revista de Neurología*, 50 (3), pp. 91–99, disponible en: http://www.teccim.es/Tec/Cerebro/Autismo/Imagenes/Artigas_vacunes.pdf.
- BANCO MUNDIAL, 1993. "Informe sobre el Desarrollo Mundial 1993. Invertir en salud". , disponible en: 121830WDR0SPANISH0Box35456B01PUBLIC1 [15 octubre 2017].
- BARAN, P.A., 1957. *La economía política del crecimiento*. Quinta reimpresión, 2012. México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- BBVA, 2020. "¿Qué es una 'startup'?". Blog : <https://www.bbva.com/es/que-es-una-startup/>.

- BEATTY, E.N. y ORENSANZ ESCOFET, L., 1996. "Invención e innovación: ley de patentes y tecnología en el México del siglo XIX". *Historia Mexicana*. 45 (3), pp. 567–919.
- BECERRA RAMÍREZ, M., 2020. "Farmacéuticos, propiedad intelectual y derechos humanos. En busca de un equilibrio". *Derecho Global. Estudios sobre Derecho y Justicia*, 5 (15), pp. 143–177, disponible en: <http://www.derechoglobal.cucsh.udg.mx/index.php/DG/article/view/375> [4 agosto 2020].
- BELL, M. y PAVITT, K., 1992. "Accumulating Technological Capability in Developing Countries". *The World Bank Economic Review*, 6 (suppl_1), pp. 257–281, disponible en: https://doi.org/10.1093/wber/6.suppl_1.257 [30 agosto 2019].
- BELL, M. y PAVITT, K., 1995. "The development of technological capabilities". *Trade, technology, and international competitiveness*. Washington, D. C.: Economic Development Institute of the World Bank.
- BELTRÁN, F.C., 1983. "El sistema Cartilla Nacional de Vacunación". *Salud Pública de México*, 25 (2), pp. 211–214, disponible: <http://saludpublica.mx/index.php/spm/article/view/643/630>.
- BERDASQUERA, C.D., CRUZ, M.G., and SUÁREZ, L.C., 2000. "La vacunación. Antecedentes históricos en el mundo". *Revista Cubana de Medicina General Integral*, 16 (4), pp. 375–378, disponible en: http://bvs.sld.cu/revistas/mgi/vol16_4_00/mgi12400.pdf.
- BERNAL, B.J.R., 2010. "El residuo de Solow revisado". *Revista de Economía Institucional*, 12 (23), pp. 347–361, disponible en: <https://revistas.uexternado.edu.co/index.php/ecoins/article/view/2533/2162>.
- BID, 2019a. "Cinco datos que debes saber sobre salud". *Institucional*, disponible en: <https://www.iadb.org/es/sectores/salud/marco-sectorial>.
- BID, 2019b. Política General. *Política de salud pública del banco interamericano de desarrollo*. Blog: <https://www.iadb.org/es/acerca-del-bid/politica-de-salud-publica-del-banco-interamericano-de-desarrollo%2C6222.html>.
- BISANG, R., CAMPI, M., y CESA, V., 2009. *Biotecnología y desarrollo*, Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/3650-biotecnologia-desarrollo>.
- BM, 2018a. "Guía en línea para los indicadores del Desarrollo Mundial: una nueva manera de encontrar datos sobre el desarrollo". *Datos de libre acceso*. Blog: <https://blogs.worldbank.org/opendata/es/guia-en-linea-para-los-indicadores-del-desarrollo-mundial-una-nueva-manera-de-encontrar-datos-sobre-el-desarrollo>.
- BM, 2018b. Gasto en investigación y desarrollo (% del PIB). Blog: <https://datos.bancomundial.org/indicador/GB.XPD.RSDV.GD.ZS>.
- BM, 2019a. "Salud". *Panorama General*. Blog: <https://www.bancomundial.org/es/topic/health/overview>.
- BM, 2019b. Banco de datos. Indicadores de desarrollo mundial. Blog: <https://databank.bancomundial.org/data/reports.aspx?source=2&Topic=8>.
- BOLÍVAR ZAPATA, F.G., 2001. *La biotecnología moderna para el desarrollo de México en el XXI: retos y oportunidades*. México, D.F.: SEP-CONACYT.
- BOLÍVAR, Z.F.G., 2003. "Marco jurídico en bioseguridad". *Recomendaciones para el desarrollo y consolidación de la biotecnología en México*. México, D.F.: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). pp. 91–132.

- BUD, R., 1991. "Biotechnology in the Twentieth Century". *Social Studies of Science*, 21 (3), pp. 415–457, disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/030631291021003002> [14 noviembre 2017].
- CABALLERO, H.R., 2008. "Sistema Nacional de Innovación y complejidad: una evaluación crítica". *Economía informa*, 352, pp. 104–126, disponible en: <http://132.248.45.5/publicaciones/econinforma/pdfs/352/07renecaballero.pdf>.
- CABRERO, M.E., 2017. *Diálogo de Alto Nivel por el Programa de Estímulos a la Innovación (PEI)*, disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/comunicacion/comunicados-prensa/371-a-propuesta-del-conacyt-los-sectores-publico-y-privado-acuerdan-una-alianza-en-favor-de-la-innovacion>.
- CAMACHO GÉRVAS, J., SEGURA BENEDICTO, A., and GARCÍA-ONIEVA ARTAZCOZ, M., 2010. "Ética y vacunas: más allá del acto clínico". *Bioética y Pediatría: proyectos de vida plena*. Madrid: Sociedad de Pediatría de Madrid y Castilla La Mancha, pp. 229–236, disponible en: <http://www.herbogeminis.com/IMG/pdf/gervas3.pdf>.
- CARRILLO, A.M., 2017. "Vaccine production, national security anxieties and the unstable state in nineteenth- and twentieth-century Mexico". C. HOLMBERG, S. BLUME and P. GREENOUGH, eds. *The politics of vaccination*, Manchester University Press, disponible en: <http://www.manchesterhive.com/view/9781526110916/9781526110916.00013.xml> [9 noviembre 2019].
- CARVAJAL VILLANUEVA, O.R., 2005. "Futuro de las fusiones en la industria farmacéutica mundial". *Revista NEGOTIUM*, 1 (1), pp. 12–34, disponible en: <http://ojs.revistanegotium.org.ve/index.php/negotium/article/view/7>.
- CASAS, G.R., 1983. "Ciencia y tecnología en México. Antecedentes y características actuales". *Revista Mexicana de Sociología*, 45 (4), pp. 1323–1334, disponible en: http://www.jstor.org/stable/3540339?seq=1#page_scan_tab_contents.
- CASAS, G.R., CHAUVET, M., and RODRÍGUEZ, C.D., eds., 1992. *La biotecnología y sus repercusiones socioeconómicas y políticas*, México: Departamento de Sociología, UAM-Azc.: Instituto de Investigaciones Económicas, UNAM: Instituto de Investigaciones Sociales, UNAM, disponible en: <http://ru.iiiec.unam.mx/1449/1/LaBiotecnologiaRepercusiones.pdf>.
- CASAS, G.R., CORONA, J.M., JASO, M., y VERA-CRUZ, A.O., 2013. *Construyendo el diálogo entre los actores del sistema de ciencia, tecnología e innovación*, Foro Consultivo Científico y Tecnológico, A.C. México: Editorial Gustavo Casasola S.A. de C.V., disponible en: http://www.foroconsultivo.org.mx/libros_editados/libro_conmemorativo_foro.pdf.
- CASAS, G.R. y DETTMER, J.A., 2007. "Construyendo un paradigma de política científica tecnológica para México". *Educación, ciencia, tecnología y competitividad*. México, D.F: Miguel Ángel Porrúa, Universidad Nacional Autónoma de México.
- CASAS GUERRERO, R., 2004. "Conocimiento, tecnología desarrollo en América Latina". *Revista Mexicana de Sociología*, 66, p. 255, disponible en: <https://www.jstor.org/stable/3541453?origin=crossref> [13 abril 2018].

- CASTRO ORELLANA, R., 2009. "Capitalismo y medicina. Los usos políticos de la salud". *Ciencia Política*, (7), pp. 7–25: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/cienciapol/article/view/16250/17142>.
- CCC, 2017. *Inversión privada para ciencia, tecnología e innovación*, disponible en: <https://www.ccciencias.mx/pdf/fichas/2.ficha.pdf>.
- CEDRSSA, 2009. *Legislación y políticas públicas de biotecnología en México*, disponible en: http://biblioteca.diputados.gob.mx/janium/bv/cedrssa/lxi/legpol_pub_biomex.pdf.
- COMITÉ CIENTÍFICO DE LA SOCIEDAD INTERNACIONAL DE BIOÉTICA, 2000. *Declaración de Bioética de Gijón*.
- CONACYT, 1990. *Programa Nacional de Ciencia y Modernización Tecnológica 1990-1994*, disponible en: <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/1990-programa-nacional-de-ciencia-y-modernizacion-tecnologica/596-programa-nacional-de-ciencia-y-modernizacion-tecnologica-1990/file>.
- CONACYT, 2014. *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2014-2018*, disponible en: http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5354626&fecha=30/07/2014 [30 mayo 2017].
- CONACYT, 2015. *Grupo de Trabajo de Biología Sintética*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/comunicacion/inf-grupos-trabajo/gt-bios>.
- CONACYT, 2019a. "Normatividad vigente en materia de bioseguridad". *CIBIOGEM*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/normatividad/normatividad-vigente-en-materia-de-bioseguridad>.
- CONACYT, 2019b. ¿Qué es el Conacyt? Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt>.
- CONACYT, 2019c. "Fondos y apoyos". *Programa de Estímulos a la Innovación*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>.
- CONACYT, 2019d. "Fondos Sectoriales". *Fondos y apoyos*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-sectoriales>.
- CONACYT, 2019e. "Fondos Mixtos". *Fondos y apoyos*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-mixtos>.
- CONACYT, 2019f. "Fondos Institucionales". *Fondos y apoyos*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/fondos-institucionales>.
- CONACYT, 2019g. "Apoyos infraestructura". *Fondos y apoyos*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/apoyos-infraestructura>.
- CONACYT, 2019h. *Padrón de beneficiarios 2009-2017. Programa de Estímulos a la Innovación*, Ciudad de México. Institucional, disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/programa-de-estimulos-a-la-innovacion>.
- CONACYT, 2019i. "Estímulo Fiscal a la Investigación y Desarrollo de Tecnología". *Fondos y apoyos*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/fondos-y-apoyos/estimulo-fiscal-a-la-investigacion-y-desarrollo-de-tecnologia-efidt>.

- CONACYT, 2019j. *Sistema Nacional de Investigadores*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-nacional-de-investigadores>.
- CONACYT, 2020a. *Informe de actividades del CONACYT enero-marzo 2020*, México, disponible en: CONACYT. Gubernamental: <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/transparencia/informes-conacyt/informe-de-actividades/4920-inf-actividades-2020-ene-mar/file>.
- CONACYT, 2020b. *Sistema de Centros de Investigación*. Blog: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/sistema-de-centros-de-investigacion>.
- CONACYT, 2020c. *Programa de Laboratorios Nacionales CONACYT*. , disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/desarrollo-cientifico/programa-de-laboratorios-nacionales>.
- CONACYT, 2020d. "Programa de Redes Temáticas Conacyt". *Coordinado por la Dirección de Redes e Infraestructura Científica*. Blog : <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/desarrollo-cientifico/redes-tematicas-conacyt>.
- CONEVAL, 2018. "Principales hallazgos de la Evaluación de la Política de Desarrollo Social 2018". *Evaluación de Programas Sociales. Informes de Evaluación de la Política Social en México*. Blog : https://www.coneval.org.mx/Evaluacion/IEPSM/IEPSM/Paginas/IEPDS_2018_principales_hallazgos.aspx.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA [CONACYT], 2002. *Programa Especial de Ciencia y Tecnología 2001-2006* , disponible en: <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2001-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia/621-programa-especial-de-ciencia-y-tecnologia-2001-2006/file>.
- CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA [CONACYT], 2008. *Programa Especial de Ciencia, Tecnología e Innovación 2008-2012* , disponible en: <http://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2008-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion/622-peciti-2008-2012/file>.
- CORONA, C.Ma. del C., 2011. *Historia de la biotecnología y sus aplicaciones*. disponible en: https://portalacademico.cch.unam.mx/materiales/prof/matdidac/sitpro/exp/bio/bio1/GuiaBioI/ANEXO_5Ing.pdf [10 Oct 2017].
- CORONA-TREVIÑO, L. y INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL, eds., 1999. *Teorías económicas de la tecnología*. 1. ed. México: Ed. Jus.
- CORREA, C.M., 1988. "Patentes industria farmacéutica y biotecnología". *Business Week*, 172, pp. 1–5, disponible en: <https://www.azc.uam.mx/publicaciones/alegatos/pdfs/18/20-04.pdf>.
- CORREA, C.M., 1989. "Biotecnología: el surgimiento de la industria y el control de la innovación". *Comercio Exterior*, 39 (11), pp. 987–999, disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/180/6/RCE6.pdf>.
- COUCH, M.D, R.B., 2004. "Nasal Vaccination, Escherichia coli Enterotoxin, and Bell's Palsy". *New England Journal of Medicine*. 350 (9), pp. 860–861.

- DARTAYETE, C., 2017. Las patentes farmacéuticas y el acceso a medicamentos. *La diaria*, 24 July.
- DE FREITAS DRUMOND, J.G., 2012. "Ética, bioética y los desafíos del siglo XXI". *Revista Brasileira de Estudos Políticos*, (69), pp. 65–79, disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5085201>.
- DE MARTÍNEZ, C.C.A., 2008. "Ética y Biotecnología: más preguntas que respuestas". *Revista Colombiana de Biotecnología*, 10 (2), pp. 133–141, disponible en: <http://132.248.9.34/hevila/Revistacolombianadebiotecnologia/2008/vol10/no2/15.pdf>.
- DE MICHELI-SERRA, A., 2002. "Doscientos años de la vacunación antivariolosa". *Gaceta Médica de México*, 138 (1), pp. 83–87, disponible en: https://www.anmm.org.mx/bgmm/1864_2007/2002-138-1-83-87.pdf.
- DEBER, R.B., 2003. Health Care Reform: Lessons From Canada. *American Journal of Public Health*, 93 (1), pp. 20–24, disponible en: <http://ajph.aphapublications.org/doi/10.2105/AJPH.93.1.20> [31 Jul 2020].
- DEL VALLE, R., 2014. "Sobre medicalización, orígenes, causas y consecuencias. Parte II". *Revista del Hospital Italiano*, 34 (3), pp. 108–112, disponible en: https://www.hospitalitaliano.org.ar/multimedia/archivos/noticias_attachs/47/documentos/18096_HI3-3-La%20Valle-A.pdf.
- DERRY, T.K. y WILLIAMS, T.I., 1998. *Historia de la tecnología: desde la antigüedad hasta 1750*. Siglo Veintiuno de España Editores S.A.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 1994. *Tratado de Libre Comercio de América del Norte*.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2005. *Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados*, SEGOB, disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/normatividad/vigente/LBOGM.pdf>.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2008. *Reglamento de la Ley de Bioseguridad de Organismos Genéticamente Modificados*, SEGOB, disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/normatividad/vigente/LBOGM.pdf>.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2013. *Ley General de Salud*, SEGOB, disponible en: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/index.php/normatividad/normatividad-vigente-en-materia-de-bioseguridad?showall=&start=4>.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2020a. *Ley Federal de Protección a la Propiedad Industrial*.
- DIARIO OFICIAL DE LA FEDERACIÓN, 2020b. *Tratado entre los Estados Unidos Mexicanos, los Estados Unidos de América y Canadá*.
- DÍAZ FERNÁNDEZ, U. y RODRÍGUEZ FERREIRO, A., 2016. "Aplicaciones de la biotecnología en el desarrollo de la medicina personalizada". *Mesisan*, 20 (5), pp. 678–687, disponible en: <http://scielo.sld.cu/pdf/san/v20n5/san13205.pdf>.
- DUTRÉNIT, G., 1994. "Sistema Nacional de Innovación". *Comercio Exterior*, 44 (8), pp. 666–668, disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/362/1/RCE1.pdf>.
- DUTRÉNIT, G., VERA-CRUZ, A.O., y ARIAS NAVARRO, A., 2003. "Diferencias en el perfil de acumulación de capacidades tecnológicas en tres empresas mexicanas".

- Trimestre económico*, 70 (1), pp. 109–165, disponible en: https://www.researchgate.net/publication/46548316_Diferencias_en_el_perfil_de_a_cumulacion_de_capacidades_tecnologicas_en_tres_empresas_Mexicanas.
- ECSALUD, 2018. *La industria farmacéutica gasta más de 85.000 millones en fusiones y adquisiciones*. Blog : https://www.consalud.es/ecsalud/economia/la-industria-farmaceutica-gasta-mas-de-85-000-millones-en-fusiones-y-adquisiciones_52864_102.html.
- EL PAÍS, 2010. "Glaxo ocultó los riesgos de su fármaco estrella contra la diabetes". , disponible en: https://elpais.com/diario/2010/07/14/sociedad/1279058405_850215.html.
- EL UNIVERSAL, 2019. "La crisis de salud más retardadora. El foco por un brote de sarampión en NY". , disponible en: <https://www.eluniversal.com.mx/mundo/la-crisis-de-salud-mas-retadora-el-foco-por-un-brote-de-sarampion-en-ny>.
- ESCOBAR RODRÍGUEZ, A.M., 2008. *NBIC - Nano, Bio, Info, Cogno. La convergencia de tecnologías*. La Habana: Observatorio Cubano de Ciencia y Tecnología. Academia de Ciencias de Cuba.
- ESPINOSA COLOMA, S., 2016. "Código Ingenios y el sistema de patentes: ¿una propuesta innovadora o la receta hacia un estancamiento tecnológico?". *Iuris dictio*. pp. 21–49.
- ESTEVA, G., 1996. Desarrollo. *Diccionario del desarrollo. Una guía del conocimiento como poder* , disponible en: PRATEC: <https://www.uv.mx/mie/files/2012/10/SESION-6-Sachs-Diccionario-Del-Desarrollo.pdf>.
- ETIENNE, C.F., 2018. "Cuba hacia la Salud Universal". *Revista Panamericana de Salud Pública*, pp. 1–2, disponible en: <http://iris.paho.org/xmlui/handle/123456789/34908> [23 julio 2020].
- ETZKOWITZ, H., 2002. "La triple hélice: universidad, industria y gobierno. Implicaciones para las políticas y la evaluación". *Science Policy Institute* , disponible en: <http://www.sivu.edu.mx/portal/noticias/2009/VinculacionLatriplehelice.pdf> [24 Jun 2017].
- ETZKOWITZ, H. y 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), pp. 109–123, disponible en: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733399000554> [20 febrero 2018].
- FAO, 2000. *Biotecnología y seguridad alimentaria*. , disponible en: <http://www.fao.org/worldfoodsummit/spanish/fsheets/biotech.pdf>.
- FCCYT, 2018. BioS: "Biología sintética". *Nota INCyTU*, (21), pp. 1–6, disponible en: http://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_18-021.pdf.
- FDA, 2020. "La FDA solicita el retiro del mercado de todos los productos hechos a base de ranitidina (Zantac)". *FDA News Release*. Blog : <https://www.fda.gov/news-events/press-announcements/la-fda-solicita-el-retiro-del-mercado-de-todos-los-productos-hechos-base-de-ranitidina-zantac>.
- FEO ACEVEDO, C. y FEO ISTÚRIZ, O., 2013. "Impacto de los medios de comunicación en la salud pública". *Saúde em Debate*, 37, pp. 84–95, disponible en: https://www.scielosp.org/scielo.php?pid=S0103-11042013000100010&script=sci_arttext&tlng=es.

- FLORES, U.M. y CÁRDENAS, M.R., 2017. "Desarrollo de capacidades científicas en estudios medioambientales en América Latina y el Caribe". *Opción*, 33 (83), pp. 278–304, disponible en: redalyc.org/pdf/310/31053772010.pdf.
- FOLADORI, G., 2003. "La privatización de la salud. El caso de la industria farmacéutica". *Revista Internacional de Sociología*. (34), pp. 33–64.
- FOLADORI, G., 2005. "El reto de las enfermedades infecciosas al paradigma biomédico". *Nómadas. Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas*, 12 (2), disponible en: <http://www.autores.redalyc.org:9081/articulo.oa?id=18153295009>.
- FOLADORI, G., 2012. "Riesgos a la salud y al medio ambiente en las políticas de nanotecnología en América Latina". *Sociológica*, 27 (77), pp. 143–180, disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/soc/v27n77/v27n77a5.pdf>.
- FOLADORI, G., 2014. "Ciencia ficticia". *Estudios críticos del desarrollo*. 4 (7), pp. 41–66.
- FOLADORI, G., 2015. "Políticas de ciencia y tecnología: ¿beneficios para quién?". *Revista Iberoamericana de Ciencia, Tecnología y Sociedad*, 10, pp. 55–56, disponible en: https://www.researchgate.net/publication/317602567_Politicas_de_ciencia_y_tecnologia_beneficios_para_quien.
- FOLADORI, G., 2016. "Las armas de la crítica ciencia, tecnología y sociedad: más allá del mito desarrollista". *Hemisferio Izquierdo. Debates Estratégicos*. pp. 1–9.
- FOLADORI, G. y INVERNIZZI, N., 2009. "Las nanotecnologías en la crisis mundial". *POLIS. Revista Latinoamericana*. (23).
- FOLADORI, G. and MELAZZI, G., 2016. *La economía de la sociedad capitalista y sus crisis recurrentes*. Séptima edición. Universidad Autónoma de Zacatecas.
- FORBES, 2019. "Mosquitos genéticamente modificados se multiplican en Brasil". ; disponible en: <https://www.forbes.com.mx/mosquitos-geneticamente-modificados-se-multiplican-en-brasil/>.
- FORO CONSULTIVO CIENTÍFICO Y TECNOLÓGICO A.C., 2012. *Glosario de términos relacionados con la innovación*. , disponible en: http://www.foroconsultivo.org.mx/asuntos/temas_innovacion/glosario_innovacion.pdf.
- FOUCAULT, M., 1977. "Historia de la medicalización". *Educación médica y salud*, 11 (1), pp. 1–25, disponible en: https://s3.amazonaws.com/academia.edu.documents/43400441/Foucault_1977_historia_de_la_medicalizacion.pdf?AWSAccessKeyId=AKIAIWOWYYGZ2Y53UL3A&Expires=1510771115&Signature=dU3I%2B2O7Jyn6t9ikfdie9PxtO28%3D&response-content-disposition=inline%3B%20filename%3DHistoria_de_la_medicalizacion.pdf [2 noviembre 2017].
- FRED SIMON, D. y CAO, C., 2009. *China's emerging technological edge assessing the role of high-end talent*. eBook (Kindle Edition).
- G., F.M. y P., K.U., 2006. "The founding father of biotechnology: Károly (Karl) Ereky". *International Journal of Horticultural Science*, 12 (1), disponible: <https://ojs.lib.unideb.hu/IJHS/article/view/615> [1 Jan 2019].
- GALINDO, F.E. y GÁLVEZ, M.A., 2001. "Percepción pública de la biotecnología". *Biotecnología moderna para el desarrollo del siglo XXI: retos y oportunidades para México*. México: SEP-CONACYT. pp. 119–138.
- GALLAGA SOLÓRZANO, J.C., LARA MÉNDEZ, M. de la L., VALENCIA PÉREZ-REA, L.R., y CHAVOYA Y TEUTLI, A., 2016. "Historia de la regulación farmacéutica".

- Revista Cofepris*, disponible en: <http://revistacofepris.salud.gob.mx/n/no5/tramites.html>.
- GARIBAY, J., 2017. "Estas son las 10 empresas farmacéuticas más destacadas en el mundo". *Mercado2.0*, disponible en: <https://www.merca20.com/estas-son-las-10-empresas-farmaceuticas-mas-destacadas-en-el-mundo/>.
- GARRO, G., 2016. "Biología sintética. Una nueva era genómica más allá de los transgénicos". *Investiga TEC*. pp. 3–4.
- GEREFFI, G., HUMPHREY, J., y STURGEON, T., 2005. "The governance of global value chains". *Review of International Political Economy*, 12 (1), pp. 78–104, disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09692290500049805> [21 Jul 2020].
- GÓMEZ MARCO, J.J. y ZAMANILLO ROJO, I., 2005. "Grupos anti-vacunas. Análisis de sus causas y consecuencias. Situación en España y resto de países". *Revista Clínica Electrónica en Atención Primaria*, (8), pp. 1–6, disponible en: https://ddd.uab.cat/pub/rceap/rceap_a2005m11n8/rceap_a2005m11n8a8.pdf.
- GÓMEZ, T., 2009. México desoyó a la OMS. *El Universal.mx*, disponible en: <http://archivo.eluniversal.com.mx/nacion/167693.html> [5 agosto 2018].
- GÓMEZ, Y.J., 2005. "Política científica colombiana y bibliometría: usos". *Nómadas*. (22), pp. 241–254.
- GRUPO ETC, 2000. "La 'Generación 3' de la biotecnología". *RAFI Communiqué*, (67), pp. 1–26, disponible en: http://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/295/01/biotech_gen_3_spanish.pdf.
- GRUPO ETC, 2003. "La estrategia de las tecnologías convergentes: la teoría del pequeño BANG. Una mezcla de Bits, Átomos, Neuronas y Genes hace que el mundo gire... ¡para Estados Unidos!", disponible en: <https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/168/01/commbangspanish.pdf>.
- GRUPO ETC, 2007. *Ingeniería genética extrema. Una introducción a la biología sintética*, disponible en: https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/publication/603/03/synbiospanish_lite.pdf.
- GRUPO ETC, 2012. "Biología sintética: 10 puntos clave". Blog: <https://www.etcgroup.org/es/content/biología-sintética-10-puntos-clave>.
- GRUPO ETC, 2019a. *Biología sintética*, disponible en: <http://www.etcgroup.org/es/content/biolog%C3%ADa-sint%C3%A9tica?language=en>.
- GRUPO ETC, 2019b. "Impulsores genéticos: malas influencias. Sesgo y conflictos de interés en el informe de la UICN sobre biología sintética e impulsores genéticos", pp. 1–16, disponible en: https://www.etcgroup.org/sites/www.etcgroup.org/files/files/etc-uicn_driving-influence_spa_fin.pdf.
- GRUPO ETC, 2020. *Biotecnología*. Blog : <https://www.etcgroup.org/es/content/biotecnolog%C3%ADa>.
- GUAJARDO S., G., 2006. "La tecnología, siglos XVI al XX". *América Latina en la historia económica*, (25), pp. 173–178, disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1405-22532006000100008&script=sci_arttext&lng=pt.

- GUERRA, G.Y.M., 2007. "Ética, Bioética y Legislación en biotecnología. Legislaciones éticas internacionales. Más allá del código de Nüremberg". *Revista Latinoamericana de la Bioética*, 8 (13), pp. 80–87, disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1270/127012923007.pdf>.
- GUERRERO CASTRO, R.A. y GUTIÉRREZ R., R., 2011. "Los ADPIC y el TLCAN en la industria farmacéutica mexicana: un análisis TradeCAN". *Nueva Época*. (35), pp. 93–129.
- GUTMAN, G.E. y LAVARELLO, P., 2010. "Desarrollo Reciente de la Moderna Biotecnología en el Sector de Salud Humana", disponible en: <http://www.ceur-conicet.gov.ar/archivos/publicaciones/MBenSHDocumento2.pdf> [16 octubre 2017].
- GUZMÁN, A. y PLUVIA ZÚÑIGA, M., 2004. "Patentes en la industria farmacéutica de México: los efectos en la investigación, el desarrollo y en la innovación". *Comercio Exterior*. 54 (12), pp. 1104–1121.
- HENDERSON, J., DICKEN, P., HESS, M., COE, N., and YEUNG, H.W.-C., 2002. "Global production networks and the analysis of economic development". *Review of International Political Economy*, 9 (3), pp. 436–464, disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09692290210150842> [21 julio 2020].
- HERRERA, R.I., 2014. "Atender los PROBLEMAS REALES del país, sustento de la investigación científica". *Reflexiones sobre ciencia, tecnología e innovación en los albores del siglo XXI*. México: Editorial Gustavo Casasola S.A. de C.V. pp. 1–389.
- HOLM, S., LISS, P.-E., y NORHEIM, O.F., 1999. "Access to Health Care in the Scandinavian Countries: Ethical Aspects". *Health Care Analysis*, 7 (4), pp. 321–330, disponible en: <http://link.springer.com/10.1023/A:1009460010196> [31 Jul 2020].
- HURTADO OCHOTERENA, C.A. y MATÍAS JUAN, N.A., 2005. "Historia de la vacunación en México". *Revista Mexicana de Puericultura y Pediatría*, 13 (74): https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400136/Hurtado_-_Historia_de_la_vacunaci_n_en_M_xico.pdf.
- IÑESTA, A. y OTEO, L.A., 2011. "La industria farmacéutica y la sostenibilidad de los sistemas de salud en países desarrollados y América Latina". *Ciência & saúde coletiva*, 16, pp. 2713–27124, disponible en: <https://www.scielosp.org/article/csc/2011.v16n6/2713-2724/es/>.
- INSP, 2020. *Retorno del sarampión*. Blo: <https://www.insp.mx/avisos/5303-retorno-del-sarampion.html>.
- INSTITUTO DE SALUD CARLOS III [ISCIH], 2020. *Informe del grupo de análisis científico de Coronavirus del ISCIH (GACC-ISCIH)*, disponible en: conprueba.es/sites/default/files/noticias/2020-05/LA%20RESPUESTA%20INMUNITARIA%20FRENTE%20AL%20CORONAVIRUS%20SARS-COV-2_0.pdf.
- JARA, M., 2007. *Traficantes de salud: cómo nos venden medicamentos peligrosos y juegan con la enfermedad*. 2a. ed. Barcelona: Icaria Editorial.
- JIMÉNEZ BARRERA, Y., 2018. "Aproximación crítica a las principales teorías del cambio tecnológico". *Problemas del Desarrollo*. 193 (49), pp. 171–192.
- JIMÉNEZ, Z.L.A., 2015. "Breve historia de la inmunología en México". *Revista Ciencia*, 66, pp. 1–10, disponible en: https://www.amc.edu.mx/revistaciencia/images/revista/66_2/PDF/BreveHistoria.pdf

- KATZ, A., 2008. "La nueva salud global. La revisión de lógica, historia y principios". *Medicina Social*. 3 (1), pp. 1–4.
- KATZ, C., 1996. "La concepción marxista del cambio tecnológico". *Revista Buenos Aires. Pensamiento económico*. 1, pp. 155–180.
- KATZ, C., 2011. "Ideología, estados y clases". *Bajo el imperio del capital*, pp. 251–266, disponible en: <http://metabase.uaem.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/2990/Katz.pdf?sequence=1>.
- KAUFMANN, S.H.E., 2007. "The contribution of immunology to the rational design of novel antibacterial vaccines". *Nature Reviews Microbiology*, 5 (7), pp. 491–504, disponible en: <http://www.nature.com/articles/nrmicro1688> [15 abril 2020].
- LARA, R.F., 1998. "Actores y procesos en la innovación tecnológica". *Tecnología: concepto, problemas y perspectivas*. México, D.F.: Siglo Veintiuno Editores S.A. pp. 5–21.
- LATINCOMM, 2015. "México: país pionero en la producción local de vacunas. Historia y avances de la vacunación en México", pp. 1–8, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400159/Varios_-_Historia_y_avances_de_la_vacunaci_n_en_M_xico.pdf.
- LAURELL, A.C., 2007. "Health System Reform in Mexico: A Critical Review". *International Journal of Health Services*, 37 (3), pp. 515–535, disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.2190/0133-572V-564N-4831> [31 julio 2020].
- LEVINS, R., 2000. "Is capitalism a disease? The crisis in U.S. public health". *Monthly Review*. 52 (4), pp. 8–33.
- LEWIS, A., 1957. Teoría del desarrollo económico. *Trimestre económico*. 24 (96), pp. 454–467.
- LEWIS, P. y GLASER, C.A., 2005. "Encephalitis". *Pediatrics in Review*, 26 (10), pp. 353–363, disponible en: <http://pedsinreview.aappublications.org/lookup/doi/10.1542/pir.26-10-353> [1 junio 2020].
- LEWONTIN, R. y LEVINS, R., 1996. "El regreso de las viejas enfermedades y el nacimiento de las nuevas". *Ecología política*, pp. 107–110, disponible en: https://www.jstor.org/stable/20742901?seq=1#page_scan_tab_contents.
- LEYDESDORFF, L. y ETZKOWITZ, H., 1998. "The Triple Helix as a model for innovation studies". *Science and Public Policy*, disponible en: <https://academic.oup.com/spp/article/25/3/195/1630936/The-Triple-Helix-as-a-model-for-innovation-studies> [3 abril 2018].
- LÓPEZ G., M. del S., MEJÍA C., J.C., and SCHMAL S., R., 2006. "Un acercamiento al concepto de la transferencia de tecnología en las universidades y sus diferentes manifestaciones". *Panorama Socioeconómico*, 24 (32), pp. 70–81: <https://www.redalyc.org/pdf/399/39903208.pdf>.
- LÓPEZ, M., 2004. *Vacunas de nueva generación: informe de vigilancia tecnológica*. Madrid: Genoma España.
- LUNDEVALL, B.-Å. y JOHNSON, B., 1994. "Sistemas nacionales de innovación y aprendizaje institucional". *Comercio Exterior*, 44 (8), pp. 695–704, disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/362/4/RCE4.pdf>.

- MADURGA SANZ, M. y ABAJO IGLESIAS, FJ., 2005. "Farmacovigilancia de las vacunas: cómo identificar nuevos riesgos". *Revista Pediatría de Atención Primaria*, 7 (4), pp. 75–91, disponible en: <http://archivos.pap.es/files/1116-495-pdf/520.pdf>.
- MANTEROLA, A.C., BODINO, J.A., SPAGNUOLO, de G.A., y LÓPEZ, E., 1990. *Presente y futuro de las inmunizaciones*. Organización Panamericana de la Salud.
- MARTÍNEZ, M.A., 2013. "Introducción a la Biotecnología y generalidades sobre los cultivos celulares". *Biotecnología aplicada a la medicina*. Madrid: Ediciones Díaz de los Santos. pp. 141–153.
- MARTÍNEZ-MATEO, P., BUSTOS-FONSECA, M.J., y GIL-DÍAZ, M.J., 2012. "Actualización en vacunas. Teoría, realidades y mitos (I)". *SEMERGEN - Medicina de Familia*, 38 (3), pp. 160–166, disponible: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1138359311004497> [11 abril 2019].
- MARX, K. y ENGELS, F., 1989. "Burgueses e proletarios". *Manifiesto del Partido Comunista*. pp. 1–25.
- MASSIEU, T.Y., CHAUVET, M., CASTAÑEDA, Z.Y., BARAJAS, O.R.E., y GONZÁLEZ, A.R.L., 2000. "Consecuencias de la biotecnología en México: el caso de los cultivos transgénicos". *Sociológica*, 15 (44), pp. 133–159, disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305026537006>.
- MAURIZ, J.L., ORDOÑEZ, R., PRIETO DOMÍNGUEZ, N., y GONZÁLEZ GALLEGO, J., 2014. "Biotecnología y salud humana". *Ambiociencias*, (12), pp. 12–33, disponible en: <http://revpubli.unileon.es/index.php/ambioc/article/viewFile/4944/3807>.
- MCNEIL, D., 2019. "Las empresas farmacéuticas se enfocan en los pobres tras décadas de ignorarlos". *The New York Times*, disponible en: <https://www.nytimes.com/es/2019/06/27/espanol/farmaceuticas-paises-pobres.html>.
- MÉDICOS SIN FRONTERAS, 2001. "Desequilibrio mortal. La crisis de la Investigación y Desarrollo de medicamentos para enfermedades olvidadas".
- MÉDICOS SIN FRONTERAS, 2018. "Cuando una promesa incumplida juega con la vida de miles de personas con VIH". Blog: <https://www.msf.es/actualidad/sudafrica/cuando-una-promesa-incumplida-juega-la-vida-miles-personas-vih>.
- MEDLINEPLUS, 2020. "Esclerosis lateral amiotrófica". Blog: <https://medlineplus.gov/spanish/amyotrophilateralsclerosis.html>.
- MÉNDEZ CRUZ, J.R., 2014. XIX Congreso Internacional de Contaduría y Administración e Informática. , Presented at the Las patentes en México a 20 años de la adopción del acuerdo sobre aspectos de propiedad Intelectual relacionados con el comercio (ADPIC), México, D.F.: UNAM. pp. 1–18, disponible en: <http://congreso.investiga.fca.unam.mx/docs/xix/docs/2.10.pdf>.
- MÉNDEZ, D.E., 2011. "Conacyt, promotor de una masa crítica nacional"., Ciencia y Desarrollo, CONACYT: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/250/articulos/entrevista.html>.
- MÉNDEZ DELGADO, A.V., 2017. *Los spillover de conocimientos, la I&D y las innovaciones en México*, Centro de Investigaciones Socioeconómicas, Coordinación General de Estudios de Posgrado e Investigación, Universidad Autónoma de Coahuila. Saltillo, Coahuila, disponible en: <https://www.cise.uadec.mx/downloads/LibrosElectronicos/LibroSpillovers.pdf>.
- MERTON SOLOW, R., 2018. *La teoría del crecimiento. Una exposición.*, Ciudad de México: FCE - Fondo de Cultura Económica, disponible en:

- <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5513316> [4 Aug 2020].
- MISIÓN DE MÉXICO, 2008. "México elimina obstáculos a la importación de medicamentos". *Lazos Comerciales*. 6 (8), pp. 1–4.
- MORALES, A. y VILLAVICENCIO, D., 2015. Convergencia de capacidades científicas y tecnológicas en el sector de la biotecnología farmacéutica en México. *Convergencia del conocimiento para el beneficio de la sociedad: tendencias, perspectivas, debates y desafíos*. México: Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). p. 304.
- MORALES SÁNCHEZ, M.A., AMARO ROSALES, M., y STEZANO, F., 2019. "Tendencias tecnológicas en el sector biotecnológico: análisis de patentes en México y Estados Unidos". *Economía Teoría y Práctica. Nueva Época*, 27 (51), pp. 17–44, disponible en: <https://economiatyp.uam.mx/index.php/ETYP/article/view/403/504>.
- MORELL SIXTO, M.E., MARTÍNEZ GONZÁLEZ, C., y QUINTANA GÓMEZ, J.L., 2009. "Disease mongering, el lucrativo negocio de la promoción de enfermedades". *Revista Pediatría de Atención Primaria*, 11 (43), pp. 491–512, disponible en: http://scielo.isciii.es/pdf/pap/v11n43/11_colaboraciones.pdf [2 julio 2019].
- MORICE, A. y ÁVILA, A.M., 2009. "Mitos, creencias y realidades sobre vacunas". *Acta Pediátrica Costarricense*, 20 (2), pp. 60–64, disponible en: <http://repositorio.binasss.sa.cr/repositorio/bitstream/handle/20.500.11764/391/a01v20n2.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- MORONES RAMÍREZ, R., 2009. "Biotecnología: una oportunidad para México". *Ciencia y Desarrollo*, 35 (235), pp. 8–17, disponible en: <http://www.cyd.conacyt.gob.mx/235/Articulos/Biotecnologia/Biotecnologia1.html>.
- MORRI, F., 2004. "Patentes y medicamentos: la batalla de los países en desarrollo". *Revista de Estudios Internacionales*, 37 (145), pp. 123–137, disponible en: <https://revistaei.uchile.cl/index.php/REI/article/view/14585>.
- MUÑOZ, M.S., 2011. "Salud y desarrollo en el contexto latinoamericano". *Revista Cubana de Salud Pública*, 37 (2), pp. 167–174, disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-34662011000200012.
- MURPHY, M.D., T.V., GARGIULLO, P.M., MASSOUDI, M.S., NELSON, B.S., D.B., JUMAAN, A.O., OKORO, M.S., C.A., ZANARDI, L.R., SETIA, S., FAIR, E., LEBARON, C.W., WHARTON, M., y LIVINGOOD, J.R., 2001. "Intussusception among infants given an oral rotavirus vaccine". *The New England Journal of Medicine*. 344 (8), pp. 564–572.
- NAVARRO, V., 1998. "Concepto actual de la salud pública". *Salud Pública*. Ciudad de México: Mc Grax Hill. pp. 49–54.
- NAVARRO, V., 2008. "¿Qué es una política nacional de salud?". *CELA, Centro de Estudios Latinoamericanos Justo Arosemena*, pp. 39–59, disponible en: <http://biblioteca.clacso.edu.ar/Panama/cela/20120717092358/quees.pdf>.
- NÚÑEZ, J.J., 1999. *La ciencia y la tecnología como procesos sociales. Lo que la educación científica no debería olvidar*. La Habana: Feliz Varela.
- OCDE, 2005. "A framework for biotechnology statistics", disponible en: <http://www.oecd.org/sti/sci-tech/34935605.pdf>.
- OCDE, 2009. "The Bioeconomy to 2030. Designing a Policy Agenda. Main Findings and Policy Conclusions", disponible en: <https://www.oecd.org/futures/long-termtechnologicalsocietalchallenges/42837897.pdf>.

- OCDE, 2014. *Perspectivas de la OCDE sobre ciencia, tecnología e industria 2014 (Versión abreviada)*, OECD Publishing, disponible en: http://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/perspectivas-de-la-ocde-sobre-ciencia-tecnologia-e-industria-2014-version-abreviada_9789264226487-es [16 Jul 2017].
- OCDE, 2015. *Frascati Manual 2015: Guidelines for Collecting and Reporting Data on Research and Experimental Development*, OECD, disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/frascati-manual-2015_9789264239012-en [3 agosto 2020].
- OCDE, 2016. *OECD Science, Technology and Innovation Outlook 2016*, OECD, disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-innovation-outlook-2016_sti_in_outlook-2016-en [7 junio 2020].
- OLIVA, S.P.F., JAFIF, C.M., AKKAD, S.I., y WALISZEWSKI, Z.E., 2013. "Equidad, salud pública y genómica: el reto jurídico, social y biotecnológico en México". *Gaceta Médica de México*, 149 (5), pp. 562–568, disponible en: <http://www.medigraphic.com/pdfs/gaceta/gm-2013/gm135m.pdf>.
- OMC, 1994. *Acuerdo sobre los aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio*.
- OMC, 2019. "¿Qué es la Organización Mundial del Comercio?". *Entender la OMC: Información básica*. Blog: https://www.wto.org/spanish/thewto_s/whatis_s/tif_s/fact1_s.htm.
- OMPI, 1967. "Convenio que establece la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual". *Conocimiento. Tratados administrados por la OMPI*. Blog: https://www.wipo.int/treaties/es/text.jsp?file_id=283997.
- OMPI, 2018a. *Patentes*. Blog: <http://www.wipo.int/patents/es/> [5 septiembre 2018].
- OMPI, 2018b. "Derecho de patentes". *Biotecnología*. Blog: <http://www.wipo.int/patent-law/es/developments/biotechnology.html> [6 septiembre 2018].
- OMPI, 2019a. "La OMPI por dentro". *¿Qué es la OMPI?*. Blog: <https://www.wipo.int/about-wipo/es/>.
- OMPI, 2019b. "Reseña del Convenio de París para la protección de la Propiedad Industrial 1883". *Institucional*. Blog: https://www.wipo.int/treaties/es/ip/paris/summary_paris.html.
- OMPI, 2019c. "Tratados y partes contratantes". Blog: https://www.wipo.int/treaties/es/remarks.jsp?cnty_id=275C.
- OMPI, CORNELL UNIVERSITY, y INSEAD, 2018. *The Global Innovation Index 2018: Energizing the World with Innovation.*, Geneva: World Intellectual Property Organization: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=5982620> [5 agosto 2020].
- OMS, 2008. "La revolución de la atención primaria en Cuba cumple 30 años". *Boletín de la Organización Mundial de la Salud. Recopilación de artículos*, 86, pp. 321–416, disponible: <https://www.who.int/bulletin/volumes/86/5/08-030508/es/>.
- OMS, 2014a. "Preguntas frecuentes sobre alimentos genéticamente modificados". *Seguridad alimenticia*. Blog: https://www.who.int/foodsafety/areas_work/food-technology/faq-genetically-modified-food/en/.
- OMS, 2014b. *Constitución de la Organización Mundial de la Salud*, 48a. edición: <http://apps.who.int/gb/bd/PDF/bd48/basic-documents-48th-edition-sp.pdf?ua=1#page=7>.

- OMS, 2018a. "10 amenazas a la salud mundial en 2018". Blog: <https://www.who.int/features/2018/10-threats-global-health/es/>.
- OMS, 2018b. "10 datos sobre la inmunización". Blog: <https://www.who.int/features/factfiles/immunization/es/>.
- OMS, 2019a. "Diez cuestiones de salud que la OMS abordará este año". *Emergencias sanitarias*. Blog: <https://www.who.int/es/emergencias/ten-threats-to-global-health-in-2019>.
- OMS, 2019b. "Preguntas y respuestas sobre inmunización y seguridad de las vacunas". Blog: <https://www.who.int/features/qa/84/es/>.
- OMS, 2020a. "Adyuvantes". Blog: https://www.who.int/vaccine_safety/committee/topics/adjuvants/es/.
- OMS, 2020b. "¿Qué son los trastornos neurológicos?". Blog: <https://www.who.int/features/qa/55/es/>.
- OPS, 2016. *Enfermedades infecciosas desatendidas en las Américas: Historias de éxito e innovación para llegar a los más necesitados*. Washington, D.C.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, 2015. "Memoria del Secretario General sobre la labor de la Organización": <https://undocs.org/es/A/70/1>.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS, 2017. "Objetivos de desarrollo sostenible. 17 objetivos para transformar nuestro mundo". Blog: <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/health/> [18 Sep 2017].
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA, 1997. *Declaración Universal sobre el Genoma Humano y los Derechos Humanos*, disponible en: http://portal.unesco.org/es/ev.php-URL_ID=13177&URL_DO=DO_TOPIC&URL_SECTION=201.html.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA, 2018. "Sistemas Nacionales de Innovación". *SPIN, Información sobre sistemas de CTI en Iberoamérica*. Blog: https://www.ovtt.org/sistemas_nacionales_de_inovacion.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL, 2019. "¿Qué condiciones deben cumplirse para obtener la protección por patente?". *Patentes*. Blog: https://www.wipo.int/patents/es/faq_patents.html.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2017. "Objetivos de Desarrollo del Milenio". Blog: http://www.who.int/topics/millennium_development_goals/about/es/.
- ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD [PAHO], 2017. "Programa Regional de Bioética". Blog: http://www.paho.org/hq/index.php?option=com_content&view=article&id=5582%3Aregional-program-on-bioethics&lang=es.
- ORUETA SÁNCHEZ, R., SANTOS RODRÍGUEZ, C., GONZÁLEZ HIDALGO, E., FAGUNDO BECERRA, E.Ma., ALEJANDRE LÁZARO, G., CARMONA DE LA MORENA, J., RODRÍGUEZ ALCALÁ, J., DEL CAMPO DEL CAMPO, J.Ma., DÍEZ ANDRÉS, M., VELLÉS FERNÁNDEZ, N., y BUTRÓN GÓMEZ, T., 2011. "Medicalización de la vida (I)". *Revista Clínica de Medicina de Familia*, 4 (2), pp. 150–161, disponible en: http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1699-695X2011000200011.

- OTEO, J.A., 2012. "Meningitis aséptica aguda: muchas causas a considerar". *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 30 (7), pp. 359–360: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0213005X12002005> [1 junio 2020].
- PÁEZ MORENO, R., 2011. "La investigación de la industria farmacéutica: ¿condicionada por los intereses del mercado?". *Acta bioethica*, 17 (2), pp. 237–246, disponible: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-569X2011000200010&lng=en&nrm=iso&tlng=en [12 Mar 2019].
- PALOMO, L., 2005. "Fundamentos de la globalización y sus efectos sobre la salud". *Globalización y salud*. Madrid, pp. 41–66.
- PÉREZ, A.J., 2004. "Economía y biotecnología". *Persona y bioética*, 8 (23), pp. 55–66, disponible en: http://conricyt3.summon.serialssolutions.com/2.0.0/link/0/eLvHCXMwfVxNSwMxEB2qIAo9VFS0tbB4b_O5u8lRiqUHD6UteCzJgEPbkXWw_4of4V_rPIYUSr0moQJCWEy8-a9AWB0iicHPoETgRV1eU55ZYV_VlRaanJmODHCFUFKvFqyxYavX8plD35Yzu8pIG316y5K-lKJV6s6lXmrHYo9BUMjiX9rUXf1KEDsSEiBZCIPfHYmAvNv-puF-AiH0IKmLuA0qM1o7MpXq7c_X818AGddjHgJPVtfwTBJh7-_VNZmftfGVhEK9wPX8DB_2swWk2Bk2wEx29nzIyapFlfmhN1AXwUWe91EtZu5hQw76Wzh77WsHNdEKm210MoKJYzFjt3B6IjF4dHZEVwk1kmAD-7htPn4tGM492fwDrdt2B5Qy3z7.
- PETROVSKY, N. y AGUILAR, J.C., 2004. "Vaccine adjuvants: Current state and future trends". *Immunology and Cell Biology*, 82 (5), pp. 488–496, disponible en: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.0818-9641.2004.01272.x> [15 abril 2020].
- PLATA, P.O.J., 2010. "Poli: ¿vocación técnica o tecnológica?", 6 (11), pp. 9–17.
- PNUD, 2019a. "Desarrollo Humano". Blog: http://www.mx.undp.org/content/mexico/es/home/ourwork/povertyreduction/in_dep th/desarrollo-humano.html.
- PNUD, 2019b. "Salud y Bienestar". Blog: <https://www.undp.org/content/undp/es/home/sustainable-development-goals/goal-3-good-health-and-well-being.html>.
- PNUMA, 2015. *Submission of Information on Synthetic Biology. Notification*, SCBD/BS/CG/MPM/DA/84279: <https://www.conacyt.gob.mx/cibiogem/images/cibiogem/comunicacion/Inf-grupos-trabajo/BioS/ntf-2015-013-synthetic-biology-en.pdf>.
- PNUMA, 2016. *Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica*, CBD/COP/DEC/XIII/17, disponible en: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-17-es.pdf>.
- PNUMA, 2017. *Report of the ad hoc technical expert group on synthetic biology, Convenio sobre la Diversidad Biológica*, disponible en: <https://www.cbd.int/doc/c/aa10/9160/6c3fcedf265dbec686715016/synbio-ahteg-2017-01-03-en.pdf>.
- PONCE DE LEÓN-ROSALES, S., VELÁZQUEZ-FERNÁNDEZ, R., BUGARÍN-GONZÁLEZ, J., GARCÍA BAÑUELOS, P., LÓPEZ-SOTELO, A., JIMÉNEZ-CORONA, M.-E., PADILLA-CATALÁN, F., y CERVANTES-ROSALES, R., 2011. "Domestic influenza vaccine production in Mexico: A state-owned and a multinational company working together for public health". pp. A26–A28.

- POSSANI, L.D., 2003. "The past, present, and future of biotechnology in Mexico". *Nature biotechnology*, 21 (5), pp. 582–583: <https://www.nature.com/articles/nbt0503-582>.
- PRODEP, 2020. "Cuerpos académicos reconocidos por PRODEP". Blog: <http://promep.sep.gob.mx/CA1/index.php?RELOAD=0>.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL AMBIENTE, 2019. "Convenio sobre la Diversidad Biológica". *Lista de Partes*. Blog: <https://www.cbd.int/information/parties.shtml#tab=3>.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO AMBIENTE, 2016. *Decisión adoptada por la Conferencia de las Partes en el Convenio sobre la Diversidad Biológica XIII/17. Biología Sintética*, disponible en: <https://www.cbd.int/doc/decisions/cop-13/cop-13-dec-17-es>.
- PROMÉXICO, 2013. *Industria Farmacéutica*. México, D.F.: Secretaria de Economía.
- PROMÉXICO, 2014. *Biotecnología*, disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/75579/05052014_DS_Biotecnologia_ES.pdf.
- PROMÉXICO, 2015. *Diagnóstico Sectorial. Farmacéutico*, Ciudad de México, disponible en: <http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/farmaceutico.pdf>.
- PROMÉXICO, 2016. *Diagnostico sectorial. Biotecnología*, disponible en: <http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/biotecnologia.pdf> [19 Sep 2017].
- PROMÉXICO, 2017. *Panorama actual de la industria biotecnológica en México*, disponible en: <https://www.promexico.mx/documentos/sectores/presentacion-biotecnologia.pdf>.
- QUESADA PEÑATE, I, JÁUREGUI HAZA, U.J., WILHELM, A.-M., y DELMAS, H., 2009. "Contaminación de las aguas con productos farmacéuticos". *Revista CENIC. Ciencias Biológicas*, 40 (3), pp. 173–179, disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/1812/181221662005.pdf>.
- RÄIKKÄ, J., 2009. "The ethical and political evaluation of biotechnology strategies". *Medicine, Health Care and Philosophy*, 12 (3), pp. 273–280, disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11019-008-9178-3> [31 Oct 2017].
- RAMOS ALVARÍO, C., 2006. "Los residuos en la industria farmacéutica". *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 37 (1), pp. 25–31, disponible en: <https://revista.cnic.edu.cu/revistaCB/sites/default/files/articulos/CB-2006-1-025-031.pdf>.
- RED IBEROAMERICANA DE INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, 2019. "Recursos financieros I+D". *México 2008-2017*. Blog: http://dev.rieyt.org/ui/v3/bycountry.html?country=MX&subfamily=CTI_IMD&start_year=2008&end_year=2017#chartitle.
- REGUERO, M.T. y CARDOZO, C., 1988. "Biotecnología y salud". *Revista Colombiana de Biotecnología*, 1 (2), pp. 15–26, disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/30024>.
- RETANA, G.Ó.G., 2009. "La institucionalización de la investigación científica en México breve cronología". *Ciencias*, 94 (5), pp. 46–51, disponible en: <http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/94/05/La%20institucionalizacion%20de%20la%20investigacion%20cientifica%20en%20Mexico.pdf>.

- REYES, J., MORALES, A., y AMARO ROSALES, M., 2015. "Efectos de la legislación de la propiedad industrial en el patentamiento. El caso de la biotecnología agrícola y farmacéutica en México". *Convergencia de conocimiento para beneficio de la sociedad. Tendencias, perspectivas, debates y desafíos*. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt).
- RIBEIRO, S., 2009. "El negocio de las vacunas: caso VPH". *Grupo ETC*, disponible en: <https://www.etcgroup.org/es/content/el-negocio-de-las-vacunas-caso-vph>.
- RIBEIRO, S., 2016. "El sueño de la razón, los transgénicos y la biología sintética". *DesInformémonos. Periodismo de abajo*, disponible en: <https://desinformemonos.org/el-sueno-de-la-razon-los-transgenicos-y-la-biologia-sintetica1/>.
- RIBEIRO, S., 2019. "Huachicoleo científico". *La Jornada*, disponible en: <https://www.jornada.com.mx/2019/02/02/opinion/019a1eco>.
- RINCÓN, C.E.L., 2004. "El sistema nacional de innovación: Un análisis teórico-conceptual". *Opción*. 20 (45), pp. 94–117.
- RODRÍGUEZ, A.J.S. y HALL, R.T., 2012. *Bioética de la biotecnología*. Editorial Fontamara.
- RODRÍGUEZ YUNTA, E., 2007. "Ética de la investigación en modelos animales de enfermedades humanas". *Acta bioethica*, 13 (1), disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-569X2007000100004&lng=en&nrm=iso&tlng=en [11 Apr 2019].
- RODRÍGUEZ-ÁLVAREZ, M. y PONCE DE LEÓN-ROSALES, S., 2010. "Las vacunas contra influenza, un desafío cíclico". *Revista Digital Universitaria*, 11 (4), pp. 1–9, disponible en: <http://www.revista.unam.mx/vol.11/num4/art38/art38.pdf>.
- ROJAS SORIANO, R., 1999. *Capitalismo y enfermedad*. 1. reimpr. México, D.F: Plaza y Valdés.
- ROQUÉ, M.V., MACPHERSON, I., y GONZALVO, C.M., 2015. "El principio de precaución y los límites en biomedicina". *Persona y Bioética*, 19 (1), pp. 129–139, disponible en: <http://personaybioetica.unisabana.edu.co/index.php/personaybioetica/article/view/4870/pdf> [13 Nov 2017].
- SÁBATO, J.A., 1997. "Bases para un régimen de tecnología". *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal*, 4 (10), pp. 119–137, disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/907/90711303004.pdf>.
- SÁBATO, J.A., 2011a. *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia.*, Buenos Aires: D - Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación Productiva, disponible en: <http://public.ebib.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4499312> [14 febrero 2018].
- SÁBATO, J.A., 2011b. "Empresas y fábricas de tecnología". *El pensamiento latinoamericano en la problemática ciencia-tecnología-desarrollo-dependencia*. Buenos Aires: Ediciones Biblioteca Nacional. pp. 309–342.
- SÁBATO, J.A. y BOTANA, N., 1993. "La ciencia y la tecnología en el desarrollo futuro de América". *Arbor*, 146 (575), pp. 1–11, disponible en: <https://b8ab862a-a-62cb3a1a-sites.googlegroups.com/site/seminvestelrodeo/assignments/ensayoargumentativo10jty10jm/La%20Ciencia%20y%20la%20Tecnologia%20en%20el%20Desarrollo%20futuro%20de%20A.L..pdf?attachauth=ANoY7crIaNeZB->

BaZaz9WtUX2SaSWgQKEST9c5onASvk7TWf0hp3iNz7JMIqjZqZO9brys978vvo
AQGShCWb1pPGj5Nf0GGUKifmsc4PGepuRLS4VSsmkde71R-
3kAH3XkaRS1G6bbw2iN4d0I3N3CRsfINddD4N-EJbt351Q9Clf-
KSt7gMV6pvq4e1LxTVtpiQezmRjAhgrcGZarKUc0b5Toj7UzoFZKbuHQILR1Gd
YL87qkOLTStoVLPSJJ6dsGUn1Lke52k65mIQp0zHAzmVCniFjfuKU1rO0myiFZ
cTLe08QFXLDQUfNBEUoSE6BUx49wQkFSutOZriWVavz1NYYGzw74rR5w%
3D%3D&attredirects=0.

- SALOMÓN, A., 2006. "La industria farmacéutica en México". *Comercio Exterior*. 56 (3), pp. 219–231.
- SALOMÓN, G.A., 2009. "La biotecnología en México". *Comercio Exterior*, 59 (10), pp. 777–783, disponible en: http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/131/1/777_Biotecnologia.pdf.
- SÁNCHEZ MONTERO, J.M., 2011. "Biotecnología: presente y futuro". *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*. 77 (4), pp. 52–59.
- SANTOS, J.I., 2002. El Programa Nacional de Vacunación: orgullo de México. *Revista de la Facultad de Medicina. Universidad Nacional Autónoma de México*, 45 (3), pp. 1–13, disponible en: <http://www.revistas.unam.mx/index.php/rfm/article/view/12660>.
- SANTOS, J.I., 2014. "La vacunación en México en el marco de las 'décadas de las vacunas': logros y desafíos". *Gaceta Médica de México*. 150, pp. 180–8.
- SANTOS PRECIADO, J.I., 1999. "Nuevo esquema de vacunación en México". *Salud Pública de México*, 41 (1), pp. 1–2, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/spm/1999.v41n1/01-01/es>.
- SCHUMPETER, J.A., 1957. *Teoría del desenvolvimiento económico*. México-Buenos Aires: Fondo de Cultura Económica.
- SCHUMPETER, J.A., 1983. *Capitalismo, socialismo y democracia*. España: Ediciones Orbis, S.A.
- SECRETARÍA DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO, 2014. *Cuenta Pública 2014. Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México, S.A. de C.V.*
- SECRETARÍA DE SALUD, 2015a. "Esquema de vacunación". *Conoce las vacunas y cuándo aplicarlas*. Blog, disponible en: <https://www.gob.mx/salud/articulos/esquema-de-vacunacion>.
- SECRETARÍA DE SALUD, 2015b. "Vacuna BCG contra la tuberculosis". Blog: <https://www.gob.mx/salud/articulos/vacuna-bcg-contra-la-tuberculosis>.
- SECRETARÍA DE SALUD, 2015c. "Vacuna Pentavalente Acelular". Blog: <https://www.gob.mx/salud/articulos/vacuna-pentavalente-acelular>.
- SECRETARÍA DE SALUD, 2015d. "Vacuna Antirrotavirus". *Descripción de las ventajas de la vacuna que previene de infecciones ocasionadas por Rotavirus*. Blog: <https://www.gob.mx/salud/articulos/vacuna-antirrotavirus>.
- SECRETARÍA DE SALUD, 2015e. "Vacuna contra Neumococo". *La vacuna contra Neumococo protege contra la bacteria causante de distintas enfermedades*. Blog: <https://www.gob.mx/salud/articulos/vacuna-contra-neumococo>.
- SECRETARÍA DE SALUD, 2018. *Libro blanco. 'Asociación público privada Birmex-Sanofi (Azteca vacunas-suministrador de vacunas)'*. Ciudad de México: Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México. Institucional.
- SECRETARÍA DE SALUD, 2019a. BIRMEX. Blog: <https://www.birmex.gob.mx/index.html>.

- SECRETARÍA DE SALUD, 2019b. "Comercialización". *Laboratorios de Biológicos y Reactivos de México S.A. de C.V.* Blog: <http://www.birmex.gob.mx/comercializacion.html>.
- SECRETARIA DE SALUD and COMITÉ DE ÉTICA EN INVESTIGACIÓN, 2019. *Informe Belmont*. Blog: http://www.innsz.mx/opencms/contenido/investigacion/comiteEtica/informe_belmont.html.
- SECRETARÍA DE SALUD, SUBSECRETARÍA DE PREVENCIÓN Y PROMOCIÓN DE LA SALUD, y CENTRO NACIONAL PARA LA SALUD DE INFANCIA Y LA ADOLESCENCIA, 2015. *Programa de vacunación universal y semanas nacionales de salud. Lineamientos generales 2015*, disponible en: http://www.censia.salud.gob.mx/contenidos/descargas/vacunas/Lineamientos_PVU ySNS2015.PDF.
- SEN, A., 2000a. "El desarrollo como libertad". *Gaceta Ecológica*, (55), pp. 14–20, disponible en: <https://www.redalyc.org/html/539/53905501/>.
- SEN, A., 2000b. "La salud en el desarrollo". *Boletín de la Organización Mundial de la Salud. Recopilación de artículos*, (2), pp. 16–21, disponible en: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/57579/1/RA_2000_2_16-21_spa.pdf.
- SILVERMAN, Ed., 2004. "The 5 most pressing ethical issues in biotech medicine". *Biotechnology healthcare*, 1 (6), pp. 41–45, disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3570985/>.
- ŚLEDZIK, K., 2013. "Schumpeter's View on Innovation and Entrepreneurship". *SSRN Electronic Journal*, disponible en: <http://www.ssrn.com/abstract=2257783> [30 mayo 2020].
- SOLIMANO, A., 2013. *Migraciones, capital y circulación de talentos en la era global*. 1. ed. México, D.F: Fondo de Cultura Económica.
- SOLLEIRO, J.L. y BRISEÑO, A., 2003. "Propiedad intelectual II: el caso de la biotecnología en México". *Interciencia*, 28 (2), pp. 90–94, disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/339/33907705.pdf> [8 noviembre 2017].
- SS, 2020. *Casos de sarampión en México: casos confirmados al 17/07/2020, 20:00 Horas*. México: Secretaría de Salud. Gubernamental.
- STEZANO, F., 2019a. "Industrial and Innovation Policies in the Mexican Biotechnology Sector". *Journal of Industry, Competition and Trade*, 19 (1), pp. 123–140, disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s10842-018-0281-8> [29 julio 2020].
- STEZANO, P.F.A., 2019b. "Políticas de ciencia, tecnología e innovación para la industria farma-biotecnológica mexicana". *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*. México, D.F.: Facultad de Economía, Universidad Autónoma de México. pp. 171–210.
- TAMEZ, S., EIBENSCHUTZ, C., ZAFRA, X., RAMÍREZ, R., y UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA, 2016. "La articulación público-privada en la producción de vacunas en México". *Saúde em Debate*, 40 (111), pp. 9–21, disponible en: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-11042016000400009&lng=es&tlng=es [27 Sep 2018].
- TAPIAS GARCÍA, H., 2005. "Capacidades tecnológicas: elemento estratégico de la competitividad". *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (33), pp. 97–119, disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/430/43003309.pdf>.

- TEALDI, J.C., 2015. "Problemas bioéticos en la investigación de nuevas vacunas: ¿obedecen a razones de salud pública?". *Salud Colectiva. Buenos Aires*, 11 (1), pp. 87–97, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/scol/2015.v11n1/87-97/es>.
- THIEMAN, W.J. y PALLADINO, M.A., 2010a. *Introducción a la biotecnología*. Madrid: Pearson.
- THIEMAN, W.J. y PALLADINO, M.A., 2010b. *Introducción a la biotecnología*. Madrid, España: Pearson.
- THIEMAN, W.J. y PALLADINO, M.A., 2010c. "Biotecnología microbiana". *Introducción a la biotecnología*. Madrid, España: Pearson. pp. 1–406.
- TOBAR, F., DRAKE, I., y MARTICH, E., 2012. "Alternativas para la adopción de políticas centradas en el acceso a medicamentos". *Revista Panamericana de Salud Pública*, 32 (6), pp. 457–463, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2012.v32n6/457-463/es>.
- TORRES, V.A., 2006. "Aprendizaje y construcción de capacidades tecnológicas". *Journal of Technology. Management & Innovation*. 1 (5), pp. 12–24.
- TREJO, E.S. (Coord)., 2010. "La biotecnología en México: situación de la biotecnología en el mundo y situación de la biotecnología en México y su factibilidad de desarrollo", disponible en: http://www.gbcbiotech.com/en/imagenes/biotecnologia/33BioTecnologia_mexico.pdf [10 enero 2017].
- TRILLA, A., 2015. "Vacunación sistemática: convencidos, indecisos y radicales". *Medicina Clínica*, 145 (4), pp. 160–162, disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025775315003814> [8 abril 2019].
- UGALDE, A. y HOMEDES, N., 2009. "Medicamentos para lucrar. La transformación de la industria farmacéutica". *Salud Colectiva. Buenos Aires*, 5 (3), pp. 305–322, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/scol/2009.v5n3/305-322/es>.
- UGALDE, A. y HOMEDES, N., 2011. "Cuatro palabras sobre ensayos clínicos: ciencia/negocio, riesgo/ beneficio". *Salud Colectiva. Buenos Aires*, 7 (2), pp. 135–148, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/scol/2011.v7n2/135-148/es>.
- UNAM, 2019. "Desarrollarán UNAM y AMELAF nuevos medicamentos". *Boletín UNAM-DGCS-153, Ciudad Universitaria*. Blog: http://www.dgcs.unam.mx/boletin/bdboletin/2019_153.html.
- UNESCO, 2020. "Invertir en ciencia, tecnología e innovación". Blog: <https://es.unesco.org/themes/invertir-ciencia-tecnologia-e-innovacion>.
- UNICEF, 2002. *Vacunas para la infancia: peligra el abastecimiento*, Nueva York: Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia, disponible en: https://www.unicef.org/spanish/publications/files/pub_vaccines_sp.pdf.
- UNICEF, 2019. "1.5 millones de niños mueren cada año a causa de enfermedades prevenibles con una vacuna". *UNICEF para cada niño*. Blog: <https://www.unicef.es/prensa/15-millones-de-ninos-mueren-cada-ano-causa-de-enfermedades-prevenibles-con-una-vacuna>.
- UNIVERSIDAD DE SALAMANCA, 2018. *Diccionario médico-biológico, histórico y etimológico*. Blog: <https://dicciomed.usal.es/palabra/biotecnologia> [15 noviembre 2018].
- VALCÁRCEL, M., 2006. "Génesis y evolución del concepto y enfoques sobre el desarrollo", disponible en: <https://www.uv.mx/mie/files/2012/10/SESSION-6-Marcel-Valcarcel-Desarrollo-Sesion6.pdf>.

- VALENCIA G, P.L., 2007. "Algunos apuntes históricos sobre el proceso salud-enfermedad". *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 25 (2), pp. 13–20, disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v25n2/v25n2a03.pdf>.
- VALLONE, F., 2009. "Pequeños grandes clientes. La publicidad de sucedáneos de la leche materna en dos revistas pediátricas de Argentina entre 1977 y 2006". *Salud Colectiva. Buenos Aires*, 5 (1), pp. 87–105, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/scol/2009.v5n1/87-105/es>.
- VELASCO, S.M., 1999. "Los Comités de Bioética". *Revista CONAMED*. 4 (12), pp. 17–21.
- VELTMAYER, H., 2010. "Una sinopsis de la idea de desarrollo". *Migración y Desarrollo*, (14), pp. 9–34, disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/myd/v8n14/v8n14a2.pdf>.
- VERA-CRUZ, A.O., CASAS, G.R., DE FUENTES, C., y TORRES, A., 2013. "Estrategias y Gobernanza del Sistema Nacional de Innovación Mexicano: Retos para un desarrollo incluyente". , Presented at the Sistemas Nacionales de Innovación y Políticas de CTI para un Desarrollo Inclusivo y Sustentable, Rio de Janeiro, Brasil. pp. 35–64, disponible en: http://www.redesist.ie.ufrj.br/lalics/papers/91_Estrategias_y_Gobernanza_del_Sistema_Nacional_de_Innovacion_Mexicano_Retos_para_un_desarrollo_incluyente.pdf.
- VERA-CRUZ, A.O., VILLA SOTO, J.C., y VILLEGAS DE GANTE, A., 1994. "El Subsistema Nacional de Innovación en Biotecnología: el papel de los centros de investigación en México". *Comercio Exterior*, 44 (8), pp. 705–715, disponible en: <http://revistas.bancomext.gob.mx/rce/magazines/362/5/RCE5.pdf>.
- VESSURI, H., CRUCES, J.M., RIBEIRO, R.J., y RAMÍREZ, J.L., 2008. "El futuro nos alcanza: mutaciones previsibles de la ciencia y la tecnología". *Tendencias de la educación superior en América Latina y el Caribe*. Caracas, Venezuela. pp. 1–36.
- VILLAVICENCIO, C.D.H., 2019. "Los desafíos de las políticas de innovación en México". *La biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*. México, D.F.: Facultad de Economía, Universidad Autónoma de México. pp. 53–92.
- WAGSTAFF, A., 2002. "Pobreza y desigualdades en el sector de la salud". *Revista Panamericana de Salud Pública*, 11, pp. 316–326, disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/rpsp/2002.v11n5-6/316-326/es>.
- WESTPHAL, L.E., KIM, L., y DAHLMAN, C.J., 1984. "Reflections on The Republic of Korea's Acquisition of Technological Capability". , Washington, D.C. pp. 1–62., disponible en: <https://documents.worldbank.org/en/publication/documents-reports/documentdetail/771951468273590388/reflections-on-koreas-acquisition-of-technological-capability>.
- YEUNG, H.W., 2014. "Governing the market in a globalizing era: Developmental states, global production networks and inter-firm dynamics in East Asia". *Review of International Political Economy*, 21 (1), pp. 70–101, disponible en: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/09692290.2012.756415> [21 julio 2020].
- ZÁYAGO LAU, E., 2011. "Clúster nanotecnológico en Nuevo León, México". *Reflexiones de pertinencia social*. pp. 319–333.
- ZIKA, E., PAPATRYFON, I., WOLF, O., GÓMEZ-BARBERO, M., STEIN, A.J., KATRIN-BOCK, A., y INSTITUTE FOR PROSPECTIVE TECHNOLOGICAL STUDIES, 2007. *Consequences, opportunities and challenges of modern*

biotechnology for Europe, Seville: Joint Research Centre, disponible en:
https://ec.europa.eu/jrc/sites/jrcsh/files/jrc_reference_report_200704_biotech.pdf.