

**Idónea Comunicación de Resultados:
“Una caracterización desde los sistemas
sociotécnicos de la biotecnología aplicada a la
salud en México”**

Luis Enrique Jiménez Vega

Asesores:
José Miguel Natera Marín
Daniel Hugo Villavicencio Carbajal

Maestría en Economía, Gestión y Políticas de
Innovación

Contenido

1. Introducción.....	1
2. Marco Teórico.....	4
2.1. Régimen Sociotécnico.....	5
2.1.1. Régimen tecnológico.....	6
2.1.2. Régimen político.....	7
2.1.3. Régimen sociocultural.....	8
2.1.4. Usuario y mercado.....	9
2.2. El régimen de nicho.....	10
2.3. Paisaje sociotécnico.....	11
2.4. Instituciones.....	12
3. Metodología.....	15
3.1. Análisis documental.....	16
3.2. La salud desde el enfoque sociotécnico.....	18
3.3. Las dimensiones de análisis.....	20
3.3.1. El paisaje socio técnico.....	20
3.3.2. Régimen sociotécnico.....	21
3.3.3. El régimen del nicho.....	23
4. Paisaje Sociotécnico.....	24
4.1. Salud y demografía.....	24
4.2. Valores socioculturales.....	26
4.3. Infraestructura.....	27
4.4. Investigación y Desarrollo nacional.....	31
4.5. Organismos Internacionales relacionados con biotecnología.....	34
4.5. Acuerdos y convenios internacionales sobre propiedad intelectual relacionados con la biotecnología.....	35
5. Régimen Sociotécnico.....	37
5.1. Leyes, Políticas Públicas y Regulación.....	37
5.1.1. Leyes mexicanas.....	38
5.1.2. Ley de Ciencia y Tecnología.....	39
5.1.3. Ley de Institutos Nacionales de Salud.....	39
5.1.4. Ley General de Salud.....	40
5.2. Políticas Públicas e Instrumentación para la investigación biotecnológica.....	41

5.3.1. Programa especial de Ciencia Tecnología e Innovación PECiTI 2014-2018	41
5.3. Producción científica de Biotecnología en salud	47
5.4.1. Centros de Investigación CONACYT con investigación de biotecnología en salud.....	47
5.3.3. Laboratorios Nacionales con estudios de biotecnología en salud.....	49
5.3.4. Instituciones de educación superior que desarrollan investigación científica y tecnológica y tienen oferta académica en biotecnología aplicada a la salud o que incorporan esta actividad en sus programas.	52
5.3.5. Institutos Nacionales que hacen investigación en biotecnología aplicada a la salud	55
5.3.6. Sistema Nacional de Investigadores (SNI)	55
5.3.7. Matrículas en programas educativos de biotecnología en salud	56
5.4. Sector privado.....	58
6. El nicho: biotecnología para la diabetes	62
7. Conclusiones	69
Bibliografía	73

Lista de gráficas

<i>Gráfica 1 Valores socioculturales sobre la tecnología en México.</i>	26
<i>Gráfica 2 Consumo de energía eléctrica en México</i>	28
<i>Gráfica 3 Penetración del internet en México</i>	29
<i>Gráfica 4 Penetración de telefonía Móvil en México</i>	30
<i>Gráfica 5 Investigación y desarrollo</i>	31
<i>Gráfica 6 Investigadores de I+D</i>	32
<i>Gráfica 7 Técnicos de I+D</i>	33
<i>Gráfica 8 Matrícula, egresados y graduados en licenciatura</i>	57
<i>Gráfica 9 Matrícula, egresados y graduados a nivel posgrado</i>	58

Lista de tablas

Table 1 Leyes de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos relacionadas con biotecnología	38
Table 2 Disposiciones sobre biotecnología en el PECiTI.....	41
Table 3 Proyectos asociados a biotecnología en salud en las Agendas Estatales de Innovación.....	44

Lista de Ilustraciones

<i>Ilustración 1 Sistema Sociotécnico</i>	15
<i>Ilustración 2 Sistema Sociotécnico de Biotecnología en Salud en México</i>	68

1. Introducción

En el contexto económico y social actual es innegable la relevancia del conocimiento y la innovación como herramientas para la competitividad económica, la biotecnología emerge como un campo notorio en esta dinámica. Según la OCDE (2005), la biotecnología abarca varias tecnologías o métodos de investigación diferentes y varios sectores o campos de aplicación. Este organismo define como *“la aplicación de ciencia y tecnología a organismos vivos y sus derivados para modificar materiales vivos y no vivos para la producción de conocimientos y productos”*.

Por la variedad de sus fuentes de conocimiento y aplicación, los ámbitos que pueden verse beneficiados por su progreso son diversos, principalmente la salud y medicina humana, alimentos y la energía y combustibles, entre otros. Este hecho coloca a la biotecnología en el foco de atención de la investigación, pues de acuerdo con la OCDE (2009) tiene alta probabilidad de ser un factor clave en el desempeño económico y el bienestar *bioeconomía*¹.

Además, cabe resaltar que más allá de su importancia intrínseca, la biotecnología también es llamativa por favorecer el progreso de otras tecnologías y sectores industriales, dado su carácter multidisciplinario y transversal, así como por su aplicación y utilidad en distintas industrias. Estas características de la biotecnología le otorgan la capacidad de abrir ventanas de oportunidad para países en vías de desarrollo y tener un gran potencial de aprovechamiento para generar procesos de convergencia económica y social con países desarrollados.

En una de sus áreas de aplicación, la salud humana, se encuentran grandes retos y oportunidades debido al esperado incremento de la población mundial de 2 mil millones de personas en los siguientes 30 años, pues la ONU estima pasar de 7.7 mil millones actualmente a 9.7 mil millones de habitantes en 2050 (Organización de las Naciones

¹ Se define Bioeconomía como la producción basada en el conocimiento y la utilización de recursos, principios y procesos biológicos, para proveer productos y servicios a todos los sectores del comercio y la industria dentro del contexto de un sistema económico adecuado para el futuro, Consejo Alemán para la bioeconomía, 2017 (Rodríguez, Mondaini, & Hitschfeld, 2017)

Unidas, 2020). Esto implica una mayor exigencia de la demanda de servicios médicos y de salud que respondan a dicha condición demográfica y mejoren la calidad de vida de la sociedad en general.

La salud humana en países de América Latina conlleva un fenómeno de inaccesibilidad debido a la relación que existe entre la calidad de salud y el desarrollo económico y social (Natera, Rojas, & Suárez, 2017). Dado que en estos países existe un escenario de alta desigualdad y exclusión, hay una gran parte de la población que no tiene acceso a este derecho básico, lo cual es una característica contextual importante para considerar a lo largo de esta investigación. Este fenómeno le agrega a la salud humana una dimensión social, además de tecnológica.

El análisis de la biotecnología (en cualquiera de sus aplicaciones) implica una dificultad metodológica al tratarse de un campo de estudio emergente. Por un lado, hay una complejidad particular debido a que cuenta con una gran variedad de disciplinas inmersas y de agentes. Por otro lado, los mecanismos de investigación son complicados o poco explícitos hasta el momento (Amaro & Morales, 2019). Dicha situación conlleva la necesidad de desprenderse del análisis tradicional sectorial y exige una aplicación particular de la teoría para entender las relaciones que se establecen dentro del mismo.

También es importante mencionar que, dentro de un escenario de sistema de producción capitalista, la salud no está desprendida de la economía en ningún aspecto. Ésta se convierte en un producto más para el consumo humano y que contiene un valor económico y de mercado (Maharajh, 2015) y esto le da el atributo de restringir el acceso.

Entonces, vale la pena plantearse que no es suficiente con entender a la innovación para la salud como una herramienta enfocada a la cura y diagnóstico de enfermedades, sino que también es indispensable contemplar el efecto de dicha innovación en la desigualdad de acceso a la salud. Es relevante entender que en México se vive una gran disparidad socioeconómica y que esto conlleva un alto grado de exclusión en este ámbito.

Resumiendo, la problemática de esta investigación gira en torno a la complejidad multidimensional y la dificultad metodológica que conlleva para el estudio de la

biotecnología, por lo que un análisis de subsistema, entendiéndolo como una parte del sistema de innovación, no basta para entender los determinantes de este campo de estudio y principalmente la dinámica de cambio del sistema, principalmente por tratarse de una actividad emergente.

Además, existen actores y factores en distintas arenas de acción determinados por el nivel de agregación, que inciden de distinta forma en la capacidad de transformación de esta tecnología. Por lo tanto, una indagación sociotécnica de la biotecnología podría ser más completa para dilucidar, más allá de los actores y las reglas del juego que están alrededor de éstos, los patrones disruptivos que se integran en la parte estable del sistema cambiando la configuración de este.

Por lo anterior, importa encontrar las reglas a nivel micro, meso y macro en las que interactúan los actores relevantes y que determinan la actuación que éstas tienen en relación con su entorno y que influyen en la composición del conjunto de agentes que tienen actividades de desarrollo biotecnológico. Lo que se busca es identificar qué constituye el sistema sociotécnico y cómo se compone su capacidad de cambio y evolución a partir de las reglas que se van definiendo en los distintos niveles de agregación.

De esta complejidad que contiene el estudio de la biotecnología se puede provocar un sesgo de políticas e incapacidad de ellas para promover procesos de desarrollo y crecimiento en el sector, que potencien a su vez las condiciones económicas del escenario donde se encuentran.

Por todo lo anterior, y en sintonía con la perspectiva multinivel, la pregunta que define a esta investigación será: ¿cuáles son los factores relevantes para caracterizar desde el enfoque sociotécnico la dinámica de innovación en la biotecnología aplicada salud en México?

El objetivo general asociado es proponer un marco analítico y metodológico basado en el enfoque sociotécnico para la caracterización de la dinámica de la innovación en la biotecnología en el área de la salud en México.

Los objetivos específicos son:

- Caracterizar las dimensiones de análisis del enfoque sociotécnico
- Identificar actores, relaciones clave y las reglas de operación a nivel micro, meso y macro que determinan la dinámica en los ámbitos económico, científico-tecnológica e institucional de la biotecnología enfocada a la salud en México
- Proponer el marco de análisis contextualizado para la biotecnología en salud en México.

2. Marco Teórico

Dentro de los autores que han abordado y desarrollado el concepto de sistema sociotécnico, se tomarán las definiciones propuestas por Emery y Trist (2006) y Geels (2004; 2007) porque permiten estudiar la coevolución de la tecnología y la sociedad como un proceso dinámico, que además está inmerso y afectado por el escenario en el que se encuentran.

Emery y Trist (2006) proponen que el sistema sociotécnico está enfocado en los aspectos sociales colectivos y los aspectos técnicos en la producción de las necesidades de la sociedad y la interrelación que estos tienen en un espacio. Dentro del sistema sociotécnico se encuentran interacciones complejas entre los humanos, la tecnología y el contexto en el que se encuentran y es sólo a través de esta interacción que es posible entender al sistema.

Geels (2004) define un sistema sociotécnico de forma general y abstracta como los vínculos entre los elementos necesarios para cumplir las funciones sociales. Plantea que el análisis debe centrarse en la forma sistemática de las acciones que involucran producción, difusión y el uso de tecnología bajo un marco institucional como regulador y coordinador de las relaciones entre los factores.

Para el análisis con enfoque sociotécnico es conveniente dividir al sistema en tres dimensiones para entender una dinámica de determinación de trayectorias tecnológicas a través de las reglas que se establecen en distintos niveles de agregación. Para ello, las dimensiones propuestas van desde lo micro, con el régimen del nicho; lo meso, con el régimen sociotécnico; y lo macro, con el régimen del paisaje (haciendo una metáfora con las características agregadas en el panorama general o contexto en el que se desenvuelve el

sistema sociotécnico). Concordando con esto, desde el enfoque sociológico se propone que los sistemas no funcionan autónomamente y son resultado de actividades humanas y que se dividen en grupos de acuerdo con ciertas características dentro de cada dimensión.

2.1. Régimen Sociotécnico

El régimen sociotécnico representa la estructura más profunda del sistema y se puede entender como una dimensión estable y dominante, determina la forma de observar y resolver los problemas sociales en su relación con la tecnología. Este concepto se apoya en el planteamiento de régimen tecnológico de Nelson y Winter (1982), donde se propone que existen rutinas compartidas en una comunidad tecnológica. Lo anterior implica que se genere una serie de patrones en el desarrollo, definidos por una forma particular de responder necesidades sociales y resolver problemas, en conjunto producen lo que se denomina trayectoria tecnológica².

Al régimen sociotécnico se le asocian también los conceptos de *path-dependence* y *lock-in*, puesto que estas rutinas cognitivas involucran un camino recorrido en cual se generan capacidades orientadas a la visión del régimen y que van marcando el camino a seguir. Sin embargo, puede existir una ceguera en el camino que ha recorrido en la trayectoria tecnológica y que provoque olvidar la acumulación de otras capacidades que son potencialmente ventajosas en un futuro.

Cartola Pérez (2010) hace un planteamiento similar, pues sostiene que un sistema de innovación contiene una parte estable que define como paradigma tecnológico. Se dice que es una parte estable del sistema porque existen formas comunes de observar y resolver los problemas concernientes a la tecnología y que se basa en principios derivados de las ciencias naturales y de tecnologías materiales.

Dentro del régimen sociotécnico, a su vez se encuentran distintas subdimensiones que representan grupos sociales diferenciados por sus características. Los grupos sociales dentro del régimen sociotécnico se representan autónomos, por un lado, pero interdependientes entre ellos, por el otro. Esta interrelación está coordinada por reglas que

² La trayectoria tecnológica está definida como el patrón de solución de problemas tradicional en el campo de un paradigma tecnológico (Dosi, 1982).

proveen estabilidad a través de guiar las percepciones y las acciones de los actores dentro del régimen. La reproducción de dichas reglas consigue que éstas sean vistas como la estructura o gramática de los sistemas.

Entonces el régimen sociotécnico se entiende como un espacio de rutinas cognitivas y reglas compartidas por diferentes grupos sociales dentro de una comunidad referida a una tecnología. Este lugar representa la estabilidad del sistema sociotécnico y en él se desenvuelven principalmente los regímenes tecnológico, político, sociocultural y el usuario y mercado.

2.1.1. Régimen tecnológico

Está definido como el conjunto de reglas o la gramática incrustadas en un complejo de prácticas de ingeniería, tecnologías de procesos de producción, características del producto, habilidades procedimientos, formas de manejar artefactos y personas relevantes, formas de definir problemas; todos ellos integrados en instituciones e infraestructuras (Geels F. , 2004)

En el régimen tecnológico se generen trayectorias que son el resultado de una acumulación de pasos en direcciones particulares dependientes de la ruta recorrida. En esta ruta, la tecnología en ninguna de sus representaciones puede trabajar por sí sola, sino a través de su involucramiento con personas y organizaciones.

En un sistema sociotécnico, las interacciones entre la tecnología y la sociedad están inmersas dentro de cualquier proceso. Esto es más claro cuando se habla del régimen tecnológico, en el que el estudio de la ciencia y la tecnología tienen únicamente sentido si están relacionados con procesos sociales (Borrás & Edler, 2014).

Lo anterior tiene una implicación de rigidez ante el cambio técnico, que Pérez aborda al introducir el concepto del cambio técnico como una entrada de nuevas prácticas al paradigma y que, al hacerse endógeno al mismo a través de relaciones entre agentes y las instituciones del sistema, influye en la adaptación y transformación del nivel “estable” del sistema, generando así nuevas trayectorias. El cambio técnico tiene que enfrentar la discriminación del régimen tecnológico

cuando éste no se encuentra dentro de su rango de visión y de las prácticas comúnmente aceptadas en el campo.

2.1.2. Régimen político

El sistema sociotécnico gira en torno a las relaciones que se generan entre los agentes y los procesos de interacción que se producen entre éstos y la tecnología. Cuando en este contexto se toma en cuenta el régimen político, bajo el supuesto de que la interacción mejora el aprovechamiento y transferencia de conocimiento creado y disponible, es pertinente hacer la siguiente pregunta: ¿cómo la política genera instrumentos selectivos para que haya más interacción entre actores?

Kuhlmann, Shapira y Smits (2010) contemplan el papel de los factores institucionales para promover u obstaculizar el desarrollo de la innovación. Destaca que cada régimen tecnológico tiene sus propias características (conocimiento, tecnología, industria/empresas, capacidades, infraestructura, R.H., organización) y estructuralmente contienen trayectorias tecnológicas y de aprendizaje, que generan un *path dependence*. De acuerdo con estas especificidades del régimen, las políticas deben responder de distintas maneras y generar aprendizajes sobre como producir el mayor impacto positivo sobre la evolución del sistema y hacer que los actores también aprendan por su cuenta.

Pensando a la política como un instrumento de incidencia en el sistema, se propone que ésta debe resolver algunos problemas sistémicos dentro del mercado y la competencia entre las empresas. No obstante, no está solo para resolver problemas, sino que tendría que procurar la creación de oportunidades para la innovación. (Chaminade & Edquist, 2010)

El régimen, en este sentido, tienen reglas específicas para cada uno de ellos y transitar de uno a otro implica aprendizaje, exploración y explotación, desarrollar nuevas capacidades y establecer nuevos y mejores vínculos. Por lo anterior, estos factores son sumamente dependientes entre sí y, a través de la interacción, se logra la evolución del sistema.

Al tratarse de un sistema complejo que trasciende más allá de las acciones sobre los mercados y la economía para promover más áreas de incidencia en los sistemas, la política tiene que actuar de manera óptima y racional en diversos ámbitos, no solo de la empresa en el mercado.

De acuerdo con lo anterior y con Edquist (2002), hay que convertir a la política de innovación en una política que cree ventanas de oportunidad para promover el cambio técnico. Si no se hace, lo único a lo que se aspira es a solucionar problemas y el aprendizaje de los actores es limitado. Por lo tanto, la política debe incidir en las distintas dimensiones del régimen sociotécnico para orientar la trayectoria del mismo hacia donde el sistema lo requiere.

De esto se puede explorar la influencia de las políticas en la trayectoria del régimen sociotécnico y en las acciones que promuevan aprendizaje en el nivel del régimen tecnológico y las que generan oportunidades a nivel del régimen de innovaciones radicales.

2.1.3. Régimen sociocultural

En esta dimensión del régimen sociotécnico, importa entender cómo es que los valores determinan la relación de la sociedad con la tecnología. Lundvall (1988) estudia la relación entre usuario y tecnología partiendo del supuesto de que las innovaciones son colisiones entre oportunidad tecnológica y necesidades de los usuarios. Para determinar esto último intervienen distintos factores socioculturales. Decir que hay una colisión entre ambos es una metáfora para mostrar que la innovación se alcanza mediante un proceso interactivo entre ellos. Lundvall plantea que existe una necesidad de la cercanía cultural entre el usuario y el productor, la cual está medida por un ambiente cultural, en el que existe un nivel de asociación entre ellos para lograr canales eficientes de información y buenos mecanismos de interacción. Para hablar de las necesidades de los usuarios, habla de un ambiente cultural que debe tener cierto nivel de asociación con el del productor para lograr canales eficientes de información y que consigan buenos mecanismos de

interacción. También propone que hay factores como los códigos de conducta, confianza y responsabilidad que son importantes para establecer.

2.1.4. Usuario y mercado

En este aspecto, por la naturaleza y el enfoque con el que se conducirá este estudio, es necesario trascender de la definición dominante de mercado de la corriente económica neoclásica por la dificultad que este tiene para entender relaciones sociales. Para ello, es relevante apreciar este concepto desde una visión sociológica que permita entender la naturaleza del mercado como un espacio social y no únicamente como un espacio de intercambio entre ofertantes y demandantes mediante el precio regulado por el subastador. (Lesourne, Orléan, & Walliser, 2006)

Para comenzar con una comparación del concepto del mercado desde las perspectivas neoclásica y sociológica. Smelser y Swerberg (1994) plantean que, a diferencia de la visión neoclásica (donde los agentes son maximizadores, racionales e individualistas, y, además, no existen relaciones sociales debido a la existencia de un *subastador* que regula los intercambios), la sociología propone que los intercambios están fuertemente influenciados por las relaciones sociales de los agentes, que facilitan, cambian o restringen las interacciones económicas (por ejemplo una amistad de largo plazo entre vendedor y comprador los orienta a intercambiar entre ellos en lugar de buscar otras opciones, aunque éstas pudiesen darles mayor utilidad). De igual manera colocan a los significados culturales como un factor que afecta las elecciones que pudiesen ser “racionales”.

Se propone que la posición en la estructura social de una persona condiciona su actividad económica y puede explicar cierto grado de reproducción de conductas (por ejemplo, para una persona que nace en un vecindario de alta delincuencia).

Dado lo anterior, para el análisis del mercado en el sistema sociotécnico, se debe entender que éste es un espacio donde existe actividad social (más allá de la competencia y el intercambio) y donde se llevan a cabo relaciones no económicas y económicas.

Apoyando esta percepción, Storr (2008) señala que el mercado se toma como un sistema de reglas o normas sociales con un patrón estable de relaciones incrustadas dentro de un contexto social más amplio; lo cual difícilmente entra en el cálculo en la perspectiva neoclásica. Además, el mercado rara vez se discute como un espacio donde se produce una acción e interacción social significativas.

2.2. El régimen de nicho

El nicho tecnológico se refiere al espacio donde se encuentran las unidades más básicas del sistema sociotécnico y es el encargado de desarrollar las innovaciones radicales dentro del mismo. Se puede identificar como la parte inestable del sistema, dada por capacidades incipientes debido a que se encuentran en pleno desarrollo y en una etapa joven de su vida tecnológica. Un nicho funciona como un cuarto de incubación para las novedades mientras se encuentran en un proceso de aprendizaje para alcanzar la madurez como tecnologías. En este sentido, los nichos tecnológicos representan la parte inestable y disruptiva del sistema sociotécnico.

De acuerdo con distintas corrientes de pensamiento, se puede entender al nicho de distintas formas, por lo que es conveniente articular el concepto para lograr complementariedades entre los enfoques. Desde la teoría evolutiva se entiende que las nuevas tendencias en el ambiente de selección forman un nuevo nicho dentro del régimen. Si el desarrollo del nicho resulta exitoso, este alcanza un nivel de madurez suficiente para convertirse en un actor más de la parte estable del sistema. Este éxito, combinado con el cambio continuo dentro del entorno de selección, produce tensiones entre los actores y las reglas del régimen sociotécnico que se traducen en una alteración de la trayectoria tecnológica por la reconfiguración que se produce en el sistema. (Nelson, 1995) (Nelson & Winter, 1982)

Paralelamente, otra forma de observar a los nichos propone que éstos se crean cuando una *macroinvención* se abre paso debido a un cambio repentino y dramático en el entorno de selección. En consecuencia, la viabilidad del régimen sociotécnico prevaleciente comienza a verse cuestionada y los actores buscan nuevas alternativas e intentan aprovechar las oportunidades emergentes que brinda el cambio. Ellos están dispuestos a invertir en una variedad de nichos múltiples e innovadores para contrarrestar la incertidumbre; donde uno

de los nichos logrará colocarse como la mejor solución a los problemas a través de un proceso de la competencia de cambio incremental dentro de cada nicho. (Mokyr, 1990)

Por otro lado, las invenciones tienen la naturaleza de aplicarse en nichos, aislados de los mercados principales debido a su poca madurez y competitividad. El desarrollo tecnológico de dicha invención puede conducir a un proceso de adaptación en una dirección nueva y divergente de acuerdo con los mecanismos de selección. La nueva tecnología también podría difundirse a otros nichos de mercado, lo que eventualmente conduciría al desarrollo de un nuevo régimen sociotécnico. Este régimen puede comenzar a competir con el régimen sociotécnico original al invadir sus mercados principales. (Levinthal, 1998)

Una última forma de ver a los nichos dentro de la teoría evolutiva propone que las macroinvenciones se aplican en protomercados creados por una unión de actores para probar y desarrollar nuevas tecnologías con el objetivo de formar los nichos. En esta cooperación, pueden estar inmersos actores nuevos dentro del sistema sociotécnico y actores maduros con experiencia y capacidades adquiridas dentro del mismo. En el largo plazo, estos nichos amenazan con reemplazar la forma común de resolver problemas y ser la base de una nueva trayectoria tecnológica o pueden no llegar a ser más que sólo proyectos piloto, pero ello lo determinará la interacción que logre realizar para alcanzar madurez. (Dosi, 1982)

Lo anterior observa el mismo fenómeno de distintas formas, pero lo que es relevante es que coinciden en que se presenta el nacimiento de nuevas prácticas y formas de resolver problemas asociadas a procesos o productos innovadores que buscan evolucionar y madurar al grado de insertarse en el conjunto de reglas y rutinas que se establecen en un sistema al mismo tiempo en que las modifican.

2.3. Paisaje sociotécnico

El paisaje sociotécnico forma un ambiente exógeno más allá de la influencia directa del nicho y los actores del régimen sociotécnico (macroeconomía, patrones culturales profundos, desarrollos macro-políticos) (Geels & Schot, 2007). En este nivel del sistema los cambios ocurren lentamente y ejercen una presión en el sistema dependiendo de la

naturaleza de estos. Rip and Kemp (1998) lo califican como algo que lo que estamos inmersos, que nos contiene.

En este punto se puede hacer la comparación entre la relación de los nichos con el régimen y el paisaje sociotécnico. Los nichos funcionan a través de estructuración sociológica entre ellos y existe un alto grado de influencia cuando el nicho madura y se incorpora al régimen, lo que conlleva una alteración de la trayectoria tecnológica. El paisaje sociotécnico, por su parte, influye mediante una estructura profunda que facilita unas acciones más que otras y cuando éste cambia, el escenario del sistema inevitablemente lo hace de igual manera. Se puede considerar como estático dada la naturaleza tan lenta de sus cambios y transiciones.

Suares y Oliva (2005) clasifica distintos tipos de cambio en el paisaje de acuerdo con sus efectos en el sistema y son los siguientes:

- Cambio regular: corresponde a entornos que experimentan regularmente un cambio gradual de baja intensidad
- Choque específico: corresponde a cambios que son rápidos y de mucha intensidad, pero que en el tiempo su efecto se diluye y desaparece
- Cambio disruptivo: considera cambios que ocurren esporádicamente y se desarrollan gradualmente, pero tienen un efecto fuerte en el sistema
- Cambios de avalancha: es muy poco probable que ocurran, pero conllevan un gran efecto con gran velocidad y afecta a todas las dimensiones del sistema. Además, genera cambios permanentes en el entorno.

2.4. Instituciones

Las instituciones son indispensables para el entendimiento de los sistemas sociotécnicos. En el sentido de North (1990, pág. 3) se consideran como: *“las reglas del juego en una sociedad creados por los humanos que le dan forma a las interacciones humanas. Estructuran los intercambios humanos en cualquier esfera (política, social o económica). El cambio institucional guía la forma en que la sociedad evoluciona en el tiempo y es clave en el entender histórico”*

En el análisis sociotécnico, las reglas proveen estabilidad a través de moldear las percepciones y acciones entre agentes, que a su vez mantienen y modifican el sistema sociotécnico. Dichas acciones y percepciones se pueden entender como movimientos dentro de un juego que se constituye con base en reglas.

Así como las instituciones están inmersas dentro de las interacciones, también están articuladas entre ellas mismas, es decir, que las reglas no existen como entidades autónomas individuales. En cambio, están vinculados y organizados en sistemas de reglas.

Las instituciones pueden ser útiles para entender la estabilidad dentro de los sistemas y también para comprender cómo pueden colaborar y a la vez ser condiciones indispensables para conseguir evolucionar los sistemas.

En su relación con la tecnología, queda claro que no puede existir progreso tecnológico sin un cambio en las instituciones, ya que existe una coevolución entre ellas. Se puede entender que las instituciones forman el marco directo de interacción entre la sociedad y la tecnología. De forma simple, la tecnología no podría tener un significado si no se encontrase envuelta en un proceso social que se determina a través de las reglas establecidas dentro del mismo y que a su vez delimitan la actividad humana.

Después de analizar el sistema sociotécnico desde su estabilidad, lo que sigue es discernir cuáles son los mecanismos de la dinámica que lleva de un sistema a otro. Los dos principales criterios para comprender estos procesos son:

- El ritmo de las interacciones: esto quiere decir que diferentes ritmos de interacciones en las dimensiones (paisaje, régimen y nicho) del sistema pueden arrojar diferentes resultados. Esto quiere decir que se pueden formar múltiples combinaciones de acuerdo con la velocidad e intensidad de las interacciones en la alineación de las dimensiones. Por lo tanto, es un fenómeno sumamente complejo por la gran diversificación de factores y actores dentro del sistema sociotécnico.
- Naturaleza de las interacciones: quiere decir que hay desarrollos que tienen efectos de refuerzo o de disrupción en las relaciones régimen a través de presión o competencia.

De acuerdo con diferentes combinaciones de estos dos criterios y utilizando la tipología de los tipos de cambio en el paisaje, se pueden entender cuatro diferentes tipos de vías de transición:

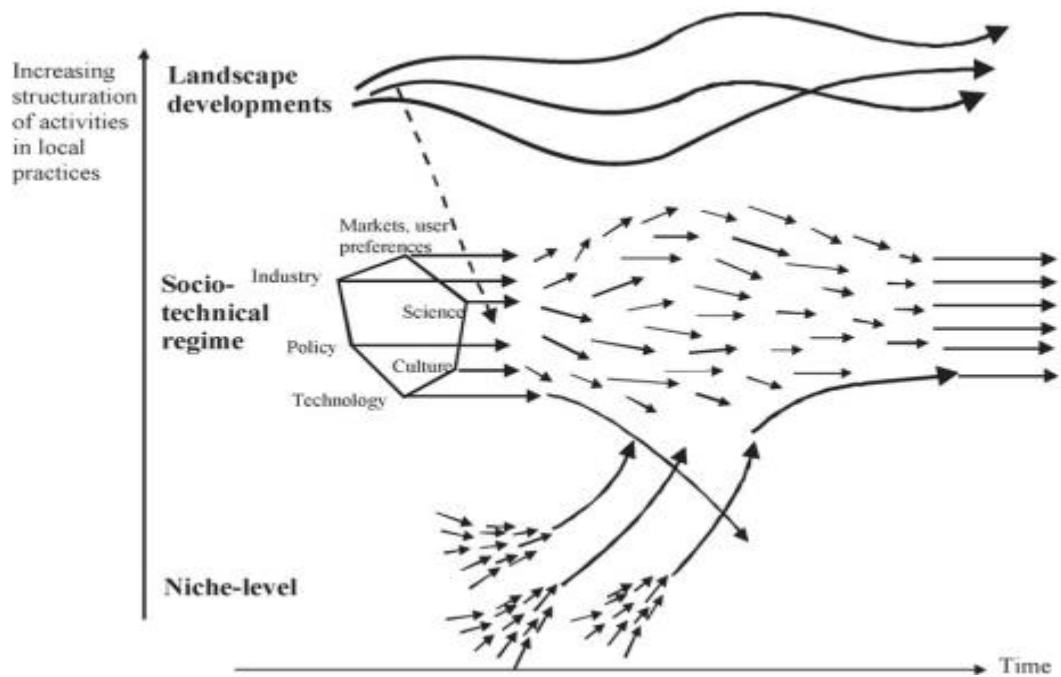
- Procesos de reproducción: si no hay presión externa del paisaje, el régimen puede mantenerse dinámicamente estable y se reproduce a sí mismo como sucede en el régimen tecnológico. Las innovaciones de nicho tendrán poca oportunidad de adentrarse en el régimen en este escenario.
- Camino de transformación: si existe una presión moderada de cambio en el paisaje, pero los nichos no están lo suficientemente desarrollados, los actores del régimen pueden actuar para redirigir su comportamiento hacia donde se requiere sin dar oportunidad a un cambio de trayectoria que los deje fuera de la competencia.
- Desalineación o realineación: si el cambio del panorama es divergente, largo y repentino, los problemas del régimen pueden provocar que caiga la confianza de los actores y que conlleve a una desalineación del régimen. Si el nicho no está suficientemente desarrollado, no habrá un claro sustituto y, por ende, se generará un espacio para múltiples innovaciones de nicho que entrarán en competencia por la dominación de se mercado
- Sustitución tecnológica: si hay mucha presión de cambio en el paisaje sociotécnico, se abre una ventana de oportunidad. Si esto ocurre en un momento en que el nicho está suficientemente desarrollado, tendrá la capacidad de relevar al régimen existente.
- Reconfiguración de la trayectoria: en este caso, innovaciones radicales se adoptan en el régimen para solucionar problemas locales y posteriormente se van agregando a la estructura básica del régimen. Las adaptaciones pueden llevar a explorar nuevas combinaciones entre elementos nuevos y viejos que conllevan a cambios en el régimen considerados como una reconfiguración

Hasta este punto es claro que la dinámica que conlleva de un sistema sociotécnico a otro, o a la reconfiguración y evolución de los mismos, es un proceso complejo, y más si se trata de una tecnología que se establece sobre una base compleja por su naturaleza heterogénea,

emergente y multidisciplinaria. Además, encontrarse en el área de la salud conlleva una complejidad adicional, particularmente al tratarse en un país en vías desarrollo.

La Ilustración 1 muestra cómo se puede configurar gráficamente el sistema con la interacción de los tres niveles de agregación antes descritos. En ella se encuentran los niveles del paisaje, el régimen y el nicho, los posibles actores y la forma en que coexisten. A lo largo de esta investigación se buscará especificar qué actores se encuentran en las dimensiones y cómo interactúan entre sí, y con ello, reproducir el mismo diagrama para el caso de la biotecnología aplicada en salud en México.

Ilustración 1 Sistema Sociotécnico



Fuente: Geels y Schot (2007, pág. 409)

3. Metodología

El objetivo de este capítulo metodológico es proponer la estrategia a seguir desprendida de la pregunta y los objetivos de la investigación con el fin de mostrar la estructura lógica y sistemática que permitirá analizar la información disponible.

Por la naturaleza del estudio de sistemas socio técnicos y el propósito de indagar en las relaciones en los distintos niveles de agregación que el enfoque sostiene, se requiere de un estudio documental, que implica un proceso sistemático de revisión e interpretación de documentos para entender el comportamiento de un fenómeno en específico.

3.1. Análisis documental

Se define al análisis documental como “el conjunto de operaciones destinadas a representar el contenido y la forma de un documento para facilitar su consulta o recuperación” (García, 1993, pág. 11). Como parte de estas operaciones que se proponen, se encuentra la extracción de un conjunto de palabras condensadas para poder identificar al documento o presentarlo de una forma distinta a la original. En esta investigación, el análisis de las fuentes estará orientado a tener una utilidad dentro del marco analítico para el estudio del sistema sociotécnico de biotecnología en salud en México.

El análisis documental centra su atención en la producción fuentes de información en un período y la asimila por medio de lenguajes contruidos artificialmente (definidos por el investigador) mediante claves y reglas que se articulen con el objetivo y las preguntas de investigación, de manera que se vuelvan útiles para organizar y emplear en la articulación del análisis (Iglesias & Gómez, 2004). Para llevarse a cabo, se requiere la separación en dos etapas: por un lado, el análisis externo, que fija su atención en la forma del documento y características estructurales del documento y, por otro lado, el análisis interno, que se enfoca en el contenido de información de la fuente.

De forma general, el objetivo de este tipo de análisis aplicado a la investigación es obtener información relevante sobre los actores, su contexto, antecedentes, datos complementarios y además la formulación de preguntas adicionales a lo largo del camino que puedan integrarse al estudio.

De acuerdo con lo anterior, se puede intuir que el método de análisis documental no implica un camino único y que se debe construir de forma inductiva pensado desde el problema u objetivo que se ataca. En este sentido, se propone la acción de pensar el sistema de salud desde los sistemas socio técnicos basado en diferentes aproximaciones al entendimiento de

este sector y orientándolas a dicho análisis en la medida que la información recopilada se convierta en insumo para este estudio.

Además, partiendo del estado del entendimiento actual sobre la biotecnología aplicada a la salud en México y la complejidad de esta actividad, resulta imposible desprenderse del concepto de investigación exploratoria dado que se trata de aportar una mayor profundidad en el análisis y comprensión del fenómeno (Reiter, 2013), y para este caso, bajo una revisión documental. De esta manera, se pretende resaltar la estructura de la biotecnología desde el enfoque socio técnico haciendo uso de documentos de distintos tipos, los cuales serán seleccionados en concordancia con las dimensiones del sistema.

Como se ha planteado hasta el momento, existen tres niveles de agregación inherentes al análisis con enfoque socio técnico y se pueden mencionar como: el nivel del nicho, donde las innovaciones radicales toman lugar; el nivel del régimen socio técnico, donde las prácticas e instituciones se establecen y reproducen apoyando la prevalencia de los sistemas; y el nivel del paisaje socio técnico, que se puede entender como las condiciones externas que influyen a los otros dos niveles, es decir, el contexto donde se presentan.

Hasta ahora se ha argumentado que las transiciones en este análisis no se pueden comprender linealmente en alguna dirección a través de las dimensiones del sistema, sino que se presentan en forma de pasos de un sistema a otro y que implican una trayectoria tecnológica y para ello, estudiar los grupos sociales y las relaciones entre ellos es indispensable, partiendo del hecho de que la tecnología únicamente tiene sentido si está envuelta entre procesos sociales (Schot & Geels, 2007). Además, dentro del análisis de sistemas sociotécnicos. Las transiciones son acarreadas por actores centrales en la coordinación de las estructuras (Falde & Eklund, 2015), cuestión importante para considerar dentro del estudio.

El reto metodológico se encuentra en la aplicación del enfoque de sistemas socio técnicos, bajo un estudio documental, al caso de la biotecnología aplicada a la salud en México. Esto es, asociar a cada dimensión teórica el conjunto de grupos sociales que en el caso mexicano se encargan de establecer la dinámica de dicha dimensión a través de sus interacciones. Y posteriormente, dilucidar cómo cada dimensión altera el sistema para dar paso a otro

sistema socio técnico y a través de este proceso, dar pie a la caracterización de la tecnología.

3.2. La salud desde el enfoque sociotécnico

El sector de la salud está caracterizado por ser complejo y multidimensional y, por ello, para comenzar el análisis se requiere una visión normativa inherente al planteamiento metodológico. Previo al estudio, es necesario establecer los grupos sociales que corresponderían, en el escenario de salud, a cada una de las dimensiones de análisis de los sistemas sociotécnicos para posteriormente hacer una exploración a los grupos preestablecidos y comprobar si efectivamente se consideran relevantes para la dinámica de la biotecnología en salud en México.

En este mismo sentido, este estudio se apoya en un marco de análisis que propone cuatro dimensiones analíticas: actores, interacciones, procesos y el marco institucional (Natera J. M., Rojas, Dutrénit, & Vera-Cruz, 2020).

- En este marco, como actores debe reconocerse tanto sector privado como público, el sector productivo, la comunidad científica y los proveedores de servicios, que bien pueden asociarse dentro del enfoque socio técnico puesto que pueden ser ubicados dentro de los grupos sociales que se identifican en el mismo.
- Para las interacciones se recomienda un entendimiento a partir de asimetrías institucionales y de capacidades, que en un sistema socio técnico se pueden encontrar en las distintas dimensiones que también muestran diferencias de capacidades e institucionales, principalmente entre el nivel del nicho y el régimen socio técnico.
- Respecto al análisis de procesos, se propone utilizar mecanismos de validación a través del mercado, pero también otros que no son a través de éste. Esto también tiene un apoyo en el análisis de sistemas socio técnicos en el punto que se trasciende del mercado comúnmente entendido en la corriente dominante de la economía y se le introduce el concepto de un espacio social, además de económico.
- En la última dimensión de análisis, se propone que las instituciones se consideren tanto formales como informales, lo cual implica que además de regulaciones

establecidas, cuestiones socioculturales sean tomadas en cuenta, así como se establece dentro del marco socio técnico y que contempla al contexto social como una parte importante, y dentro de ello las características y percepciones socialmente aceptadas y que no necesariamente están establecidas formalmente.

Se entiende que, por la complejidad del sector, no existe una forma ideal de estudiarlo y que siempre se depende del contexto específico. Unido con esto, es indispensable, previo al estudio analítico, hacer un esfuerzo por entender y pensar al sector salud desde el enfoque sociotécnico y asimilar cuáles son las especificidades que se enfrentan en este esquema de estudio.

En el área de salud hay interacciones personales donde se encuentran pacientes, su círculo de relaciones, profesionales y trabajadores de la salud. Esto hace que la dimensión social dentro del análisis sea imposible de desprenderse. Paralelamente, se entiende que un sistema de salud eficaz proporciona mayor bienestar cuanto mayor explote sus capacidades tecnológicas y de generación de conocimiento científico, su aplicación con beneficios para la salud, acompañado de accesibilidad a quien lo necesita (Carayon, y otros, 2011).

Otra característica relevante del sector salud para tomar en cuenta en análisis sociotécnico es su característica dinámica, ya que en él, los individuos suelen cambiar continuamente. Asimismo, los grupos sociales (vistos desde el enfoque sociotécnico) pueden pertenecer a múltiples subsistemas y con esto, también tener incidencia en distintos niveles de agregación del estudio. (Effken, 2002)

Otro factor de complejidad se desprende de los grupos sociales, que son cada vez más diversos y están sujetos a presiones y cambios considerables, y que son heterogéneos en sus valores y objetivos (principalmente, financieros y humanitarios). (Effken, 2002)

Con estas características, adoptar el enfoque sociotécnico es funcional para identificar los múltiples elementos del sistema, sus interacciones y su impacto en la salud, así como los cambios de sistema a sistema.

3.3. Las dimensiones de análisis

De acuerdo con el análisis sociotécnico, se comienza por dividir el sistema en las tres dimensiones: paisaje sociotécnico, régimen sociotécnico y el régimen del nicho. Y se realiza un rastreo sobre los grupos sociales que, bajo el supuesto normativo y con la intención de contrastarlo con la evidencia, se encontrarían dentro de cada dimensión.

3.3.1. El paisaje socio técnico

Este nivel del sistema sociotécnico se puede entender como todo lo que es exógeno al nicho y al régimen sociotécnico y que presenta un contexto que no influye directamente en ellos, pero que ejerce presiones para el cambio de un sistema a otro. Es una estructura que contiene a las otras dos dimensiones y que facilita unas acciones más que otras.

Para entender la formación de esta dimensión, se pueden contemplar algunos subdimensiones, tales como: la infraestructura tecnológica, los valores socioculturales y algunos factores del contexto económico en el que se desenvuelve, en este caso, la biotecnología aplicada a la salud en México. Para este cometido, es útil acudir a fuentes de información agregada, como lo son:

- Infraestructura: medir la infraestructura tecnológica a nivel general es importante porque hay condiciones de esta índole que no se encuentran inmersas dentro en la biotecnología, pero que pueden favorecer su desarrollo. Entre ellas se pueden nombrar: infraestructura en tecnologías de información, disponibles en la página de la Secretaría de Economía de México; datos disponibles en el Banco Mundial y que pueden mostrar el contexto del objeto de estudio, como energía eléctrica, telefonía, internet y gasto en I+D agregado a nivel nacional.
- Valores socioculturales: se propone hacer un rastreo en el portal del World Values Survey sobre algunos indicadores de los valores socioculturales que pueden estar alrededor de la dinámica de la biotecnología, como lo son percepciones sobre la política, la salud, el papel de la tecnología en los cambios futuros, el impacto de la ciencia y la tecnología en la mejora de la salud y percepciones sobre el futuro en relación con la ciencia, la tecnología y la innovación.

- Características poblacionales de la sociedad mexicana, particularmente su composición demográfica e información de salud general que se desprende de ella en los Informes de Salud de los Mexicanos de la Secretaría de Salud.
- Disposiciones y mecanismos de coordinación relacionados con biotecnología aplicada en la salud en organismos internacionales como la OMS, OMC, OCDE, OMPI.
- Leyes en la Constitución mexicana sobre la promoción de la ciencia

3.3.2. Régimen sociotécnico

Esta dimensión representa la estructura más estable del sistema sociotécnico, donde se encuentra el entramado de reglas que se reproducen alrededor de la actividad tecnológica. Como se ha mencionado, aquí se encuentran distintos grupos sociales que interactúan entre ellos y también dentro de los mismos, y son el régimen tecnológico, régimen político, régimen sociocultural y el régimen de usuario y mercado.

Para realizar el análisis dentro de esta dimensión, es necesario acudir a la evidencia en organismos, tanto públicos como privados, que puedan arrojar información sobre la conformación de la articulación de los grupos sociales.

- Régimen tecnológico

Dentro de este apartado se busca recolectar toda la información sobre el conocimiento y capacidades tecnológicas en general sobre la biotecnología aplicada en salud en México y que se pueden encontrar, principalmente en los portales de la Secretaría de Economía y el CONACYT, las variables que es relevante acumular y analizar son:

- El empleo dentro del sector, personal altamente calificado (CONACYT)
- Programas de universidades que tengan que ver con la rama, matrícula y egresados de licenciatura y posgrados en el PNPC
- Producción científica en los centros públicos de investigación en CONACYT
- Proyectos en las agendas nacionales de innovación

- Financiamiento para proyectos de biotecnología

- **Régimen político**

En este espacio, se propone estudiar los programas que se establecen con el afán de impulsar el desarrollo de la actividad biotecnológica, para esto se rastrean los programas del CONACYT y, dado que no existe alguno enfocado específicamente en dicha actividad, se puede estudiar dentro de los siguientes programas, cuáles tienen dentro de sus beneficiados actores que se desenvuelven en el área de la biotecnología para la salud. Los programas en marcha del CONACYT son:

- Becas de posgrado y apoyos a la calidad
- Sistema Nacional de Investigadores
- Fortalecimiento Sectorial de las capacidades científicas, tecnológicas y de innovación
- Fortalecimiento de la infraestructura Científica y Tecnológica
- Fomento Regional de las Capacidades Científicas, Tecnológicas y de Innovación
- Investigación Científica, Desarrollo e Innovación
- Apoyos para actividades científicas, tecnológicas y de innovación
- Innovación tecnológica para incrementar la productividad de las empresas
- Diseño y evaluación de políticas en ciencia, tecnología e innovación

- **Régimen sociocultural**

Para el caso del régimen sociocultural dentro del régimen sociotécnico, se tratará de entender cuáles son las percepciones sociales relacionadas con el uso de la biotecnología y su implementación en el sector de la salud en México. En este sentido, es relevante entender la controversia que existe en torno al uso de esta tecnología y principalmente de la ingeniería genética, a través del conocimiento y los estudios que ya se han producido sobre este fenómeno en México.

Es indispensable que, además de definir a los actores dentro de los grupos sociales, posteriormente se haga un esfuerzo analítico para entender cómo es que la interacción entre ellos forma la gramática que se reproduce dentro del sistema en forma de prácticas de ingeniería, tecnologías de producción y características de producción, así como habilidades y procedimientos. Esto es, de manera general, la forma en que se solucionan los problemas dentro del contexto institucional y la infraestructura disponible y se establece una trayectoria tecnológica en el sistema. (Geels F. , 2004)

3.3.3. El régimen del nicho

La parte micro del sistema sociotécnico se muestra como el régimen del nicho, y representa por esfuerzos de pequeños actores en el nivel de influencia, pero que se convertirán en los innovadores radicales que posteriormente se insertarán al régimen y con ello provocarán transiciones de un sistema a otro. Por la naturaleza de los actores en esta dimensión, la información relevante para su análisis se encuentra en estudios de caso de experiencias exitosas que lograron transformar la tecnología a través de sus esfuerzos de innovación.

Dado lo anterior, se propone realizar una sistematización de estudios de caso sobre innovaciones exitosas para entender características generales a rescatar dentro de las experiencias individuales de cada empresa y lograr un entendimiento de la dinámica en esta dimensión a través de casos puntuales. La parte normativa basada en estudios previos (Rojas & Natera, 2019) identifican a los dispositivos médicos y fármacos como resultados de ciencia en salud, para los cuales habrá que hacer una exploración y comprobar su capacidad de transformación de la tecnología, el grado de innovación, incentivos y recursos disponibles y la interacción entre actores principales del nicho, así como estudiar la posible aparición de otro nicho que sea relevante para la dinámica del sistema sociotécnico.

A manera de ejemplificar cómo se rastrea un nicho, se elige la actividad de la biotecnología para resolver necesidades asociadas a la diabetes mellitus por ser una de las principales causas de muerte en el contexto mexicano. Para hacerlo, se hará un rastreo de casos de innovaciones en esta área y se analizará cuál es el nivel de madurez del mismo, las reglas que se establecen, si existen relaciones importantes, el aprendizaje que se ha tenido en los años recientes.

Se utilizarán las bases de datos de convocatorias PEI y Fondo Sectorial de Salud, así como noticias sobre desarrollos en universidades y centros públicos de innovación. La justificación de poner la mira en el sector público se debe a que, debido a que la actividad biotecnológica es intensiva en conocimiento, es un área donde la gran cantidad de recursos que se invierten en investigación y desarrollo provienen de fondos públicos para innovación.

4. Paisaje Sociotécnico

Se ha argumentado que el paisaje sociotécnico constituye el marco amplio en el que se desenvuelven las otras dos dimensiones del sistema (el nicho y el régimen) y que es por sus características que las transiciones en el sistema se favorecen o se obstaculizan. Las categorías que se encuentran en él forman el contexto que ejercen presión lentamente y que establecen las condiciones contextuales para la evolución del sistema.

Geels (2007) propone que en el paisaje sociotécnico se encuentra la infraestructura, los valores socioculturales, condiciones materiales y naturales y agentes externos. Para fines de esta investigación y del marco analítico, la infraestructura y los valores socioculturales están asociados a aquellos que giran en torno a actividades científicas y tecnológicas. Los siguientes dos aspectos son poco claros, o más bien, son específicos del campo donde se aplica el análisis sociotécnico. Para este caso, las condiciones materiales y naturales se relacionarán con aspectos de salud y demografía, pues están estrechamente vinculados a las trayectorias tecnológicas de la biotecnología, pues las actividades de investigación y desarrollo responden a las necesidades que de ahí se desprenden. Por otro lado, los agentes externos pueden encontrarse en estipulaciones, estrategias y formas de coordinación a través de las fronteras, en organismos, acuerdos y convenios internacionales.

4.1. Salud y demografía

Dado que esta investigación se enfoca en la actividad biotecnológica aplicada en la salud, es importante destacar que el contexto demográfico enmarca el desempeño de este factor dentro de cualquier sociedad. La demografía muestra la estructura poblacional y esta es una dimensión inherente al estudio de la salud en cualquier rama porque a través de sus

características se pueden identificar factores de riesgo o explicaciones para problemáticas en este aspecto.

El fenómeno demográfico más claro en México es el envejecimiento de la población, puesto que el grupo poblacional que más ha crecido en las últimas décadas es el de adultos mayores de 65 años. Asimismo, la esperanza de vida al nacer ha mostrado un crecimiento debido a la reducción de mortalidad infantil y al control de enfermedades transmisibles. Sin embargo, México aún se encuentra en los últimos lugares entre los países que pertenecen a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). (Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud, 2015)

En el panorama general de salud, se encuentra que las enfermedades crónico-degenerativas como la diabetes, enfermedades cardíacas y cerebrovasculares, el cáncer y la cirrosis tienen el grueso de las muertes en personas mayores de 40 años. Esto se asocia a los cambios en estilo de vida en las últimas décadas y que integra distintos tipos de hábitos que traen consigo un deterioro de la salud de la población. (Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud, 2015)

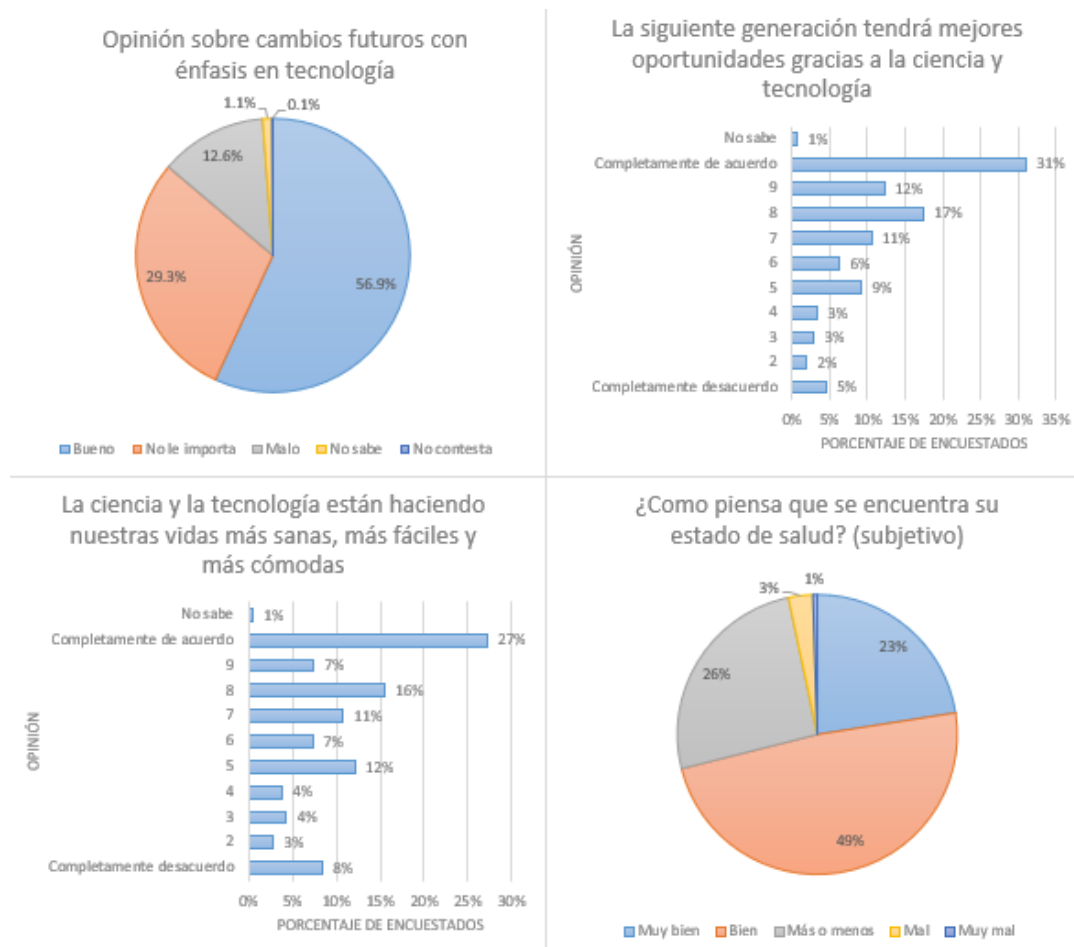
Si se parte de que hay una estrecha relación del fenómeno demográfico con la salud de la población, se puede intuir que el fenómeno de envejecimiento de la población trae consigo un reto debido a que las enfermedades que más influyen en la mortalidad actualmente suelen desarrollarse en la etapa adulta de las personas. Esto significa que, al incrementarse la cantidad de personas en edad adulta mayor, también crecerá el número de casos de estas enfermedades que requieren atención permanente y que exigirá al sistema de salud en mayor medida.

Con base en esta problemática, el sistema mexicano tiene una cuesta arriba en la tarea de mejorar la salud de la población en general, el desarrollo tecnológico de las actividades que giran en torno a ella pueden ser claves una experiencia exitosa. La biotecnología aplicada a la salud, en este sentido, ofrece un fuerte potencial de traer beneficios sociales si se logra alcanzar su evolución hacia un campo sofisticado y competitivo en México porque este beneficio puede ser mejor explotado si se ataca desde las especificidades del contexto nacional.

4.2. Valores socioculturales³

Los datos sobre valores y percepciones socioculturales son importantes para mostrar una perspectiva social sobre el impacto de la tecnología en la calidad de vida. Las opiniones mostradas se pueden generalizar a todas las actividades intensivas en ciencia, tecnología e innovación, dentro de las cuales se encuentra la biotecnología. Dado que no existe mayor desagregación de la percepción de la tecnología en ramas específicas, el mayor acercamiento que se puede tener a información sobre las percepciones sociales sobre esta actividad se muestra en la Gráfica 1.

Gráfica 1 Valores socioculturales sobre la tecnología en México.



Fuente: World Values Survey

³ Encuestas del año 2018, con muestreo de 1739 personas. World Value Survey (World Values Survey, 2020) www.worldvaluessurvey.org

A pesar de la falta de información específica sobre los sentimientos que se encuentran alrededor del impacto y el uso de la biotecnología para mejorar la calidad de vida. En la primera parte de estas encuestas se entiende que, de forma general, se cree que los efectos de la tecnología y la ciencia en la calidad de vida humana son positivos hacia el futuro.

En la segunda parte, donde se incorporan aspectos de la salud, específicamente se piensa que la ciencia y tecnología procuran una vida más sana, lo que favorece el desarrollo de actividades dedicadas a mejorar la salud de vida de las personas. En este sentido, los factores sociales apoyan la evolución de estas prácticas, pues es comúnmente aceptado y bien visto en beneficio de las personas. También es importante contrastar la buena percepción sobre la salud propia, con la información previa sobre el estado real de los mexicanos, porque parece existe una discrepancia, puesto que México no se destaca por tener buenos niveles en este ámbito.

Este tipo de concepciones que se establecen de forma agregada determinan los patrones de consumo o de prácticas humanas que tienen una fuerte influencia en las trayectorias tecnológicas. De igual manera los valores socioculturales y los hábitos y prácticas que conllevan tienen efectos en la calidad de la salud humana porque de ahí se desprenden actividades esenciales para mantener una vida sana, como la alimentación, el deporte y las prácticas que en el largo plazo funcionan como medidas de prevención ante enfermedades.

4.3. Infraestructura

La infraestructura ofrece la plataforma sobre la cual se desarrollan las actividades productivas, y específicamente en este caso, tecnológicas. El estudio de este ámbito puede mostrar el entorno en el que se establecen las actividades productivas y ofrece indicios del nivel de sofisticación de la producción. La CEPAL selecciona como indicadores como telefonía, internet y energía eléctrica para tener un acercamiento al estado de la infraestructura. Se interpreta que la mejora en el uso de estas variables conlleva mayor nivel agregado en la producción. (CEPAL, 2007)

Por otro lado, el Gobierno Federal Mexicano a través de la Secretaría de economía (2020) y el CONACYT (2018) reconocen la importancia del desarrollo de la infraestructura para la

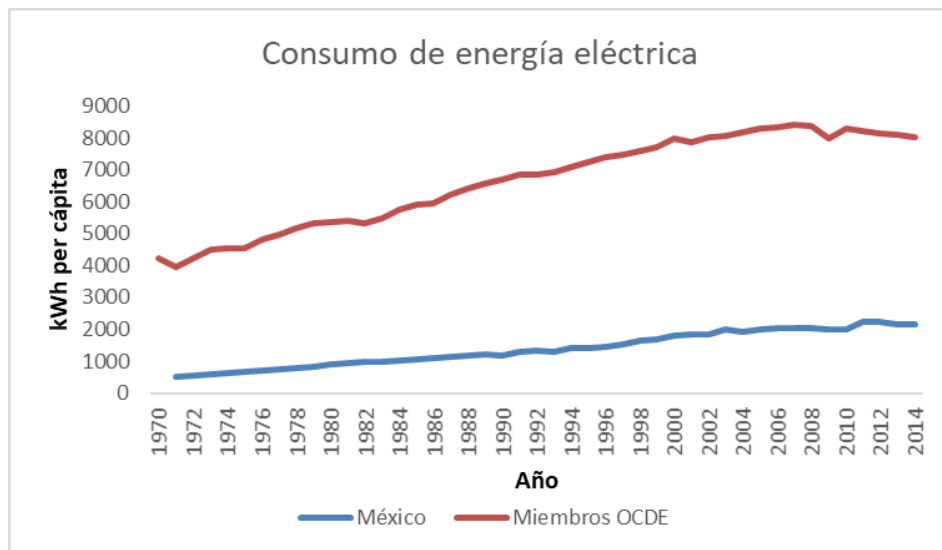
competitividad del país en muchos aspectos y se asumen como actores fundamentales para impulsarla. Esto es relevante porque ambos actores se consideran los principales responsables del desarrollo de infraestructura para la ciencia y tecnología del país, dado que las empresas no se han involucrado de forma considerable en este ámbito.

El Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología argumenta que se requiere un sistema nacional de ciencia y tecnología con estructura que favorezca los procesos innovadores en búsqueda de beneficios sociales. Consideran que una parte clave es fortalecer capacidades humanas y la infraestructura científica y tecnológica complementarias.

Relacionado con la biotecnología, por ser esta una actividad intensiva en conocimiento y tecnología, existe dependencia de las condiciones infraestructurales por buen camino y que además, respondan al dinamismo y la complejidad con los que evoluciona si se pretende que México pueda desarrollar biotecnología competitiva sobre esta base científica y tecnológica, dado que hasta ahora, las empresas nacionales están alojadas en áreas de bajo valor agregado donde no compiten las grandes empresas transnacionales. (Amaro & Sandoval, 2019)

Con datos del Banco Mundial y tomando como referencia los promedios de los países pertenecientes a la OCDE, se estudia el comportamiento de estos indicadores para México.

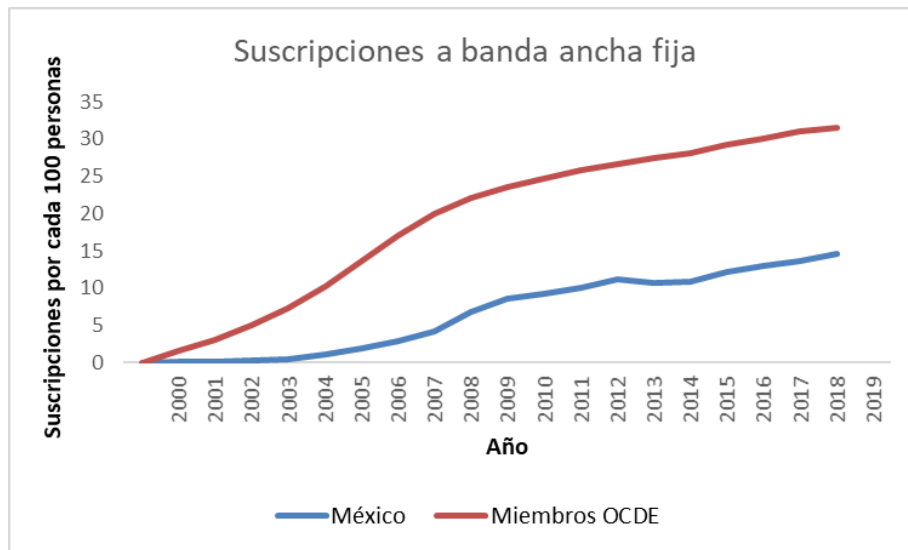
Gráfica 2 Consumo de energía eléctrica en México



Fuente: Banco mundial

En la Gráfica 2 se puede observar que el crecimiento de consumo energía per cápita en México, no está estrictamente estancada, pero ha tenido una tendencia ligeramente creciente y prácticamente lineal, sin variaciones abruptas. Por otro lado, el conjunto de países OCDE tuvo un crecimiento más dinámico en la primera parte del período, pero parece que el crecimiento se estancó a partir del 2004. Se puede apreciar también que México se encuentra muy por debajo respecto a su contratante y que, además, la brecha se ha hecho más grande con el paso del tiempo, pues a pesar de encontrarse muy por debajo desde el principio, su crecimiento es menor que el de los países de la gráfica en la mayor parte de los años.

Gráfica 3 Penetración del internet en México

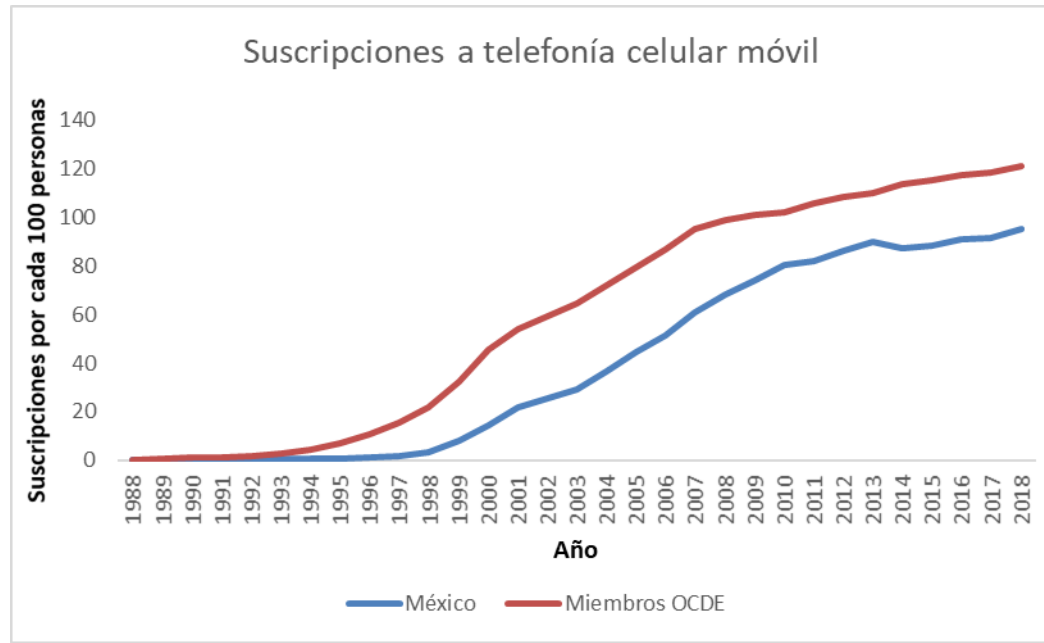


Fuente: Banco mundial.

Observando a las suscripciones a banda ancha por cada cien personas, se puede ver que todos los países comparados empiezan prácticamente de cero a comienzos del siglo y se debe a que es una tecnología relativamente nueva que comenzó su uso en este mismo. De igual forma es notorio que México tuvo un comienzo atrasado en los primeros años de la década de los años 2000 y que en esos años se produjo un proceso de divergencia en este ámbito, pues el crecimiento promedio de los países OCDE fue mayor que el nacional. A

partir de esta última década se ve que la brecha se mantiene relativamente constante y que no se ha logrado converger y reducir el atraso que se generó en el comienzo del período.

Gráfica 4 Penetración de telefonía Móvil en México



Fuente: Banco mundial.

El comportamiento de la comparación en cuanto a las suscripciones a telefonía celular no difiere mucho de las anteriores, pues también es evidente un arranque tardío de México respecto a su contraparte, sin embargo, es menor comparado con el indicador de telefonía. Existe una brecha que se generó a partir de los años de atraso en el despegue nacional, y a partir de su arranque, se ha mantenido constante y tienen un comportamiento similar en el resto del período

De forma general se observa un atraso significativo de México respecto a los promedios de la OCDE en indicadores de infraestructura tecnológica. Se puede ver que México tiene arranques tardíos en los que se forma una brecha de atraso que no se ha podido recuperar hasta el final del período, lo que podría significar que en el país hay menor sofisticación de la producción y con ello menor valor agregado bajo el uso de tecnologías respecto al promedio de la OCDE.

Según CONACYT (Infraestructura Científica y Tecnológica: La base para transitar hacia una sociedad y economía del conocimiento, 2018), se entiende por infraestructura científica y tecnológica a centros e institutos de investigación; incluye: sus laboratorios, espacios físicos donde se encuentran equipos e instrumentos, y también a los cuerpos de investigadores, tecnólogos y estudiantes, encargados de crear, operar y evolucionar estos laboratorios y equipos. En este sentido, destacan un programa dedicado exclusivamente a la adquisición de equipo para el desarrollo tecnológico (Fortalecimiento de la Infraestructura Científica y Tecnológica) y que todas las convocatorias de apoyo a investigación incluyen un complemento para la compra de equipamiento necesario para dichas actividades.

Desprendido de esto, es interesante observar cómo se encuentra la situación de México en cuanto a los indicadores básicos de ciencia, tecnología e innovación, que también forman parte del contexto en el que se desenvuelve la biotecnología porque impactan en todas las actividades de esta índole. El Banco Mundial ofrece datos generalizados sobre inversión y capacidades humanas empleadas en actividades de I+D, para ello se tienen los siguientes datos.

4.4. Investigación y Desarrollo nacional.

Gráfica 5 Investigación y desarrollo



Fuente: Banco Mundial

El gasto en I+D como porcentaje del PIB se ha mantenido siempre con un rezago importante, donde en México se alcanza alrededor de la cuarta parte del promedio de los países pertenecientes a la OCDE y mediante el cual se pueden explicar, con el indicador más simple, el atraso en la ciencia, tecnología e innovación nacional. Además se puede apreciar que México difícilmente ha podido superar el 0.5% de inversión en este rubro y no logró mantenerse, y que para los últimos años del período, la brecha se hecho más grande.

Gráfica 6 Investigadores de I+D



Fuente: Banco Mundial

Por su parte, la capacidad de investigación comparada con el tamaño de la población tampoco difiere mucho y es normal que se muestren este fenómeno si se desprende de la insuficiente inversión para I+D. Se puede observar una gran brecha que, además, aumenta en todo el período, pues de manera general los miembros de la OCDE han aumentado su número de investigadores por cada millón de personas, mientras que México se ha mantenido constante en valores bajos.

Gráfica 7 Técnicos de I+D



Fuente: Banco Mundial

Por otra parte, los técnicos de investigación y desarrollo ⁴ no muestran una serie completa para todos los países. Para México faltan algunos datos entre 1997 y el año 2002. Su contraparte en las comparaciones anteriores, miembros OCDE sólo cuentan con datos para el año 2011. A pesar de los vacíos, se puede observar que México no ha mejorado capacidades en este aspecto, a pesar de tener un ligero aumento y alcanzar su punto máximo alrededor del año 2005, pues a partir de ese año, se nota un decrecimiento. El único dato que se tiene de los países que pertenecen a la OCDE, muestra una gran disparidad y ventaja sobre México.

De forma general, es evidente que México se encuentra estancado en los indicadores de infraestructura e innovación, lo cual representa un obstáculo para el desarrollo de actividades que se desenvuelven en áreas intensas en tecnología y conocimiento y que dependen de la inercia innovadora que se desempeña en su contexto, como lo es la

⁴ Según el Instituto de Estadística de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura de la UNESCO, los técnicos de investigación y desarrollo y el personal equivalente son personas cuyas tareas principales exigen conocimiento técnico y experiencia en ingeniería, ciencias naturales (técnicos), o ciencias sociales y humanidades (personal equivalente). Participan en investigación y desarrollo realizando tareas científicas y técnicas que abarcan la aplicación de conceptos y métodos operativos, por lo general supervisados por investigadores (Banco Mundial, 2020)

biotecnología, dado que esta es una actividad que se establece transversalmente, dependiendo de diversos campos de conocimiento y actividades científicas y tecnológicas. Es por ello que, mejores condiciones en los indicadores de infraestructura y de ciencia y tecnología apoyarían a un mayor dinamismo en el conjunto de actividades claves para la competitividad, donde la biotecnología se encuentra inmersa.

4.5. Organismos Internacionales relacionados con biotecnología

Como se ha mencionado en esta investigación, la biotecnología tiene protagonismo como una actividad clave en el desarrollo económico en el presente y hacia el futuro. Ello haría suponer que existirían esfuerzos mayores internacionales para promover su desarrollo a través de las fronteras. Sin embargo, en el rastreo a través de estos actores, son pocas acciones y mecanismos de colaboración y coordinación entre países para lograrlo. Como se verá a continuación, los organismos internacionales colaboran poco para la evolución de esta actividad y parece ser que los esfuerzos se reducen a los países de forma individual.

- Organización Mundial de Comercio (OMC)

La OMC establece bases para los intercambios comerciales y su principal objetivo es la liberalización de los mercados y la eliminación de barreras para el comercio. El 15 de abril de 1994 México firma el Acuerdo General sobre Aranceles Aduaneros y Comercio y con ello se añade al Acuerdo de Marrakech (Diario Oficial de la Federación, 1994), que en su artículo II señala los acuerdos y los instrumentos jurídicos conexos incluidos en los Anexos 1, 2 y 3 del citado acuerdo, denominados “Acuerdos Comerciales Multilaterales” que incluyen el Acuerdo sobre la Aplicación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias, el Acuerdo sobre Obstáculos Técnicos al Comercio (OTC) y el Acuerdo sobre los Aspectos de los Derechos de Propiedad Intelectual (ADPIC), forman parte integrante de dicho Acuerdo. Estos acuerdos se integraron a la legislación nacional y México establece sus protocolos de acuerdo con lo que estipula esta organización.

- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)

México se hace miembro del organismo el 18 de mayo de 1994 (Diario Oficial de la Federación, 1994) y con ello acepta las obligaciones derivadas de las Actas de la

organización, que estipulan decisiones, recomendaciones y declaraciones en distintos ámbitos. La organización trabaja desde entonces por la elaboración de soluciones para las infraestructuras de ciencia y tecnología, las incidencias de los derechos de propiedad intelectual y los regímenes de licencia o la atención prestada a la salud humana y a la seguridad del medio ambiente y coordina y recomienda acciones orientadas a ello entre los países.

- Organización Mundial de la Salud

Esta organización especializada en salud humana no interfiere directamente en la regulación nacional relacionada con bioseguridad, pero aporta a las bases de datos mundiales de este tema y ofrece ayuda a los gobiernos, la sociedad civil, la industria y a los consumidores, para contar con información sobre peligros emergentes para la salud específicamente asociados al uso de productos biotecnológicos. Por otro lado, sí trabaja con La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación sobre temas de inocuidad alimentaria y en conjunto elaboraron normas alimentarias y directrices que eventualmente se toman como referencia en el Acuerdo de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias mencionado anteriormente, pero esta participación está más relacionada con bioseguridad en el área agrícola que con los fines de esta investigación. (López, 2009)

4.5. [Acuerdos y convenios internacionales sobre propiedad intelectual relacionados con la biotecnología](#)

Los bioproductos y bioprocesos que se generan con la actividad biotecnológica entran dentro de las creaciones que otorgan propiedad intelectual en el convenio que establece la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual y con ello se le otorga completo control a su titular (que pueden ser personas o empresas), con lo cual, ningún agente puede hacer uso de estos sin su consentimiento. En un marco de comercio internacional, se protegen las inversiones en investigación científica y desarrollos tecnológicos y se establece como marco regulatorio el Acuerdo sobre los Aspectos de Derechos de Propiedad Intelectual relacionados con el Comercio (ADPIC), donde se determinan los esquemas internacionales y nacionales de protección intelectual.

Relacionado con la biotecnología, en el ADPIC resalta la protección mediante patentes, que son documentos otorgados por una oficina de gobierno y que asigna la propiedad y el derecho de explotación de una invención a su creador. En el caso de la biotecnología, los genes humanos o las cosas que ya existen en la naturaleza (con excepciones) quedan fuera de este derecho, pero se pueden patentar los bioprocesos o bioproductos que se crean a partir de estos. Otros factores relacionados con esta actividad que no se pueden patentar son métodos de tratamiento médico para seres humanos o animales, ni métodos de diagnóstico, pero los productos utilizados para el tratamiento o el diagnóstico sí pueden ser patentados.

En temas de comercio, existe el Tratado de Cooperación en Materia de Patentes que busca la cooperación internacional y se administra por la OMPI (Decreto de Promulgación del Tratado de Cooperación en Materia de Patentes). Con ella no se otorgan patentes multinacionales, sino que se simplifican los procesos para tener una patente en los países que integran el acuerdo mediante la cooperación en la presentación de patentes, la búsqueda e investigación de novedad y el examen, así como con compartir la información técnica de las solicitudes.

La novedad más grande relacionada con biotecnología en salud se presentó recientemente en las negociaciones del T-MEC, pues al final de las negociaciones se decidió eliminar la protección a datos clínicos de biotecnológicos, que extendía el plazo de control de la patente por diez años más de los veinte ya establecidos. Este hecho se considera como un golpe a las grandes farmacéuticas, algo que no sucede muy seguido. Se pueden obtener distintos efectos derivados: por un lado, es un desincentivo a la inversión en investigación y desarrollo porque perjudica la apropiación de los beneficios que de ella se obtienen por parte de sus inventores. Pero, por otro lado, tiene un beneficio en términos de accesibilidad a medicamentos y tratamientos de origen biotecnológico en menor tiempo posible (Martínez, 2009) (Usla & Rodríguez, 13).

5. Régimen Sociotécnico

En este apartado se busca recabar información de los actores que inciden en este nivel de agregación, además de analizar cómo se configura la parte estable del sistema sociotécnico a través de la medición de aspectos como: leyes, políticas, producción científica, producción de recursos humanos y configuración del sector privado.

De acuerdo con ProMéxico (2017) la biotecnología aplicada en salud funciona a partir de distintos tipos de actores. El sector científico desarrolla y produce conocimiento mediante actividades de investigación básica y aplicada, empresas que se dedican a aplicar el conocimiento disponible para producir tecnologías (péptidos, enzimas, anticuerpos, fármacos, bioprocesos, entre otros) que se transfieren a farmacéuticas, empresas que producen métodos de diagnóstico o dispositivos médicos. Cualquier fabricante puede realizar los desarrollos por sí mismos o existe la posibilidad de colaborar con centros de investigación. Para comercializar los productos, existen dos diferentes vías: mediante minoristas, como farmacias o por medio de prestadores de servicios de salud, como médicos, hospitales y laboratorios que atienden a consumidores finales.

5.1. Leyes, Políticas Públicas y Regulación

Para atacar este punto, es indispensable mencionar que, en todo el aparato legislativo y regulativo, no existen leyes ni instrumentos específicamente dedicados a la promoción de la actividad biotecnológica y tampoco hay ninguna iniciativa dirigida a ésta, lo cual, por principio, es evidencia de que aún no es un lugar prioritario para realizar esfuerzos de inversión en México. A pesar de ello, se pueden ubicar leyes y programas que impactan directa e indirectamente en la evolución de la actividad.

Partiendo desde la parte más amplia, en la Constitución mexicana hay leyes que promocionan investigación, comercio, propiedad intelectual, bioseguridad y leyes del marco administrativo que influyen en el desarrollo de actividades tecnológicas, incluida la biotecnología.

En cuanto a investigación, se señalan las disposiciones para el desarrollo de instrumentos de política pública, particularmente para regular el acceso a los recursos genéticos, empleados como insumos en la investigación, y para fomentar la biotecnología. En comercio y propiedad intelectual, se establece lo referente a patentes y a derechos de obtentor para regular las transacciones de productos y procesos biotecnológicos. En el apartado de bioseguridad se incluye la protección a la salud humana, a la sanidad animal y vegetal y a la diversidad biológica; en leyes del marco administrativo, se incluyen aquellas que indirectamente están relacionadas con las actividades en biotecnología. (López, 2009)

5.1.1. Leyes mexicanas

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos trata aspectos que se relacionan con la práctica general de la biotecnología y de ellos se derivan las leyes que administran la investigación, el desarrollo de procesos y productos y la utilización de estos. Las leyes suponen los fundamentos para la realización de políticas para la biotecnología en otras dependencias y entidades públicas. Los siguientes artículos se relacionan con el desarrollo de la biotecnología.

Table 1 Leyes de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos relacionadas con biotecnología

Artículo	Aporte
Artículo 3°	Determina que el Estado debe apoyar la investigación científica y tecnológica.
Artículo 4°	Establece el derecho a un medio ambiente adecuado
Artículo 25°	Establece la rectoría del Estado para que el desarrollo sea integral y sustentable
Artículo 27°	Establece el acceso a los recursos naturales
Artículo 28	Establece que no constituyen monopolios los privilegios que por determinado tiempo se concedan a los artistas para la producción de sus obras y los que, para el uso exclusivo de sus inventos, se otorgue a los inventores y perfeccionadores de alguna mejora
Artículo 73	Señalan que el Congreso de la Unión está facultado para expedir leyes sobre: la planeación nacional del desarrollo económico y social, la programación, promoción, concertación y ejecución de

	acciones de orden económico; la transferencia de tecnología y la generación, difusión y aplicación de los conocimientos científicos y tecnológicos que requiere el desarrollo nacional y establecer la concurrencia de los gobiernos federal, estatales y municipal en materia de protección al ambiente y de preservación y restauración del equilibrio ecológico.
Artículo 89	Faculta al presidente de la República para conceder privilegios por tiempo determinado, con arreglo a las leyes, a los descubridores, inventores o perfeccionadores de algún ramo de la industria química.

Fuente: Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Cámara de Diputados, 2020)

5.1.2. Ley de Ciencia y Tecnología

Sirve para regular la forma en que el Gobierno Federal impulsa, fortalece y desarrolla la investigación científica y tecnológica en el país. En ella se establecen las formas en que lo lleva a cabo y cómo se coordinan las acciones entre dependencias y entidades públicas y otras instituciones que se encuentran inmiscuidas en el desarrollo científico y tecnológico o que realizan actividades de este tipo. También funciona para coordinar la relación de vinculación y participación de la comunidad científica y académica de las instituciones de educación superior, de los sectores público, social y privado para la generación y formulación de políticas de promoción, difusión, desarrollo y aplicación de la ciencia y la tecnología; la formación de profesionales de la ciencia y la tecnología, y la vinculación la investigación científica y tecnológica con la educación. De esta ley se desprende el Programa Especial de Ciencia y Tecnología, que representa un ente rector para la planeación, integración y coordinación de acciones para impulsar la actividad científica y tecnológica (Diario Oficial de la Federación, 2002)

5.1.3. Ley de Institutos Nacionales de Salud

Una parte de esta ley busca promover la biotecnología en los Institutos Nacionales de Salud (INS) y en ella se regula la organización y funcionamiento de estos y fomentar la investigación, enseñanza y prestación de servicios que se desarrolle. En esta ley se agrega el Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN) a los organismos denominados

INS para regular, promover, fomentar y practicar la investigación y aplicación del acervo de conocimientos sobre genoma humano en beneficio de la salud humana del país.

Se le otorgan al INMEGEN las actividades de realizar estudios e investigaciones clínicas, epidemiológicas, experimentales, de desarrollo tecnológico y básicas en las áreas de su especialidad, para la comprensión, prevención, diagnóstico y tratamiento de las enfermedades, rehabilitación de los afectados, así como para promover medidas de salud; impulsar en forma decidida la vinculación con instituciones nacionales para conformar una red de investigación y desarrollo en el campo de la medicina genómica y disciplinas afines, con la participación de instituciones internacionales; fomentar la realización de proyectos de desarrollo de tecnología especializada, obteniendo con ello protocolos de innovación tecnológica en cuanto a la elaboración de medios de diagnóstico, fármaco-genómica y terapia génica, y ser el Centro Nacional de Referencia para asuntos relacionados con estudios sobre el genoma humano y sus aplicaciones, entre otras (Diario Oficial de la Federación, 2000)

5.1.4. Ley General de Salud

La ley General de Salud (2019) le otorga a la Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS) el poder de efectuar los riesgos de salud de creaciones relacionadas con biotecnología, además de proponer políticas para la protección contra riesgos sanitarios y de su instrumentación en cualquier materia que tenga que ver los productos relacionados con salud humana.

También establece que para que se obtenga el registro sanitario de cualquier bioproceso o bioproducto, el solicitante debe cumplir con los requisitos y pruebas que demuestren la calidad, seguridad y eficacia del producto. Además, por obligación, disponen que debe existir una farmacovigilancia conforme a la normatividad correspondiente con los bioproductos que ya se encuentran en el mercado. Como apoyo para la comprobación de los estudios necesarios se cuenta con el Comité de Moléculas Nuevas y el Subcomité de Evaluación de Productos Biotecnológicos, que se dedica específicamente a la aprobación de productos de esta actividad y que está integrado por especialistas y científicos de biotecnología farmacéutica. Este comité es el encargado de notificar siempre a la Secretaría

de Salud sobre todos los productos biotecnológicos o sus derivados que se destinen al uso o consumo humano

5.2. Políticas Públicas e Instrumentación para la investigación biotecnológica

5.3.1. Programa especial de Ciencia Tecnología e Innovación PECiTI 2014-2018

El fomento a la investigación biotecnológica es considerado un tema fundamental dentro del Programa Especial de CTI como estrategia para atender las amenazas a la salud humana y animal, la biodiversidad, la disponibilidad de alimentos y recursos energéticos, y de cambio climático. Para lograrlo, se generan incentivos y apoyos que impulsen el desarrollo de la actividad en la orientación ideal para lo que el país necesita. Dentro del Capítulo III del programa se establecen los objetivos, líneas de acción y estrategias a seguir y una de las principales áreas de acción es “Fortalecer las capacidades de CTI en biotecnología para resolver necesidades del país de acuerdo con el marco normativo en bioseguridad” y se desagrega en cuatro estrategias para conseguirlo.

En el siguiente cuadro se muestran los objetivos planteados del 2014-2018, las estrategias y los logros mostrados en el PECiTI. Intencionalmente se incluye el total, aunque la gran mayoría no tiene que ver con salud humana para documentar que hay poco desarrollo de la biotecnología en esta área en el programa.

Tabla 2: Disposiciones sobre biotecnología en el PECiTI

Estrategia	Líneas de acción	Logros de proyectos de biotecnología en salud
Fortalecer la investigación en bioseguridad de los desarrollos biotecnológicos, que sustente científicamente la	Fomentar investigación para establecer científicamente la adopción de medidas de bioseguridad señaladas en la LBOGM	No se especifican logros relacionados con salud
	Apoyar investigaciones sobre posibles efectos de organismos genéticamente	

toma de decisiones en la materia	modificados en: medio ambiente, diversidad biológica, salud humana, sanidad animal, vegetal y acuícola	
Fomentar aplicaciones innovadoras de la biotecnología moderna, orientadas hacia la atención de las necesidades del país	Generar conocimiento sobre los efectos socioeconómicos del uso de OGM	
	Promover aplicaciones biotecnológicas innovadoras para la atención de problemas sanitarios emergentes humanos, animales y vegetales	(2016) Se emitió una convocatoria de la demanda específica: "Generación de elementos genéticos para investigación, desarrollo tecnológico y uso comercial que permitan resolver las limitaciones en México relacionadas con el pago de regalías por derechos de propiedad extranjera a cargo de centros e institutos de investigación nacionales", Como resultado, se encuentran en desarrollo tres nuevos proyectos y que están relacionados con salud:
	Promover desarrollos biotecnológicos que contribuyan a la producción de alimentos de calidad y con valor agregado	
	Promover desarrollos biotecnológicos que beneficien al medio rural y al sector productivo de manera sustentable	
	Desarrollar aplicaciones biotecnológicas para la conservación del medio ambiente y el aprovechamiento de la biodiversidad	
Promover desarrollos biotecnológicos para procesos industriales que impulsen la competitividad y generen productos de alto valor agregado		
<p>1. Generación de una colección de elementos genéticos para investigación, desarrollo tecnológico y uso comercial de libre acceso para las instituciones mexicanas", (20% de avance)</p> <p>2. Diseño y desarrollo de vectores sintéticos inducibles no convencionales para la</p>		

		<p>producción de vacunas de ADN”, (20% de avance)</p> <p>3. Desarrollo de un sistema de plásmidos de clonación y reporteros basados en una cromoproteína azul, (20% de avance)</p> <p>(2018) Diseño y desarrollo de vectores sintéticos inducibles no convencionales para la producción de vacunas de ADN (segunda etapa de 3)</p>
Favorecer el intercambio, cooperación internacional y vinculación de especialistas en bioseguridad y biotecnología	Facilitar el intercambio internacional de información y experiencias científicas y técnicas en bioseguridad y biotecnología	No se especifican logros relacionados con salud
	Coordinar la cooperación e intercambio de información con instituciones internacionales	
	Promover iniciativas de fortalecimiento de capacidades regionales en bioseguridad	
Promover la comunicación, difusión y apropiación social del conocimiento en bioseguridad y biotecnología.	Fomentar la comunicación continua de información en bioseguridad y biotecnología hacia la sociedad	No se especifican logros relacionados con salud
	Impulsar programas y acciones para el fortalecimiento de la cultura en bioseguridad y biotecnología	

Fuente: PECiTI 2014-2018 (CONACYT, 2014)

A pesar de que en el PECiTI se presenta claramente al desarrollo de la biotecnología como un factor clave para el crecimiento nacional, la aplicación a la salud ocupa un lugar pequeño dentro de los objetivos y acciones para alcanzarlos. Prueba de ello son los contados logros que se tienen en este ámbito relacionados con los que se alcanzan en el sector agrícola. Es evidente que el programa prioriza la innovación de la biotecnología con fines agroalimentarios y es por ello que se logran pocas cosas orientada a la salud.

Del Programa Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (PECiTI), se desprenden las Agendas Estatales y Regionales de Innovación. Su objetivo es impulsar a los sectores productivos explotando las ventajas competitivas de cada sector geográfico intensificando la inversión en las áreas de conocimiento relacionadas con dichas ventajas. Otra forma de encontrar proyectos puestos en marcha de biotecnología en salud es a través de estas agendas, que son presentadas por los gobiernos de cada entidad federativa.

Proméxico hace esta labor e identifica proyectos de aplicaciones de biotecnología en salud en los estados del país. Algunas la toman como un área de especialización y otras como herramientas transversales en proyectos estatales. De esa información se puede separar a las actividades que específicamente aplican esta actividad con fines de salud. Los proyectos recientes que se pueden encontrar en agendas estatales relacionados con aplicaciones de biotecnología en salud se presentan en la Tabla 3, donde se puede observar que únicamente cuatro estados del país tienen acciones directas de aplicación de biotecnología en salud.

Tabla 3: Proyectos asociados a biotecnología en salud en las Agendas Estatales de Innovación

Estado	Proyecto	Descripción
	Fortalecimiento de la investigación aplicada en la unidad de anticuerpos terapéuticos y de diagnóstico	Agregar valor a los desarrollos tecnológicos relacionados con las aplicaciones farmacéuticas de anticuerpos terapéuticos y de diagnóstico
	Consolidación del laboratorio	Tener capacidades

Baja California	de bioseguridad nivel III y programa de vigilancia epidemiológica de la frontera	locales/regionales para la manipulación y detección de agentes biológicos, así como para la manufactura y modificación de los mismos, con el fin de contrarrestar sus efectos en humanos y animales
	Red Internacional de Bionanotecnología de Baja California	Mapear las capacidades de bionanotecnología en el estado y alinearlas con las tendencias mundiales. Articulación con San Diego, California para impulsar el desarrollo de actividades de innovación tecnológica, pruebas clínicas y preclínicas, desarrollo de prototipos para la industria biomédica (ingeniería y diseño). Impulsar la agricultura y acuicultura sustentable y tecnificada
Jalisco	Centro de Vacunación	Producción de biotecnológicos recombinantes para tratar salud humana y animal
	Centro de pruebas clínicas y preclínicas	Desarrollo de un sistema de validación de tecnología biomédica
	Parque Biotecnológico	Creación de un parque enfocado al desarrollo de vacunas recombinantes y terapias génicas en el estado
	Centro de Ingeniería Biomédica	Desarrollo y generación de un modelo replicable de incubación de negocios en ingeniería biomédica
	Laboratorios de investigación biofarmacéutica	Consolidación de laboratorios para combatir enfermedades infectocontagiosas y crónicas degenerativas
	Establecimiento e impulso a	Integrar las capacidades del

Morelos	consorcios de investigación a nivel nacional e internacional	sector Farmacéutico y Biofarmacéutico. Promover la investigación básica y aplicada para el desarrollo de soluciones innovadoras.
	Planta de escalamiento de procesos biotecnológicos certificada para el desarrollo, producción y purificación de fármacos	Construcción de una planta que permita el desarrollo, producción y control de fármacos biotecnológicos bajo las normas requeridas
	Certificación y acreditación de Bioterio y el Laboratorio de Análisis Molecular y Medicamentos Biotecnológicos (LAMMB)	Certificar y acreditar el Bioterio y el LAMMB del IBt de la UNAM para contar en Morelos con los únicos laboratorios de terceros autorizados para la caracterización de biotecnológicos
	Estudio de necesidades en la cadena de valor de la industria de la Salud y Biotecnología	Maximizar el potencial del sector Salud del estado mientras se minimizan los costos de la creación de productos para ser más competitivo en el mercado internacional.
Nuevo León	Multi-clúster. Integración de un centro de diseño, incubación y pruebas de dispositivos médicos	Integrar un centro de diseño y de pruebas de dispositivos médicos, que cuente con una plataforma tecnológica capaz de aprovechar las oportunidades de negocio mediante la asesoría tanto a las empresas nuevas como las existentes que participen en este mercado.
	Pastilla para colesterol	Desarrollo de una pastilla para reducir niveles de colesterol en la sangre

Fuente: Proméxico

5.3. Producción científica de Biotecnología en salud

La búsqueda de producción científica en México se hace principalmente a través de la información pública que CONACYT comparte a través de su portal, donde informa sobre centros públicos de investigación, Institutos Nacionales de Investigación, número de investigadores y proyectos en diferentes fondos (fondo sectorial de salud e incentivos a innovación).

En este punto es importante mencionar que, además de la información disponible en la página del CONACYT, se procede también a revisar los sitios de cada uno de los laboratorios e institutos puesto que en ocasiones no es suficiente, en este caso, si se desarrolla biotecnología en salud. También hay que aclararle al lector que, como se recurre a sitios independientes, además de ser incompleta en muchas ocasiones, la información a continuación cuenta con un alto grado de heterogeneidad, ya que cada uno de los organismos presenta información de distintos tipos y con distintos niveles de especificidad. En algunos casos, incluso hubo necesidad de indagar en la experiencia, la formación y los proyectos de los investigadores que se encuentran en los laboratorios para determinar si existe conocimiento alojado en esta actividad en los organismos.

5.4.1. Centros de Investigación CONACYT con investigación de biotecnología en salud

El total de centros de investigación CONACYT se divide en cinco coordinaciones de acuerdo con el campo de estudio en los que se enfocan, siendo:

- Coordinación 1: Materiales Manufactura Avanzada y Procesos Industriales
- Coordinación 2: Física Y Matemáticas Aplicadas y Ciencia De Datos
- Coordinación 3: Medio Ambiente, Salud y Alimentación
- Coordinación 4: Política Pública y Desarrollo Regional
- Coordinación 5: Procesos de la Sociedad y la Cultura

Siendo la tercera donde se alojan estudios de biotecnología y que cuenta con ocho centros de investigación, que son:

- Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. (CIAD)

- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)
- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIBNOR)
- Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, B.C. (CICESE)
- Centro de Investigación Científica de Yucatán, A.C. (CICY)
- El colegio de la Frontera Sue (ECOSUR)
- Instituto de Ecología, A.C. (INECOL)
- Instituto Potosino de Investigación Científica (PICYT)

Aunque todos tienen líneas de investigación relacionadas con biotecnología, únicamente tres de ellos practican aplicaciones en salud:

- Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (CIATEJ)⁵. Donde existe una línea de investigación (de 5) trata Biotecnología en general, donde se tocan algunos puntos asociados a la salud
 - Biología Molecular
 - Fermentación y Microbiología industrial
 - Obtención y Aplicación de Productos Naturales
 - Desarrollo de Vacunas Basados en Biotecnología

No tiene programas académicos específicos en salud, pero sí maestría y doctorado en innovación biotecnológica general.

- El Colegio de la Frontera Sur ⁶
Cuenta con una línea de investigación específica en salud y otra que contiene temas sociales, culturales y de salud unidos. Dedicó un departamento en su totalidad a la investigación en el área de salud, que contiene nueve investigadores, pero ninguno muestra en su perfil experiencia o actividades en biotecnología y no existen publicaciones o proyectos que indiquen que esta actividad se practica en este

⁵ www.ciatej.mx

⁶ www.ecosur.mx

departamento. Es decir, hacen investigación en salud, pero ninguno aplicando biotecnología.

- Instituto Potosino de Investigación Científica (IPICYT)⁷

Tiene una línea de investigación en Biología Molecular, que se divide en las siguientes áreas

- Agrobiología Molecular
- Biomedicina Molecular
- Biotecnología Moderna

Además, desde el año 2002 tiene programas en maestría y doctorado de Biología Molecular que incluyen una línea de investigación en biotecnología, donde se trata, entre otros temas, metabolitos de interés farmacológico. En esta área se cuentan cinco investigadores con grado de doctor y un laboratorio de biotecnología médica. En total se han graduado 202 alumnos de maestría y 109 de doctorado. Aunque lamentablemente no existe información sobre cuántos se han graduado específicamente con especialización en farmacología.

5.3.3. Laboratorios Nacionales con estudios de biotecnología en salud

Los laboratorios nacionales son unidades de investigación especializada para el desarrollo científico e innovación en áreas importantes en el contexto mexicano. Sus principales funciones son la investigación, formar recursos humanos y prestar servicios relacionados con el conocimiento que se utiliza y se genera en ellos, con los que, además, se obtienen ganancias que les ayudan para desempeñar sus actividades.

El directorio de laboratorios nacionales en el portal del CONACYT contiene una clasificación dedicada a la investigación en Salud, Genómica y Biotecnología, dentro de la cual, se pueden identificar algunos laboratorios que explícitamente utilizan biotecnología aplicada a temas de salud. Entre paréntesis se mencionan instituciones con las que colaboran para la generación de conocimiento.

- Laboratorio Nacional de Biotecnología Agrícola, Médica y Ambiental (IPICYT/ IT-Celaya)⁸. Donde se practican las siguientes actividades:

⁷ www.ipicyt.edu.mx

- Secuenciación de productos de PCR, clonas, micro RNAs y metagenomas; PCR en tiempo real.
- Detección de patógenos de humanos, y patógenos de plantas (virus, bacterias y hongos).
- Detección de macro, micronutrientes, contaminantes y plaguicidas en suelo, agua y alimentos.
- Laboratorio Nacional de Apoyo Tecnológico a las Ciencias Genómicas⁹ (UNAM/ INMEGEN)
 - Se practica secuenciación masiva de DNA, bioinformática, espectrometría de masas de macromoléculas
- Laboratorio Nacional para la Producción y Análisis de Moléculas y Medicamentos Biotecnológicos¹⁰ (UNAM/ INMEGEN)
 - Dedicado a la producción de pruebas de comparabilidad fisicoquímica de medicamentos biotecnológicos.
- Laboratorio Nacional de Servicios Especializados de Investigación, Desarrollo e Innovación (I+D+i) para Farmoquímicos¹¹ (IPN/ UNAM/ VITAGÉNESIS)

Con los siguientes temas relacionados con biotecnología en salud

 - Ingeniería, diseño, expresión y producción de proteínas para uso humano y veterinario.
 - Evaluación fisicoquímica, toxicidad preclínica y clínica de biotecnológicos para uso humano.
 - Evaluación de eficacia de nuevos fármacos, medicamentos y dispositivos médicos.
- Laboratorio Nacional de Canalopatías (UNAM/ BUAP/ UCOL)¹²

Especifica dentro de su catálogo los siguientes proyectos relacionados con biotecnología en salud

⁸ www.lanbama.ipicyt.edu.mx/

⁹ www.inatcg.unam.mx

¹⁰ www.lammb.unam.mx

¹¹ www.lanseidi.com

¹² www.canalopatias.ifc.unam.mx/

- Búsqueda de un contraceptivo masculino basado en la inhibición específica de los canales iónicos CatSper y Slo3 del espermatozoide humano (Colaboración con el “Consortio del espermatozoide” del Instituto de Biotecnología de la UNAM).
- Caracterización del canal de potasio Slo3 expresado en células HEK-293 y CHO mediante patch-clamp automatizado (Colaboración con el Instituto de Biotecnología de la UNAM).
- Estudio de la relación entre el voltaje de membrana y el pH intracelular en espermatozoide humano mediante citometría de flujo (Colaboración con el Instituto de Biotecnología de la UNAM).
- Estudio de la relación entre el voltaje de membrana y el pH intracelular en espermatozoide humano mediante citometría de flujo (Colaboración con el Instituto de Biotecnología de la UNAM).
- Laboratorio Nacional de Estructura de Macromoléculas del Centro de Investigaciones Químicas de la Universidad Autónoma de Morelos ¹³
 - Contiene un cuerpo académico de investigación en Química Farmacéutica y Biotecnología, donde se utilizan métodos biotecnológicos para la obtención de metabolitos secundarios bioactivos.
- Laboratorio Nacional de Medicina Personalizada del Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco¹⁴
 - Tiene una línea de investigación en Biotecnología Médica y Farmacéutica con cuatro sublíneas
 - Desarrollo y evaluación de productos con potencial terapéutico
 - Desarrollo y evaluación de vacunas y compuestos inmunomodulares
 - Ingeniería biomédica de medicamentos biotecnológicos e ingeniería de tejidos
 - Desarrollo y validación de pruebas de diagnóstico molecular

¹³ www.lanem.mx

¹⁴ www.ciatej.mx/servicios-industria/medica-farmaceutica/lamper

5.3.4. Instituciones de educación superior que desarrollan investigación científica y tecnológica y tienen oferta académica en biotecnología aplicada a la salud o que incorporan esta actividad en sus programas.

- Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)
 - Instituto Nacional de Biotecnología de la UNAM¹⁵

Se divide en cinco departamentos, pero sólo los siguientes tres incluyen aplicaciones a la salud

- Depto. De Genética del Desarrollo y Fisiología Molecular, con los siguientes temas:
 - Aspectos moleculares y celulares de la comunicación peptidérgica en el sistema nervioso
 - Biología celular de la infección por rotavirus y astrovirus. Genómica funcional de la interacción virus-célula huésped. Metagenómica viral.
 - Biología celular de la infección por rotavirus y astrovirus. Genómica funcional de la interacción virus-célula huésped. Metagenómica viral.
 - Degeneración y regeneración tisular
 - Las neuronas trhérgicas, el estrés y la homeostasis energética
- Depto. De microbiología molecular, con los temas:
 - Salmonela entérica: en la interfase de la biología molecular y la epidemiología
 - Análisis de genomas y proteomas
 - Regulación y función de factores de virulencia en enterobacterias: Escherichia Coli Enteropatógena (EPEC), E. Coli Enterohemorrágica (EHEC), Citrobacter Rodentium y Salmonella Typhimurium
- Depto. de Medicina Molecular y Bioprocesos, con los siguientes proyectos:
 - Activación y regulación de la respuesta inmune

¹⁵ www.ibt.unam.mx

- Bioingeniería del cultivo de células eucariotes superiores.
 - Ingeniería de bioprocesos para la producción de proteínas recombinantes de uso terapéutico
 - Biotecnología de anticuerpos terapéuticos y diagnósticos, y toxicología aplicada
 - Construcción y selección de bibliotecas de anticuerpos humanos y murinos desplegados en fagos filamentosos para el aislamiento y caracterización de anticuerpos con fines de diagnóstico y terapéuticos. Estudios de las propiedades fibrilogénicas de la familia de cadenas ligeras lambda 3R y lambda 6
 - Estudios de estructura-función, síntesis química y biológica. Y aplicaciones biotecnológicas de biomoléculas provenientes de venenos de animales
 - Eventos moleculares involucrados en la intoxicación por el veneno de alacranes
 - Neuroinmunobiología
- Centro de Ciencias Genómicas-Morelos
 - Recientemente trata aspectos relacionados con genómica humana y también con una nueva licenciatura en ciencias genómicas donde se aborda medicina genómica y oncogenómica, entre otras.
 - Instituto de Investigaciones Biomédicas
 - Tiene una línea de investigación específica en biotecnología combinada con biología molecular
 - Instituto Politécnico Nacional (IPN)

Tiene una red de biotecnología, sin embargo, en los proyectos de esta no se encuentra nada que tenga que ver con salud. Pero algunos de los integrantes de esta, individualmente sí tienen actividades de este tipo.

- Centro de Investigación en Biotecnología Aplicada (CIBA) Tlaxcala ¹⁶
 - Una línea de investigación (1 de 6) en Biotecnología Genómica
- Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI) ¹⁷
 - Cuenta con una ingeniería biotecnológica a nivel licenciatura, pero nada específico en salud en posgrados (posgrados en biotecnología productiva y en bioprocesos)
- Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) ¹⁸
 - Maestrías en ciencias en biomedicina y biotecnología molecular; doctorado en ciencias en biomedicina y biotecnología molecular
- Centro de Biotecnología Genómica (CBG) ¹⁹
- Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) ²⁰ en Sinaloa
 - Doctorado en ciencias biotecnológicas
- Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional Unidad (CIIDIR) Durango ²¹
 - Doctorado en ciencias biotecnológicas
- Escuela Superior de Medicina (ESM) ²²
 - Maestría en ciencias en farmacología
- Escuela Nacional de Medicina y Homeopatía (ENMH) ²³
 - Doctorado en ciencias en biotecnología
- UAM
 - Unidad Cuajimalpa
 - Sólo ha tenido un proyecto relacionado con biotecnología en salud, llamado Estudio de los efectos de la biofuncionalización de

¹⁶ www.cibatlaxcala.ipn.mx

¹⁷ www.upibi.ipn.mx

¹⁸ www.encb.ipn.mx

¹⁹ www.cbg.ipn.mx

²⁰ www.ciidirsinaloa.ipn.mx

²¹ www.ciidirdurango.ipn.mx

²² www.esm.ipn.mx

²³ www.enmh.ipn.mx

nanoplateformas teranósticas con anticuerpos monoclonales humanizados en el diagnóstico y tratamiento selectivo de cáncer epitelial de ovario (Aprobado en mayo de 2015 y tuvo duración de 3 años) (UAM Cuajimalpa, 2020)

- Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM)
 - Maestría y Doctorado en Biotecnología. Tienen una línea de investigación en biotecnología farmacéutica y médica.
- Universidad Iberoamericana (Campus Ciudad de México)
 - Maestría en Ciencias en Ingeniería Química
- Universidad de las Américas Puebla
 - Maestrías en Biotecnología y en Biomedicina Clínica

5.3.5. Institutos Nacionales que hacen investigación en biotecnología aplicada a la salud

- Instituto Nacional de Medicina Genómica (INMEGEN)
- Instituto Nacional de Enfermedades Respiratorias (INER)
- Instituto de Diagnóstico y Referencia Epidemiológica (InDRE)
- Instituto Nacional de Perinatología (INP)

5.3.6. Sistema Nacional de Investigadores (SNI)

De este aspecto hay que destacar que la búsqueda de investigadores en el Sistema Nacional es complicada, puesto que esta actividad no se encuentra únicamente dentro de un apartado, sino que puede estar, tanto en el espacio de Biotecnología y Ciencias Agropecuarias, como en el de Medicina y Ciencias de la Salud. Además, el padrón tiene información incompleta para algunos investigadores y no se especifica su área de especialidad.

En el padrón del SNI vigente al 2020, se pueden identificar en total 44 investigadores (representa el 0.11% del total de SNI) que tienen actividades de biotecnología aplicada a la salud y están clasificados en dos áreas de conocimiento diferentes: Medicina y Ciencias de la Salud (9 investigadores) y en Biotecnología y Ciencias Agropecuarias (36 investigadores). Todos tienen el grado de doctor y de los cuales 22 son mujeres y 22 hombres.

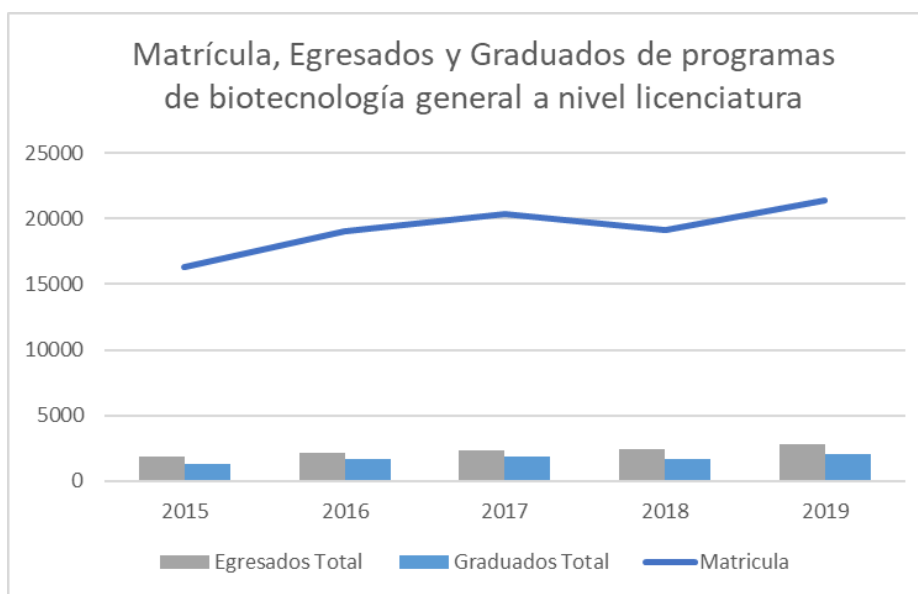
Estos se encuentran distribuidos en el territorio nacional de la siguiente forma: CDMX (6 investigadores), Baja California (1 investigador), Chihuahua (3 investigadores), Coahuila (1 investigador), Estado de México (3 investigadores), Michoacán (1 investigador), Nuevo León (8 investigadores), Tamaulipas (2 investigadores), Veracruz (2 investigadores), Yucatán (3 investigadores), Campeche (1 investigador), Jalisco (1 investigador), Tlaxcala (1 investigador), Sonora (1 investigador), Oaxaca (1 investigador), Durango (1 investigador) y el resto (7 investigadores) no tienen información sobre su lugar de residencia.

5.3.7. Matrículas en programas educativos de biotecnología en salud

De acuerdo con la información que la Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior en México (ANUIES) otorga, se puede observar, por un lado, que a nivel licenciatura, la matrícula de carreras de biotecnología ²⁴ ha aumentado en el período de 2015 a 2019, pero no es un crecimiento pronunciado.

Por otro lado, cuando se trata de nivel de nivel posgrado, se pueden encontrar únicamente dos programas que se establecen específicamente para biotecnología en salud (Doctorado en Ciencias en Biomedicina y Biotecnología Molecular y Maestría en Ciencias en Biomedicina y Biotecnología Molecular), ambos se encuentran en el Instituto Politécnico Nacional y de igual manera son los únicos de este rubro específico en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del CONACYT. Dado que son pocos programas que se dedican a este ámbito, la oferta de lugares es reducida y prácticamente no tiene crecimiento en todo el período, de igual manera los recursos humanos especializados que envían al mercado laboral.

²⁴ Es importante aclarar que, al no encontrar programas específicos sobre biotecnología en salud a nivel licenciatura, se presentan los datos de la matrícula en carreras de la actividad que no especifican una aplicación específica de este campo de conocimiento

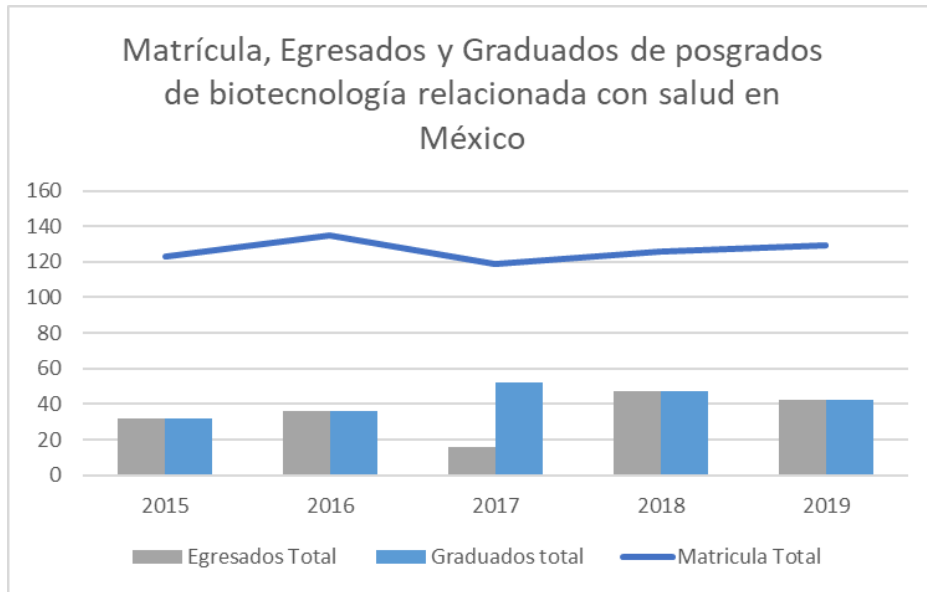
Gráfica 8 Matrícula, egresados y graduados en licenciatura²⁵

Fuente: ANUIES

²⁵ Matrícula: Conjunto de alumnos inscritos durante un ciclo escolar en una Institución o plantel educativo. Egresado: Alumno que, habiendo aprobado todas las asignaturas y requisitos establecidos de un programa de estudios durante el ciclo escolar inmediato anterior, se hace acreedor al respectivo certificado de estudios.

Graduado: Alumno que al término del ciclo escolar anterior obtuvo el grado que reconoce legalmente la culminación de los estudios del programa, independientemente del año de egreso. En esta publicación el término se utiliza sólo en posgrado. (ANUIES, 2020)

Gráfica 9 Matrícula, egresados y graduados a nivel posgrado



Fuente: ANUIES

5.4. Sector privado

Hay cuatro principales aplicaciones productivas de la biotecnología en salud

- tratamientos y vacunas para prevenir y curar enfermedades (biofarmacéuticos, tratamientos experimentales –ingeniería celular y tisular, terapias génicas y con células madre, etc.-, terapéutica de moléculas pequeñas –mejora de eficacia y fármacos efectivos de acuerdo con el perfil genético de los pacientes-)
- métodos de diagnóstico
- farmacogenómica (medicina personalizada)
- producción de dispositivos médicos (biosensores, tejidos biológicos, etc.).

De acuerdo con esta clasificación, ProMéxico (2017) distingue a las empresas biotecnológicas como “aquellas que utilizan al menos una técnica biotecnológica para producir bienes o servicios y/o realizar actividades de I+D” y las divide en tres diferentes tipos:

- Grandes empresas integradas (GEI): realizan la mayor parte de las actividades necesarias para desarrollar un producto biotecnológico (Investigación y desarrollo (I+D), producción, distribución y comercialización).
- Empresas dedicadas a la biotecnología, denominadas también empresas completamente biotecnológicas (ECB). Buscan desarrollar aplicaciones comercializables de los resultados de Investigación y desarrollo (I+D) realizada en universidades y hospitales y, por lo general carece de los medios para fabricar y distribuir sus productos y servicios.

por lo general requieren de años para desarrollar un producto o servicio comercializable, por lo que sea para licenciamiento o para desarrollar investigación bajo contrato, dependen de diversas fuentes de financiamiento como lo son: fondos de capital de riesgo, ofertas públicas de acciones y acuerdos con grandes firmas integradas. Las ECB por lo general requieren de años para desarrollar un producto o servicio comercializable, por lo que sea para licenciamiento o para desarrollar investigación bajo contrato, dependen de diversas fuentes de financiamiento como lo son: fondos de capital de riesgo, ofertas públicas de acciones y acuerdos con grandes firmas integradas.

- Empresas de Investigación y desarrollo (I+D): empresa que realiza I+D en Biotecnología. Y dentro de esta categoría se encuentran las:
 - Empresas de I+D dedicadas a la biotecnología: que son las que dedican al menos el 75% o más de su capacidad de investigación total a la I+D en biotecnología.

Las ECB son proveedoras de tecnología para las GEI y así consiguen ingresos, credibilidad y un lugar en las cadenas de valor, pues en realidad no desarrollan productos con la intención de insertarlos en el mercado.

En aplicación de salud, se ha generalizado una concentración de mercado en grandes farmacéuticas. Sin embargo, hay grandes cantidades de recursos a bajo costo (promovidos por subvenciones del gobierno) que permiten la sobrevivencia independiente de empresas completamente biotecnológicas e incluso, en el área de la salud, algunas llegan a vender productos en el mercado final, además de ofrecer servicios o tecnologías intermedias.

También es común que las GEI adquieran ECB, pero esta última categoría no tiene altas barreras de entrada, por lo que se forman nuevas continuamente y se mantiene la proporción.

Específicamente en el sector de la salud, se observa una reducción en la operación de ECB debido a que la productividad de la I+D en la producción de biomedicamentos provoca que los retornos de las inversiones no sean suficientes para incentivarlas y esto está cambiando el comportamiento de estas empresas (ProMéxico, 2017). Esto implica que se alojen en nichos de mercado con mayor certidumbre y en proyectos de corto plazo. También se cree que las grandes empresas farmacéuticas transitarán del financiamiento de I+D para fármacos de uso general para incursionar en nuevos modelos de negocio basados en medicina personalizada, que se desprende de la farmacogenómica.

De acuerdo con ProMéxico (2017) basado en datos de la OCDE, la salud es la principal área de aplicación de la biotecnología en la mayoría de los países que integran esta organización. Mismo caso para México, donde la salud es la principal área de aplicación, seguido por el medio ambiente, alimentos y bebidas, y por último agricultura y procesos industriales en similar medida.

El rastreo de empresas en México es una tarea complicada puesto que no existe información certera sobre esto y por ello no se sabe con exactitud cuántas existen, la naturaleza de sus actividades ni el tamaño de todas, pero en un acercamiento, ProMéxico (2017) identifica al menos 196 empresas con actividades relacionadas con biotecnología aplicada a la salud. De estas, no pueden conocer el tamaño de dos terceras partes, y de una tercera parte se sabe que el 15.8% son microempresas, 6.6% son pequeñas, 9.7% son grandes y 10.7% son empresas grandes (en este rubro se encuentran las filiales de las farmacéuticas transnacionales en México). De estas empresas, se sabe también que la mayoría están alojadas en la Ciudad de México (100), Jalisco (28) y Estado de México (17).

Y también esta dependencia encuentra algunos de los proyectos más importantes para la biotecnología aplicada en la salud en México, la organización que la lleva a cabo y la entidad federativa donde se encuentran.

- Investigación y desarrollo tecnológico para la fabricación industrial en México de un anticuerpo monoclonal clave Y02-Ak desde el gen hasta el medicamento validado preclínicamente (Probiomed-Ciudad de México).
- Pruebas de potencia y preescalamiento de una vacuna recombinante bivalente contra la enfermedad de Newcastle e Influenza Aviar (IASA-Ciudad de México).
- Creación de vacuna contra influenza (Liomont-Ciudad de México).
- Desarrollo Farmacéutico de un sistema de liberación prolongada para un péptido inhibidor de fusión (Enfuvirtida T20), como terapia anti-VIH; con impactos económicos potenciales para el sector salud (Innovare R&D- Ciudad de México).
- Solución oftálmica de aplicación tópica, constituida por un anticuerpo monoclonal antiangiogénico (ranibizumab) incorporado a un sistema de liberación nanotecnológico (qusomes), dirigida al tratamiento de la degeneración macular relacionada a la edad (Pharmacos Exakta-Jalisco)
- Producción de vacuna contra newcastle en células transgénicas de alfalfa para uso en salud animal (Unima Soluciones Naturales-Jalisco)
- Desarrollo de una plataforma diagnóstica para la detección cuantitativa de alteraciones genómicas en pacientes con leucemia aguda (Genyka Diagnóstico-Morelos)
- Sistema diagnóstico de riesgo para cáncer de mama y ovario: su utilidad para evaluar respuesta farmacológica (Genyka Diagnóstico-Morelos).
- Pruebas finales de vacunas recombinantes con inmunopotenciadores para incrementar la respuesta inmune de las aves contra la enfermedad de Newcastle (IASA-Puebla).
- Desarrollo de vacuna "diva" polivalente contra influenza aviar h5n2-h7n3 en tejido vegetal y su producción bajo parámetros industriales (Viren-Querétaro).
- Innovación de un anticuerpo anticitocinas (VEGF) para su utilización en cáncer de mascotas (CICESE licenció su tecnología a una empresa-Baja California).
- Desarrollo de nuevos productos tópicos biorgánicos para el tratamiento de micosis cutáneas superficiales de humanos por acción de fitomoléculas presentes en extractos vegetales (GBS Global-Coahuila).

- Desarrollo de sistemas nanobiotecnológicos para la obtención de antioxidantes de consumo humano, de alta efectividad (Nanoingredientes Bioactivos-Coahuila).

6. El nicho: biotecnología para la diabetes

De acuerdo con lo que se ha dicho, en este nivel de agregación se identifican a las acciones individuales dentro de un área específica (casos exitosos de innovación disruptiva) que están naciendo dentro del sistema y que conllevan inestabilidad la introducción de nuevos actores en él. Para lo cual es relevante estudiar con qué fuerza se desarrollan, qué tan maduros están y en qué medida han logrado transformar las reglas del juego para así conformar reconfiguraciones que cambien el sistema.

En el caso de la biotecnología en México, por la naturaleza de esta actividad, que implica un campo complejo interdisciplinario, transversal e intensivo en conocimiento, la gran parte de recursos invertidos en investigación y desarrollo provienen del sector público (Senado de la República Mexicana, 2018), que como se ha observado, se hace mediante asignación de recursos económicos a la academia, los centros públicos de investigación y los fondos gubernamentales de incentivo a la innovación en las empresas.

Por otro lado, que exista una movilización de dinero para estas actividades de I+D, no garantiza que se produce innovación, pero se puede afirmar que se genera cierto conocimiento que bien puede ser útil para conseguirla. Con ello, entiende que el grueso del conocimiento producido está acarreado desde este segmento y se justifica que el rastreo se haga desde las universidades, los centros públicos de investigación o los proyectos aceptados en las diversas convocatorias de fondos para ciencia, tecnología e innovación del CONACYT.

Se ha argumentado que, con el desarrollo de la biotecnología como actividad, cada vez se contribuye a más ámbitos de la vida humana, entre ellos el control y prevención de enfermedades que atacan a la población mundial. La biotecnología en el ámbito de la salud ha permitido alcanzar métodos más eficientes y específicos en el diagnóstico y tratamiento

de estos padecimientos mediante una mejor comprensión del genotipo humano. (Torres-Romero, Ramírez, Lara, & Arana-Argáez, 2019)

Una de estas aplicaciones de la biotecnología en salud es para el diagnóstico y tratamiento de *diabetes mellitus*²⁶. Se observó en nivel agregado que está en las principales causas de muerte en la población mexicana y que presenta retos mayores para el sistema nacional de salud. Por lo cual, la aplicación de biotecnología para buscar soluciones puede ser clave ante esta problemática y se elige este nicho como foco de análisis.

Si bien, se puede encontrar un gran número de proyectos de investigación y desarrollo relacionados con diabetes tanto en universidades, centros públicos de investigación, institutos de salud y en empresas por medio de las convocatorias de fondos para innovación, difícilmente pueden encontrarse proyectos que involucren biotecnología. Esto puede asociarse al alto grado de sofisticación y tecnología que requiere como actividad y que no es una práctica que ha madurado en México.

Para la caracterización del nicho, se ha tratado de emparejar la información de los actores relevantes en la generación de conocimiento de biotecnología en salud recabada para el nivel del régimen sociotécnico con una revisión en CONACYT de las bases de datos del Fondo Sectorial de Salud y el Programa de Estímulos a la Innovación para encontrar institutos que participen realizando actividades de investigación y desarrollo en cuestión de salud.

De este proceso se obtuvo que los dos institutos con mayor actividad en la generación de conocimiento de este ámbito son la Universidad Autónoma de México (UNAM) y el Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), por lo cual se ha hecho búsqueda de proyectos asociados a la diabetes e indagar en estos si se ha hecho uso de biotecnología en su desarrollo.

²⁶ La diabetes es una enfermedad crónica que aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. La insulina es una hormona que regula el azúcar en la sangre. El efecto de la diabetes no controlada es la hiperglucemia (aumento del azúcar en la sangre), que con el tiempo daña gravemente muchos órganos y sistemas, especialmente los nervios y los vasos sanguíneos. (Organización Mundial de la Salud, 2020)

Paralelamente, en la recolección de información del régimen sociotécnico, se observó que el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) campus Guadalajara ha logrado conformar un equipo importante en biotecnología farmacéutica con conocimiento acumulado. Entre sus proyectos se ubicó uno que, sin financiamiento público, desarrolla un nuevo producto para mejorar la calidad de vida de personas con diabetes.

Hasta ahora se puede afirmar que en los últimos años sí hay algunos proyectos que se han considerado como exitosos y disruptivos en la concepción actual de tratamiento y diagnóstico de esta enfermedad. Sigue ver cuál es la situación detallada de los proyectos encontrados en estas instituciones y medir su nivel de maduración, es decir, cómo a partir de sus productos novedosos se han expandido olas que afectan el marco institucional, el paradigma tecnológico, las reglas y el sistema sociotécnico en conjunto.

Empezando por el CIATEJ, este centro cuenta con estudios avanzados en biotecnología médica y farmacéutica y el único de todo el directorio de centros de investigación CONACYT, que realiza constantemente estudios en el área de diabetes, mismos que le han permitido desarrollar conocimiento para cooperar con soluciones que reduzcan los efectos de esta enfermedad.

En conjunto con la Universidad de Monterrey y la Universidad de Arizona, el centro trabaja en un método de detección temprana de tuberculosis en pacientes que padecen diabetes tipo II. Si bien, este proyecto no está directamente dirigido a tratar la diabetes, está enfocado en mejorar la calidad de vida de las personas que la padecen porque tienen más probabilidades de contraer tuberculosis, además de que la combinación de ambas enfermedades implica complicaciones mayores debido a que la diabetes afecta la reacción del cuerpo ante los antibióticos y ataca el sistema inmune. Lo relevante de esta prueba es que alcanzaría altos niveles de eficiencia, comercialización y escala, que facilitaría su uso en consultorios o laboratorios pequeños y que, además, lograría tener un diagnóstico en tiempo y precio considerablemente menores a los que se encuentran hoy día. (Valdez, 2020)

Es importante mencionar que, en las convocatorias del Fondo Sectorial de Salud del CONACYT, aparecen diversos proyectos que estudian la incidencia y efectos de tuberculosis en pacientes con diabetes, pero no existe alguno que sea tan desarrollado,

además de que no hay disponibilidad de información para consultar si utilizan biotecnología en ellos.

Por otro lado, el CIATEJ tiene uno de los pocos grupos de investigación en México que estudia medicina regenerativa, donde se practica el uso de células madre para el tratamiento de órganos y tejidos dañados y pueda funcionar como tratamiento para enfermedades que hoy no tienen cura. El grupo de investigadores está enfocado en procesos crónico-degenerativos, entre ellos la diabetes. (CONACYT , 2020)

Aunque esta práctica está aún en etapa de madurez y es aún más inmadura específicamente en términos de tratamiento para diabetes, el CIATEJ informa que actualmente se trabaja en un proyecto que utiliza células madre de los dientes para formular un tratamiento contra la diabetes. Se busca utilizar biomoléculas para potenciar la diferenciación de células madre dentales hacia células beta pancreáticas, que son las que se encargan de generar insulina en el organismo (Cruz, 2019). La titular del proyecto, Flor Flores Hernández, es egresada de la Universidad Autónoma Metropolitana y esto es relevante de rescatar porque, de acuerdo con lo observado en esta investigación, esta universidad ha figurado poco en el papel del desarrollo de la biotecnología aplicada en salud.

En el año 2014, este proyecto obtuvo recursos del Fondo Sectorial de Salud otorgados por la Secretaría de Salud, el Instituto Mexicano del Seguro Social (IMSS), Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado (ISSSTE) y el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT). (CONACYT, 2014)

Además de los proyectos anteriores, en el CIATEJ también tienen otras vertientes de actividades que relacionan a la biotecnología con la diabetes, aunque estas se comprenden en el área vegetal. Un ejemplo de esto es un desarrollo de pan con fructanos de agave, que funciona con beneficios metabólicos para personas con diabetes. Se busca utilizar esto en alimentos con altos niveles de almidón y de alto consumo, como lo es el pan. El beneficio de este producto es disminuir la velocidad en que el organismo absorbe la glucosa de los alimentos. (Vilchis, 2018)

En la UNAM un grupo de estudiantes trabaja en la construcción de un dispositivo para tratar la diabetes tipo I llamado Proinsulitron. La última información que existe sobre el desarrollo de este artefacto dice que está en etapa de pruebas médicas. El dispositivo es de aplicación subcutánea con dos compartimentos, uno que contiene una bacteria modificada que monitorea niveles de glucosa en el cuerpo y otra que suministra insulina, que además tiene la ventaja de personalizarse de acuerdo con las necesidades de cada persona. (Fundación UNAM, 2020)

En este caso, la biotecnología se combina con ingeniería mecánica y en el trabajan estudiantes de medicina, ciencias genómicas, ingeniería y fármaco-biología. El objetivo es que se consiga llevar al mercado con las ventajas de ser cómodo, económico y seguro. Este proyecto ya tiene varios años en desarrollo y a pesar de haber ganado el segundo lugar en la categoría de salud en el Concurso Estudiantil de Biología Sintética, el líder del proyecto habla de una complicación para obtener recursos por ser estudiante y no pertenecer a un programa de alguna dependencia (Piña, 2016). Desafortunadamente, no existen noticias actuales que informen sobre el estado actual del Proinsulitrón y parece que aún está en una etapa infante,

Otro instituto que tiene desarrollos relacionados con esta enfermedad es el ITESM, donde un grupo de estudiantes de Ingeniería en Biotecnología del campus Guadalajara ha estado estudiando la aplicación de la biotecnología para mejorar la calidad de vida de las personas que padecen diabetes mellitus. A través de su trabajo, el primer desarrollo que alcanzaron fue una biotinta que mide los niveles de azúcar en la sangre de los pacientes de forma no invasiva y sin dolor. Con ella, se presentaron en la competencia de Biología Sintética International Genetically Engineered Machine (IGEM) 2019. Con la biotinta *“las personas diabéticas que se inyectan con lanceta, ya no tendrán que hacerlo, ahora se pintarán parte de la piel para que la tinta cambie de color e indique el nivel de azúcar que tienen”* (Huerta, 2019).

Posterior a la participación IGEM, con la retroalimentación que obtuvieron decidieron cambiar la estrategia de innovación y con ello modificar el proyecto hacia el desarrollo de un parche en el que trabajan actualmente. Este parche contiene microagujas para medir los niveles de azúcar en la sangre fácilmente, sin dolor y de forma no invasiva y a través de una

conexión bluetooth envía el resultado a un teléfono celular. Esta segunda etapa de innovación es considerablemente más sofisticada y se entiende que existe un aprendizaje en el grupo de estudiantes, así como un progreso en el producto que buscan llevar al mercado. (Huerta, 2020)

De acuerdo con las características de un nicho propuestas en el marco teórico, se puede considerar a la biotecnología aplicada a la búsqueda de soluciones para el padecimiento de diabetes mellitus en este nivel de agregación. En primer lugar, aunque existe una gran oportunidad ante la necesidad de mejorar la calidad de vida de los enfermos, aún son pocos los proyectos que destacan en este ámbito y no existe evidencia de experiencias exitosas ya dentro del mercado y generando un impacto real para quienes padecen la enfermedad. Además, hay poca cooperación e interacción que favorezca esta actividad y las únicas que se pueden encontrar están dentro de la academia y no con el sector privado. Incluso en algunas experiencias se menciona la dificultad de encontrar los mecanismos de relación con empresas que faciliten la producción y comercialización de los productos biotecnológicos. Otro impedimento importante es el acceso a recursos de financiamiento, principalmente si no pertenecen directamente a un programa de alguna dependencia de gobierno.

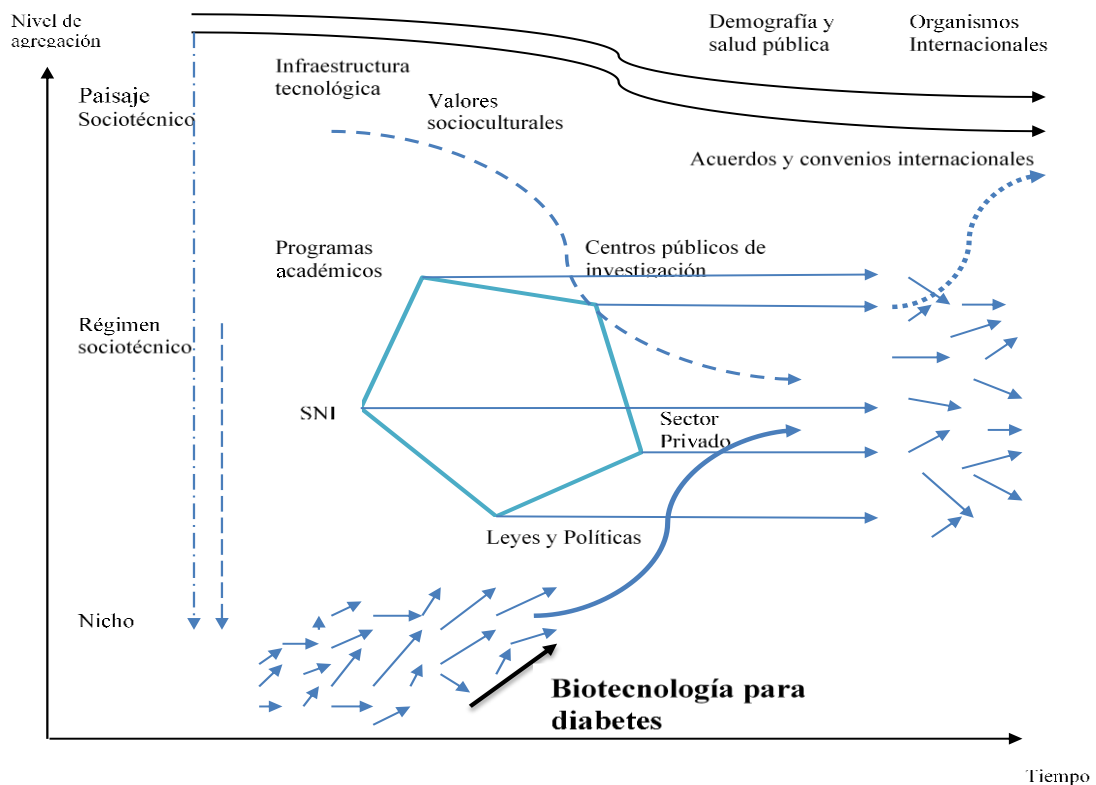
Sin embargo, a pesar de esta inmadurez del nicho, no se puede negar que existe un aprendizaje y acumulación de conocimiento en los actores, pues se observa continuidad y progreso en la complejidad de sus desarrollos tecnológicos. En este sentido, se puede afirmar que existe un pequeño nicho de conocimiento de frontera y disruptivo, pero aún está aislado del sector privado y del mercado. Una explicación para esto puede darse por la dificultad que tienen los nichos para abrirse paso en un sistema que aún no tiene reglas que les facilite el desenvolvimiento. Esta misma inmadurez se observa porque aún no están transformando las reglas que se encuentran en el sistema y no han comenzado a impactar en las condiciones de salud de las personas que se encuentran en él, pero el efecto potencial que tiene la biotecnología en la mejora de estas resulta esperanzador de cara al futuro.

Ahora, después de concluir el análisis de las tres dimensiones que componen el sistema sociotécnico, puede reproducirse el diagrama de esta perspectiva multinivel para el caso específico de la biotecnología aplicada a la salud en México. La ilustración 2 muestra la perspectiva general y los actores que se desenvuelven en cada nivel de agregación. Se ha

colocado, de acuerdo con la evidencia, a los actores en el nivel de agregación en el que indiquen tanto en el paisaje como en el régimen sociotécnico. También se ha ejemplificado cómo el nicho que se seleccionó se encuentra en un lugar inestable del sistema emergiendo acompañado de otros nichos diferentes.

Recordemos que por la complejidad que la tecnología y el enfoque contienen, ésta sólo es una forma de simplificar el sistema, pero en la realidad se encuentran mecanismos más complejos y multivariados. Una parte importante para destacar, en este sentido, es que los actores no siempre intervienen únicamente en un nivel de agregación y de la misma forma. Por ejemplo, es posible que exista un investigador del Sistema Nacional de Investigadores contemplado en el nivel del régimen sociotécnico, pero a su vez, en su campo de investigación puede aportar a la generación de conocimientos de un nicho en específico, por lo cual estaría interviniendo de diferente manera en dos dimensiones distintas.

Ilustración 2 Sistema Sociotécnico de Biotecnología en Salud en México



Fuente: Elaboración propia

7. Conclusiones

Desde el comienzo de esta investigación se ha enfatizado que la biotecnología aplicada en salud tiene un alto grado de complejidad y por su naturaleza multidisciplinar, es imposible colocarla dentro un sector específico o como un sector en sí misma. Esto genera un obstáculo analítico, por lo cual se ha decidido tomar un marco conceptual que es también complejo. Nos referimos al enfoque sociotécnico que consideramos idóneo para encontrar y analizar patrones de cambio que están fuertemente asociados con campos emergentes, como lo es la biotecnología, pero, por la complejidad que contiene, el principal reto que se ha enfrentado para lograr el objetivo es la operacionalización de dicho marco.

A partir del análisis con enfoque sociotécnico, se permite observar cómo a partir de las necesidades del contexto, se produce novedad y, esta a su vez, provoca movimientos generando nuevas reglas del juego, modificando la trayectoria tecnológica y reconfigurando el sistema. Esta novedad representa el nivel del nicho tecnológico, que para esta investigación fue seleccionado la aplicación de biotecnología en diabetes mellitus.

Una complicación importante al abordar este nivel fue que en los proyectos orientados al desarrollo de soluciones para esta enfermedad, es difícil identificar aquellos que efectivamente están apoyados en biotecnología. Sin embargo, los hallazgos muestran que, el nicho elegido efectivamente existe, se encuentra poco desarrollado, pues los productos, a pesar de que tienen un alto potencial de beneficios a la salud, aún están en fase de prototipo y no han logrado llegar al mercado. Tampoco existe evidencia de que los actores en este espacio se encuentran aislados en el sistema y esto no favorece su generación de conocimiento.

En el siguiente nivel, el régimen sociotécnico, a pesar de que, el enfoque habla de un espacio estable en actividades tecnológicas, se observó una débil configuración. Creemos que está en sintonía con la poca importancia que se le ha dedicado a esta actividad en toda la CTI nacional.

En la misma dirección, es claro que la falta de regulaciones y políticas específicas en biotecnología, tanto a nivel internacional como nacional, impide el establecimiento de instituciones que fomenten su desarrollo y con ello el efecto beneficio potencial que puede traerle al país en distintos ámbitos. Además, contar con fondos específicamente dirigidos

para esta actividad sería beneficioso porque incrementa la competencia exclusivamente entre las competidoras del ramo.

También es importante mencionar que la mayor parte de la actividad biotecnológica en México se aloja en el área agrícola y que se está dejando en segundo plano la práctica con fines directos en la salud, que de igual forma es importante y encuentra escenarios retadores en el futuro inmediato. Además, es llamativo que incluso en el Fondo Sectorial de Salud difícilmente se puedan encontrar proyectos que se basen en la aplicación de la biotecnología para estos fines, lo cual indica que aún no es una práctica generalizada entre las ciencias de la salud en México. Otra evidencia para apoyar lo anterior, es que tampoco se ha podido difundir esta práctica entre los intereses estatales, puesto que son pocos los que utilizan esta herramienta en la búsqueda de soluciones para mejorar la calidad de vida de la población y mucho menos existen estrategias de colaboración para atender las necesidades sanitarias nacionales.

Ante la falta de leyes y programas específicos para el desarrollo de la biotecnología, el PECiTI es el punto de referencia en este sentido. Sin embargo, a pesar de contemplar esta actividad como una herramienta clave para el desarrollo nacional, son pocos los logros alcanzados en temas de salud y aún no se encuentra una dinámica de casos exitosos que estén cambiando la calidad de la salud de la población. Por otro lado, una mínima parte de los científicos dedicados a biotecnología, se avocan a temas de salud y de igual manera, pocos son los programas educativos tanto de licenciatura como de posgrado, dedicados exclusivamente a esta área.

Por su parte, el paisaje de la biotecnología aplicada en la salud en México contempla factores específicos que representan la atmósfera donde esta actividad se lleva a cabo, como lo son las características demográficas, porque están estrechamente ligadas al estado de la salud en la sociedad; los valores y percepciones socioculturales sobre el uso de la tecnología y la mejora en la salud y, en general, la calidad de vida; y de las capacidades de infraestructura y de investigación y desarrollo porque al tratarse de una actividad intensa conocimiento y tecnología, estas cualidades marcan la frontera de capacidades para el desarrollo.

De acuerdo con estos indicadores analizados, es evidente que las condiciones agregadas sobre las cuales se encuentra la biotecnología en salud México no facilitan su crecimiento y evolución. El escenario tiene retos a sortear para poder incentivar el desarrollo eficiente de esta tecnología. Por un lado, la infraestructura y las condiciones en I+D muestran un estancamiento importante y un rezago notorio respecto a otros países, lo cual no concede muchas posibilidades para lograr aprendizaje y acumulación de capacidades.

Unido a lo anterior, la demografía presenta retos asociados a la calidad de la salud en la sociedad, pero esto puede significar una oportunidad o un incentivo para hacer un esfuerzo porque este fenómeno ejerce una presión en el régimen sociotécnico para buscar soluciones ante esta problemática. Si bien parece que no existe un contexto ideal para el desarrollo de esta tecnología en este sistema específico, la evidencia muestra que puede haber apremios suficientes para cambiar la tendencia actual desfavorable en el contexto y de esta manera, lograr que el escenario se preste para un mayor dinamismo de la biotecnología aplicada a la salud.

Por su parte, en organismos y acuerdos internacionales no se presentan acciones concretas para fomentar y detonar la investigación y desarrollo de biotecnología aplicada a la salud más allá de la protección de los derechos de propiedad intelectual, que son más asociados a temas comerciales y de apropiabilidad de dicha actividad que al desarrollo tecnológico de la biotecnología. La liberalización de los mercados y los mecanismos de propiedad intelectual, además, tienen fuertes implicaciones para la industria nacional, pues carece de competitividad internacional y esta reducción de barreras significa que las empresas nacionales pierdan liderazgo (principalmente por los bajos niveles de inversión que se observa anteriormente) ante las ventajas tecnológicas de las grandes empresas transnacionales (Stezano, 2019)

Generalizando, es difícil encontrar reglas establecidas en el área de la salud para las interacciones entre los actores del sistema y se aprecia una débil capacidad de transformación del sistema. Definitivamente el conocimiento se está acarreando por medio del sector público y no existe evidencia clara de que de parte del sector privado haya acciones y cooperación para mejorar las capacidades tecnológicas en esta actividad, lo cual

concuenda con varios estudios que caracterizan a esta industria mexicana como poco innovadora. La problemática con ello es que el conocimiento que se produce en la academia y los centros públicos de investigación en el país no encuentra los canales de comercialización ni el respaldo institucional para poder llevar al mercado esas ideas.

Lo anterior provoca que la posibilidad de crear nichos con dinámicas exitosas de innovación en esta rama sea muy baja y los caminos para hacer madurar a las nuevas tecnologías sean complicados de recorrer. Esto implica que proyectos con ideas innovadoras y disruptivas pasen años en calidad de prototipos, como es los casos de la biotecnología para la diabetes mellitus.

Hay grandes ventajas que se obtienen al utilizar este enfoque. En un primer momento del aprendizaje, se debe destacar que la principal aportación al análisis de la biotecnología en salud en México es reconocer que las relaciones que se dan en un sistema son complejas, multivariadas y que cada nivel de agregación afecta de diferente manera en una tecnología. Al plantear esto desde el principio, es más fácil enfrentar la tarea de estudiar a los actores y las relaciones que tienen entre sí, pues les otorga un campo de acción más amplio e influyente en el sistema. Asimismo, es importante mencionar que contemplar la dimensión social como parte indispensable para la definición de la trayectoria tecnológica enriquece en gran medida las conclusiones obtenidas.

A pesar de que la concusión general muestra que es un enfoque que permite generar un marco analítico útil para caracterizar a la biotecnología en salud en México, en esta etapa de madurez del sistema, el análisis no permite encontrar reconfiguraciones disruptivas y transformaciones claras en esta actividad. Pensamos que lo anterior puede estar asociado a dos factores: el poco desarrollo que se ha alcanzado específicamente en el contexto mexicano y la falta de información disponible para poder estudiarlo a profundidad.

Aunque se encontraron obstáculos y hay las partes inconclusas para conformar completamente el sistema sociotécnico, podemos sostener que este enfoque encontrar hallazgos y conclusiones más completos gracias a que observa el sistema con la complejidad necesaria.

Un aspecto que quedará inconcluso en este marco analítico y es una pista para siguientes investigaciones es la participación de la demanda, es decir, el consumidor y las relaciones que se generan directamente con la tecnología. Para ello es necesario avanzar en el área social de la salud para dimensionar esta interacción, puesto que es un espacio donde los mecanismos de consumo son distintos al de cualquier bien que se comercializa. En este espacio no se puede decir que la demanda se determina por las preferencias de los pacientes, sino por el estado de salud, por aspectos subjetivos del profesional que le receta, además de que algunos productos conllevan un monopolio gracias a los derechos de propiedad intelectual. Para lograr esta parte del análisis se requiere incorporar información complementaria desde la investigación en salud que no fue posible obtener.

Bibliografía

- Amaro, M., & Morales, A. (2019). *La Biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*. Ciudad de México: Facultad de Economía UNAM.
- Amaro, M., & Sandoval, S. (2019). Industria boteconológica, concentración y oportunidades para las empresas mexicanas en el panorama mundial de encadenamientos productivos. En M. Amaro, & A. Morales, *La Biotecnología en México. Innovación tecnológica, estrategias competitivas y contexto institucional*. (págs. 127-171). Ciudad de México: Facultad de Economía, UNAM.
- ANUIES. (01 de 11 de 2020). *Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior*. Obtenido de Anuarios Estadísticos de Educación Superior:
<http://www.anuies.mx/informacion-y-servicios/informacion-estadistica-de-educacion-superior/anuario-estadistico-de-educacion-superior>
- Banco Mundial. (27 de 10 de 2020). *Banco de datos*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/>
- Borrás, S., & Edler, J. (2014). On governance, systems and change . En S. Borrás, & J. Edler, *The Governance of Socio-Technical Systems*. Edward Elgar.
- Cámara de Diputados. (8 de mayo de 2020). *Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos*. Obtenido de
http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf_mov/Constitucion_Politica.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (2019). *Ley General de Salud*. Ciudad de México.

- Carayon, P., Bass, E. J., Bellandi, T., Gurses, A. P., Hallbeck, M., & Mollo, V. (2011). Sociotechnical systems analysis in health care: a research agenda. *IIE Transactions on Healthcare Systems Engineering*, 146-160.
- CEPAL. (2007). Indicadores de capacidades tecnológicas para América Latina . *Serie Estudios y perspectivas - México - No 89* .
- Chaminade, & Edquist. (2010). Rationales for public policy intervention in the innovation process: system of innovation approach. En R. E. Smits, S. Kuhlmann, & P. S. (eds), *The Theory and Practice of Innovation Policy* (págs. 95-114). Edward Elgar: Cheltenham.
- CONACYT . (1 de 10 de 2020). *Sistema de Centros Públicos de Investigación Conacyt*. Obtenido de Celulas Madre: La esperanza de la medicina: <https://centrosconacyt.mx/objeto/celulas-madre-la-esperanza-de-la-medicina/>
- CONACYT. (2014). *Convocatorias y resultados CONACYT*. Obtenido de Evaluación de la inducción de células troncales hacia la diferenciación a células pancreáticas utilizando: <https://www.conacyt.gob.mx/index.php/el-conacyt/convocatorias-y-resultados-conacyt/convocatorias-fondos-sectoriales-constituidos/convocatoria-ssa-imss-issste-conacyt/fichas-de-conclusion-salud/fich-concl-salud-14-01/17531-salud-233146-1/file>
- CONACYT. (2014). *Programa Especial de Ciencia Tecnología e Innovación 2014-2018*. Obtenido de <https://www.siicyt.gob.mx/index.php/normatividad/nacional/programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion-peciti/2014-programa-especial-de-ciencia-tecnologia-e-innovacion/623-peciti-2014-2018/file>
- Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. (2018). *Infraestructura Científica y Tecnológica: La base para transitar hacia una sociedad y economía del conocimiento*. Ciudad de México: CONACYT.
- Cruz, I. T. (9 de Julio de 2019). Tratarán diabetes con células madre obtenidas de muelas del juicio. *Crónica*.
- Diario Oficial de la Federación. (1994). *DECRETO de promulgación de la Convención de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
- Diario Oficial de la Federación. (1994). *DECRETO de promulgación del Acta Final de la Ronda Uruguay de Negociaciones Comerciales Multilaterales y, por lo tanto, el Acuerdo por el que se establece la Organización Mundial del Comercio*. Ciudad de México : Secretaría de Gobernación.
- Diario Oficial de la Federación. (2000). *Ley de Insitutos Nacionales de Salud*. Ciudad de México: Secretaría de Gobernación.
- Diario Oficial de la Federación. (2002). *Ley de Ciencia y Tecnología*. Ciudad de México.
- Dosi, G. (1982). Technological paradigms and technological trajectories: a suggested interpretation of the determinants and directions of technical change . *Research Policy* 6.

- Edquist, C. (2002). Innovation Policy, a systemic approach. En A. D, & B. L. (Eds), *The Globalizing learning Economy* (págs. pp. 219-22). Oxford University Press,.
- Effken, J. A. (2002).)Differentlenses,improvedoutcomes:Anewapproach to the analysis and design of healthcare information systems. *International Journal of Medical Informatics*, 65(1), 59-74.
- Emery, F., & Trist, E. (2006). Socio-technical systems theory . En J. B. Minner, *Organizational Behavior 2 Essential Theories of Process and Structure* (pág. 169). Routledge.
- Fallde, M., & Eklund, M. (2015). Towards a sustainable socio technical system of biogas for transport: the case of Linkoping. *Journal of cleaner production*, 17-28.
- Fundación UNAM. (3 de octubre de 2020). *Vanguardia UNAM*. Obtenido de Crea UNAM dispositivo innovador contra la Diabetes:
<https://www.fundacionunam.org.mx/vanguardia-unam/crea-unam-dispositivo-innovador-contra-la-diabetes/>
- García, C. (1993). Análisis documental: el análisis formal. *Revista general de información y documentación*, Vol. 3, 11-19.
- Geels, & Schot, J. (2007). Typology of sociotechnical transition pathways. *Research Policy* 36, 399–417.
- Geels, F. (2004). From sectoral systems of innovation to socio-technical systems Insights about dynamics and change from sociology and institutional theory . *Research Policy* 33, 897–920.
- Huerta, C. (1 de noviembre de 2019). *Medirán sin dolor niveles de azúcar con biotinta creada en el Tec GDL*. Obtenido de ITESM:
<https://tec.mx/es/noticias/guadalajara/investigacion/mediran-sin-dolor-niveles-de-azucar-con-biotinta-creada-en-el>
- Huerta, C. (26 de Mayo de 2020). *¡Adiós a las agujas! Alumnos del Tec diseñan parche para medir glucosa*. Obtenido de ITESM: <https://tec.mx/es/noticias/guadalajara/salud/adios-las-agujas-alumnos-del-tec-disenan-parche-para-medir-glucosa>
- Iglesias, M. E., & Gómez, A. M. (2004). Análisis documental y de información: dos componentes de un mismo proceso. *Acimed Vol 12*.
- Kuhlmann, S., Shapira, P., & Smits, R. (2010). Introduction. A Systemic Perspective: The Innovation Policy Dance. En R. E. Smits, S. Kuhlmann, & P. S. (eds), *The Theory and Practice of Innovation Policy* (págs. p.1-22). Edward Elgar: Cheltenham.
- Lesourne, J., Orléan, A., & Walliser, B. (2006). Evolutionary Microeconomics. En *Evolutionary Microeconomics* (págs. 2-6). París: Springer.
- Levinthal, D. (1998). The slow pace of rapid technological change: gradualism and punctuation in technological change. *Industrial and Corporate Change*.

- López, G. M. (2009). *Legislación y Políticas Públicas en Biotecnología en México*. Ciudad de México: Colección Estudios e Investigaciones. Cámara de Diputados, LXI Legislatura.
- Lundvall, B. (1988). Innovation as an interactive process: from user–producer interaction to the national system of innovation. En Dosi, *Change and Economic Theory* (págs. 349-369). London: Pinter.
- Maharajh, R. (2015). Being Well In The Early 21st Century . En J. Casiolato, & M. C. Soares, *Health Innovation Systems, Equity and Development* (págs. 59-86). Rio de Janeiro: E-papers.
- Martínez, Á. C. (10 de Diciembre de 2009). Con cambios al T-MEC se tendrá acceso a medicamentos de calidad a menor costo. *La Jornada*.
- Mokyr, J. (1990). Punctuated equilibria and technological progress. *Am Econ Rev* 80.
- Natera, J. M., Rojas, S., & Suárez, M. (2017). Ciencia, Tecnología e innovación para el desarrollo inclusivo en el sector salud. En J. M. Corona, *Sociedad, desarrollo y políticas públicas* (págs. 301-332). Ciudad de México: Universidad Autónoma Metropolitana.
- Natera, J. M., Rojas, S., Dutrénit, G., & Vera-Cruz, A. (2020). Knowledge dialogues for better health: complementarities between health innovation studies and health disciplines. *Prometheus*, 36(1), 30-50.
- Nelson. (1995). Recent evolutionary theorizing about economic change. *J Econ Lit* 33.
- Nelson, R., & Winter, S. (1982). *An evolutionary theory of economic change*. Bellknap, Cambridge, MA.
- North, D. (1990). *Institutions, Institutional Change and Economic Performance*,. Cambridge: Cambridge U Press.
- OCDE. (2005). *A framework for Biotechnology Statistics*. París: OCDE.
- OCDE. (2009). *The Bioeconomy to 2030: Designing a Policy Agenda*. Paris: OCDE.
- Organización de las Naciones Unidas. (25 de octubre de 2020). *Población*. Obtenido de <https://www.un.org/es/sections/issues-depth/population/index.html#:~:text=Se%20espera%20que%20la%20poblaci%C3%B3n,de%202011.000%20millones%20para%20202100>.
- Organización Mundial de la Salud. (8 de Junio de 2020). *Diabetes*. Obtenido de [www.who.int: https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes](http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/diabetes)
- Pérez, C. (2010). Technological revolutions and techno-economic paradigms. *Cambridge Journal of Economics*, Vol. 34, No.1, , 185-202 .
- Piña, E. (22 de Enero de 2016). *Federación Mexicana de Diabetes, A.C.* . Obtenido de Tratamiento de diabetes tipo I: <http://fmdiabetes.org/tratamiento-diabetes-tipo-1/>
- ProMéxico. (2017). *Panorama actual de la Industria Biotecnológica en México*. Ciudad de México.

- Reiter, B. (2013). "The Epistemology and Methodology of Exploratory Social Science Research: Crossing Popper with Marcuse. *Government and International Affairs Faculty Publications* 99.
- Rip, A., & Kemp, R. (1998). Technological change. En S. Rayner, & E. M. (eds), *Huan Choice and Climate Change* (págs. 327-399). Columbus: Battelle Press.
- Rodríguez, A. G., Mondaini, A., & Hitschfeld, M. (2017). *Bioeconomía en América Latina: Contexto Global y regional*. Santiago, Chile: CEPAL.
- Rojas, S., & Natera, J. M. (2019). Movilización del conocimiento:. *Rev. Cienc. Salud.*, 111-131.
- Schot, J., & Geels, F. W. (2007). Niches in evolutionary theories of technical change. *Journal of Evolutionary Economics*, 17(5), 605–622.
- Secretaría de Economía. (05 de 06 de 2020). *La Infraestructura tecnológica para la competitividad*. Obtenido de Secretaría de Economía: <https://www.gob.mx/se/articulos/la-infraestructura-tecnologica-para-la-competitividad>
- Senado de la República Mexicana. (2018 de Febrero de 2018). *Boletines*. Obtenido de Predomina la inversión pública en ciencia y tecnología, señala el IBD: <http://comunicacion.senado.gob.mx/index.php/informacion/boletines/40043-predomina-la-inversion-publica-en-ciencia-y-tecnologia-senala-el-ibd.html>
- Smelser, N., & Swedberg, R. (1994). the sociological perspective on the economy . En N. Smelser, & R. Swedberg, *The handbook of economic sociology* (pág. 3.26). Princeton: Princeton University Press.
- Stezano, F. (2019). Políticas de ciencia, tecnología e Innovación para la industria farmacéutica y biotecnológica en México. En A. Morales, & M. Amaro, *La biotecnología en México* (págs. 171-210). Ciudad de México: Facultad de Economía, UNAM.
- Storr, V. (2008). The market as a social space: On the meaningful extraeconomic conversations that can occur in markets. *The Review of Austrian Economics* 21(2-3), 135–150.
- Suarez, F., & Oliva, R. (2005). Environmental change and organizational transformation. *Industrial and corporate change* 14 (6), 1017-1041.
- Subsecretaría de Integración y Desarrollo del Sector Salud. (2015). *Informe sobre la salud de los mexicanos*. Ciudad de México : Secretaría de Salud.
- Torres-Romero, J. C., Ramírez, M. A., Lara, J., & Arana-Argáez, V. E. (2019). Biotecnología molecular para el diagnóstico y tratamiento de la diabetes: una visión regional. En *Avances y perspectivas de la biotecnología en la Península de Yucatán* (pág. 981). Mérida: Universidad Autónoma de Yucatán.
- UAM Cuajimalpa. (1 de 10 de 2020). *Departamento de Procesos y Tecnología* . Obtenido de UAM-Cuajimalpa: <http://dcni.cua.uam.mx/departamentos/tecnologia>
- Usla, H., & Rodríguez, A. (2019 de Diciembre de 13). Modificaciones en T-MEC inhiben inversión para innovación: Investigación Farmacéutica. *El Universal*.

Valdez, M. A. (02 de 10 de 2020). *Sistema de Centros Públicos de Investigación Conacyt*. Obtenido de ¿Podemos lograr una detección temprana de tuberculosis en personas con diabetes?: <https://centrosconacyt.mx/objeto/tbydiabetes/>

Vilchis, R. C. (2 de febrero de 2018). Pan con fructanos de agave, un aliado contra la diabetes. *Ciencia Mx*.

World Values Survey. (28 de 10 de 2020). *World Values Survey Wave 7: 2017-2020*. Obtenido de <http://www.worldvaluessurvey.org/WVSONline.jsp>