



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA BIOTECNOLOGÍA Y
MATERIALES

EL ROL DE LA INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA EN LA SOFISTICACIÓN Y
DIVERSIFICACIÓN DE LA MATRIZ PRODUCTIVA CHILENA: DIFICULTADES Y
PROPUESTAS PARA SU DESARROLLO

TESIS PARA OPTAR AL GRADO DE MAGÍSTER EN CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
MENCION QUÍMICA.

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN BIOTECNOLOGÍA.

PABLO SEBASTIÁN TRONCOSO PALOMINOS

PROFESOR GUÍA:

JUAN ASENJO DE LEUZE DE LANCIZOLLE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:

ÁLVARO OLIVERA NAPPA

MARÍA ISABEL GUERRA HEVIA

ZIOMARA GERDTZEN HAKIM

MARÍA PAZ MERINO SANTIS

SANTIAGO DE CHILE

2019

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA
OPTAR AL TÍTULO DE: Ingeniero Civil en
Biotecnología y grado de Magíster en
Ciencias de la Ingeniería, Mención Química.
Por: Pablo Sebastián Troncoso Palominos.
Fecha: 15/01/2019
Profesor Guía: Juan Asenjo

EL ROL DE LA INDUSTRIA BIOTECNOLÓGICA EN LA SOFISTICACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN DE LA MATRIZ PRODUCTIVA CHILENA: DIFICULTADES Y PROPUESTAS PARA SU DESARROLLO

La matriz productiva chilena se basa principalmente en la explotación y exportación de recursos naturales con bajo valor agregado, situación que hasta la fecha no ha sido revertida a pesar de las ya diagnosticadas y conocidas desventajas que esto significa para el desarrollo. La aplicación de la biotecnología se ha proyectado como una alternativa para aportar en la sofisticación y diversificación tecnológica de la economía nacional, lo cual también favorece la transición hacia un modelo de desarrollo más sostenible. Sin embargo, el potencial de la biotecnología nacional no ha sido aprovechado a pesar de contar con aplicaciones pertinentes a todos los sectores económicos estratégicos del país. Por esta razón, este estudio busca aportar en la identificación de las principales brechas que han limitado su desarrollo y proponer líneas de acción para superarlas.

El Sistema de Innovación Biotecnológico (SIB) nacional, es decir, el conjunto de instituciones, actores, redes y aplicaciones que delimitan el desarrollo de la disciplina, consiste en alrededor de 256 entidades del sector privado y la sociedad civil junto a 8 instituciones públicas distribuidas en 5 ministerios. Este creciente número de entidades se concentra principalmente en la Región Metropolitana, seguida por las regiones de Valparaíso y la del Biobío. Su desarrollo se distribuye actualmente entre la biomedicina (39%), recursos naturales (34%) y su aplicación industrial (26%). Su desarrollo ha sido impulsado principalmente por el Estado de Chile a través de programas, subsidios y un marco normativo inicial que permitió crear el ecosistema biotecnológico actual, creando consorcios tecnológicos asociados a los sectores estratégicos y con la emergencia de nuevos actores, quienes se han enfocado más hacia la biomedicina con el paso del tiempo. Esto ha permitido adquirir experiencia por medio del emprendimiento y la creación de conocimiento. Sin embargo, no ha logrado tener resultados relevantes en el mercado.

Las principales debilidades del SIB son el alto grado de atomización, centralización y la ausencia de un espacio articulador y representativo que permita que el ecosistema se comprenda a sí mismo, que se fortalezca a través de la colaboración y traspaso de aprendizajes entre sus distintos actores y que sea capaz de presionar a las autoridades para impulsar con mayor intensidad su desarrollo. Por otro lado, la perseverancia de las mismas lógicas de crecimiento económico, la baja inversión pública y privada en I+D, el excesivo enfoque neutral para la asignación de recursos orientados a la investigación y al fomento de la producción, junto a la débil institucionalidad medioambiental y de ciencia, tecnología e innovación han perjudicado el desarrollo exitoso del SIB. Además, el alto nivel de desinformación de la ciudadanía en estos temas dificulta la legitimidad de la biotecnología. Se proponen una serie de líneas de acción que buscan superar estas brechas, las cuales fueron analizadas con el caso de retomar la producción local de vacunas en Chile. Este análisis sirve como un primer esfuerzo por ratificar la efectividad del marco teórico utilizado y de los resultados encontrados, los cuales se pueden utilizar como una guía para la elaboración de políticas públicas enfocadas en el desarrollo estratégico de la biotecnología nacional.

A todas y todos los ingenieros y científicos que ponen a disposición su intelecto y trabajo al servicio de quienes más lo necesitan, motivados no solo por el desarrollo del conocimiento y la tecnología, sino que también por el bienestar de la humanidad y nuestro planeta.

Agradecimientos

A mi núcleo familiar: la Teté, mi madre Paola y mi hermano Tomie, por ser la base principal de apoyo en todos los sentidos y en cada cosa que me he propuesto. Gracias por su entrega.

A mi abuela Argelia por enseñarme la necesidad de la irreverencia. A mi padre Pablo por su rigurosidad, a mi abuelo Ambrosio por su sabiduría, mi tío Kito por su espíritu aventurero y a mi tía Ely por el sentido de responsabilidad.

A mis dos parejas, Valentina y Victor, por acompañarme, enseñarme y compartir los alegres y difíciles momentos. Que nuestro cariño nos lleve lejos.

A la mejor suegra y el mejor suegro que alguien podría tener, Claudia y Patricio, por ser como mi segunda familia durante estos últimos años.

A mis compañeras y compañeros de militancia, por compartir un propósito de vida. Son mi principal fuente de voluntad y entrega.

A todas y todos los estudiantes, académicos y autoridades con quienes tuve la suerte de compartir, que con su cariño y energía han generado gran parte de mi excelente experiencia en esta facultad y universidad.

A mi comisión, que me apoyaron en poder trabajar en un tema que realmente me motiva a aplicar mis competencias profesionales.

¡Muchas gracias!

Tabla de contenido

1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	1
1.1.1. La matriz productiva chilena.....	1
1.1.2. La industria biotecnológica como alternativa a la sofisticación y diversificación	2
1.2. Objetivos	4
1.2.1 General	4
1.2.2. Específicos	4
1.3. Metodología	4
1.3.1 Marco Teórico	4
1.3.2 Etapas de investigación y mapeo de funciones del SIT de estudio	9
1.4. Estudios similares.....	10
2. Delimitación del Sistema de Innovación Biotecnológico (SIB) chileno.....	12
2.1 Principales aplicaciones potenciales de la biotecnología en Chile.....	12
2.1.1 Acuicultura	12
2.1.2 Agroindustria.....	12
2.1.3 Minería	15
2.1.4 Silvicultura	16
2.1.5 Biomedicina	16
2.1.6 Energía	17
2.2 Principales entidades biotecnológicas	18
2.2.1. Empresas biotecnológicas	19
2.2.2 Insumos y equipamiento.....	20
2.2.3 Farmacéuticas.....	21
2.2.4 Centros y consorcios de investigación	21
2.2.5 Instituciones educativas.....	22
2.2.6 Redes	23
2.4.7 Incubadoras y aceleradoras	23
2.3 Instituciones públicas	23
2.3.1 Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)	24
2.2.2 Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (AID)	24
2.2.3 Instituto de Salud Pública.....	26
2.2.4 Servicio Agrícola Ganadero (SAG)	26
2.2.5 Fundación para la Innovación Agraria (FIA)	26
2.2.6 Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA)	26
2.2.7 ProChile.....	26

2.2.8 Instituto Chileno Antártico (INACH).....	26
2.4 Otras instituciones públicas relevantes.....	27
2.4.1 Consejo Asesor o Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo	27
2.4.2 Fundación Chile	27
2.4.3 Imagen de Chile	27
2.4.4 Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI).....	27
2.4.5 Invest Chile	27
2.4.6 Observatorio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento (CTIE).....	28
2.4.7 Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud (CENABAST)	28
2.5 Resumen del SIB y su fase de desarrollo preliminar.....	28
3. Mapeo de la dinámica funcional del SIB	32
3.1 Orientación de la búsqueda (F4)	32
3.1.1 Resumen y principales conclusiones.....	37
3.2 Actividades y experimentación emprendedora (F1)	38
3.2.1 Resumen y principales conclusiones.....	42
3.3 Desarrollo de conocimiento y creación de capacidad adaptativa (F2).....	43
3.3.1 Resumen y principales conclusiones.....	47
3.4 Difusión del conocimiento y redes (F3).....	48
3.4.1 Resumen y principales conclusiones.....	49
3.5 Conformación de mercados (F5).....	50
3.5.1 Por parte de emprendedores (F5a).....	50
3.5.2 Por parte del Estado y otras instituciones (F5b).....	50
3.5.3 Resumen y conclusiones principales.....	55
3.6 Movilización de recursos (F6).....	57
3.6.1 Resumen y conclusiones principales.....	63
3.7 Creación de legitimidad (F7).....	64
3.7.1 Resumen y conclusiones principales.....	66
3.8 Funciones externas al SIB	66
3.8.1 Crecimiento económico (F8).....	66
3.8.2 Conciencia medioambiental y cambio climático (F9 y F10).....	71
3.8.3 Corrupción (F11).....	73
3.8.4 Acceso desigual a la educación (F12)	74
4. Propuesta para el desarrollo SIB	78
4.1 Desarrollo del SIB en base a la interrelación entre las funciones	78
4.2 Líneas de acción.....	91
5. Análisis de caso: producción de vacunas en Chile.....	95

5.1 El caso de producción de vacunas en Chile	95
5.2 Aspectos técnicos de la producción de vacunas	96
5.3 Discusión sobre los escenarios de factibilidad	99
6. Conclusiones	101
Glosario	103
Bibliografía	105
Anexos.....	113
Anexo I: Fundamento y selección de funciones para el mapeo del SIB	113
Anexo II: Sobre la entrevista a CORFO.....	115
II.1 Preguntas y dinámica de la entrevista a CORFO.....	115
II.2 Transcripción de la entrevista a Alejandro Bisquertt, encargado del IFIe en Biotecnología de CORFO. 3 de octubre, 2017.....	116
Anexo III: Sistema de Innovación Biotecnológica (SIB) de Chile	123

Índice de Tablas

Tabla 1: Resumen de las funciones del SIT seleccionadas para el marco teórico de la investigación.....	8
Tabla 2: Distribución geográfica del desarrollo de cada sector.....	17
Tabla 3: Cantidad de empresas biotecnológicas por región.	20
Tabla 4: Cantidad de empresas de insumo y equipamiento por región.	21
Tabla 5: Cantidad de centros y consorcios de investigación en biotecnología por región Transversal significa que se encuentra en más de una región.	22
Tabla 6: Cantidad de cedes y programas de estudio relacionados con la biotecnología por región.	22
Tabla 7: Cantidad de incubadoras o aceleradoras chilenas por región.....	23
Tabla 8: Propuesta de distribución de instrumentos actuales en ciencia, tecnología e innovación en la nueva estructura de la AID. En rojo se indican los instrumentos que serán transferidos a la AID desde otras reparticiones [36].....	25
Tabla 9: Resumen de la selección de funciones [37].....	32
Tabla 10: Resumen de objetivos, lineamientos y acciones específicas del Plan Nacional en Biotecnología del 2003 [26]	33
Tabla 11: Resumen de los ejes, objetivos e iniciativas de la Estrategia de Biotecnología al 2030 [32].	34
Tabla 12: Programas e instrumentos relacionados al desarrollo de ciencia, tecnología e innovación en Chile desde 1991 [50].	52
Tabla 13: Clasificación de las políticas y programas en ciencia, tecnología e innovación según enfoque [50].....	53
Tabla 14: Aproximación de las ventas anuales de la industria biotecnológica chilena según periodo (en millones USD) [29][33][38][32].	55
Tabla 15: Cantidad de establecimientos educativos separados por nivel entre el 2010 y el 2016 en Chile. Fuente: elaboración propia con datos del informe de Indicadores de la Educación en Chile 2010-2016 del MINEDUC [78].....	76
Tabla 16: Matriz relacional entre las funciones internas y externas.....	87

Índice de Figuras

Figura 1: Participación media en exportaciones totales entre los años 1990 y 2014 en USD [1]...	1
Figura 2: Distribución sectorial del valor de mercado de la industria biotecnológica a nivel internacional [13].....	3
Figura 3: Distribución geográfica del valor de mercado de la industria biotecnológica a nivel internacional [13].....	3
Figura 4: Ciclos de retroalimentación positiva comunes [21].....	6
Figura 5: Ilustración de la influencia e interacción entre las funciones internas del SIT y las externas [23].	7
Figura 6: Ciclos de retroalimentación positiva y negativa entre las funciones externas al SIT [23].	7
Figura 7: Composición sectorial a partir de los recursos marinos [31].....	13
Figura 8: Diagrama general del proceso de salmonicultura y su interacción con la biotecnología [31].	13
Figura 9: Composición sectorial a partir de los recursos agroindustriales [31].	14
Figura 10: Diagrama general del proceso de la agroindustria y su interacción con la biotecnología [31].	14
Figura 11: Diagrama general de los recursos de minería metálica y no metálica y su interacción con las distintas industrias biotecnológicas [31].	15
Figura 12: Diagrama del proceso general de la industria forestal y su interacción con la industria biotecnológica [31].....	16
Figura 13: Diagrama general de la industria biomédica [31].	17
Figura 14: Composición empresas biotecnológicas según sector productivo.	19
Figura 15: El rol de las empresas biotecnológicas en la matriz productiva chilena.....	20
Figura 16: Distribución general de la orientación de la investigación de centros y consorcios de investigación según sector productivos	21
Figura 17: Distribución porcentual de la orientación general del trabajo de las redes relacionadas con la biotecnología en Chile	23
Figura 18: Componentes del SIB chileno, en donde se encuentran 256 entidades de la sociedad civil y 8 instituciones públicas principales.	28
Figura 19: Distribución regional de los componentes del SIB.	29
Figura 20: Distribución sectorial del desarrollo de biotecnología por parte del SIB en la industria nacional.....	29
Figura 21: Cantidad de componentes del SIB creados por año.....	30
Figura 22: Evolución en el tiempo de los componentes del SIB.....	30
Figura 23: Resumen de los plazos aproximados de las iniciativas por eje de la Estrategia en Biotecnología al 2030 [32].	35
Figura 24: Cantidad de eventos biotecnológicos por año en Chile, divididos de acuerdo con su carácter nacional o internacional.	36
Figura 25: Nivel de interés del concepto biotecnología a lo largo del tiempo, en una escala de 1 a 100.	37
Figura 26: Cantidad de empresas creadas por año en Chile.	38
Figura 27: Suma acumulada de cantidad de empresas por año en Chile.....	38
Figura 28: Cantidad de incubadoras o aceleradoras creadas por año en Chile.....	39

Figura 29: Cantidad de Centros y Consorcios de Investigación vigentes creados por año en Chile.	43
Figura 30: Número de publicaciones científicas por año en el área de biotecnología en Chile [45].	44
Figura 31: Cantidad de publicaciones científicas por año en el área de biotecnología en Chile, Argentina, Nueva Zelanda, España y Alemania [45].	44
Figura 32: Cantidad de publicaciones por país por millón de habitantes, considerando el número de publicaciones entre el 2005 y el 2017 [45].	45
Figura 33: Cantidad de solicitudes de patentes chilenas en biotecnología publicadas por año, en Chile (naranja) y en el exterior (azul) [47].	45
Figura 34: Cantidad de solicitudes de patentes biotecnológicas publicadas según origen, desde Chile, Argentina, España y Nueva Zelanda [47].	46
Figura 35: Cantidad de solicitudes de patentes en biotecnología publicadas en Chile, desde Chile (naranja) y desde el exterior (azul) [47].	46
Figura 36: Cantidad de solicitudes de patentes biotecnológicas publicadas en distintos países, incluyendo Chile, Argentina, España, Alemania y Nueva Zelanda [47].	47
Figura 37: Evolución temporal de la cantidad de entidades que buscan la creación de redes, nacionales e internacionales, para el ecosistema biotecnológico chileno.	48
Figura 38: Suma acumulada de la cantidad de empresas de insumos y equipamiento en Chile ...	51
Figura 39: Nuevo Sistema Nacional de Innovación, diseño institucional de Dos Pilares [9].	52
Figura 40: Presupuesto en ciencia, tecnología e innovación según enfoque entre el año 2008 y 2017 en Chile (en millones de pesos de 2017) [50].	54
Figura 41: Gasto en I+D en Chile, según fuente de financiamiento [58].	57
Figura 42: Presupuesto en ciencia, tecnología e innovación 2008-2017 en Chile (en millones de pesos del 2017) [50].	58
Figura 43: Presupuesto del Gobierno Central en ciencia, tecnología e innovación respecto al PIB y respecto al presupuesto total del Gobierno Central entre el 2008 y el 2017 en Chile, en moneda nacional [50].	58
Figura 44: Gasto en I+D en Chile comparado con el resto de los países de la OCDE [59].	59
Figura 45: Estudiantes matriculados por año en carreras de pregrado relacionadas con la biotecnología en Chile [60].	61
Figura 46: Total graduados de doctorado por año, CONICYT Nacional, CONICYT Internacional y Becas Chile (a junio de 2015) [61].	62
Figura 47: Presupuesto CONICYT en relación a CORFO (sin considerar fomento a la Pyme) entre los años 2005 y 2016, en millones de pesos [63].	63
Figura 48: Cantidad de audiencias de lobby relacionadas con la biotecnología desde el año 2015 en Chile [64].	65
Figura 49: Cantidad de audiencias entre el 2015 y el 2018 por región [64].	66
Figura 50: PIB per cápita en Chile desde el año 2005.	67
Figura 51: Índice de GINI para Chile desde el 2009. A mayor magnitud, mayor desigualdad. ...	67
Figura 52: Distribución del ingreso promedio entre 129 países dividido en 10 deciles (D10 es el 10% más rico) [66].	68
Figura 53: Índice de Palma en Chile desde 1957. A mayor magnitud, mayor desigualdad [66]. .	68
Figura 54: Indicadores internacionales con lo que se puede ver el ranking que ocupa Chile con respecto al resto de los países.	69

Figura 55: Niveles de productividad en Chile según sector con respecto a la productividad de Estados Unidos. Min: minería, agr: agricultura, silvicultura y pesca, ser: servicios y mf: manufactura [67].....	69
Figura 56: Ingresos debido a la manufactura a lo largo del tiempo entre América Latina, Asia y África. EA: Asia del este, SA: Asia del sur, SS-A: sectores de África [67].	70
Figura 57: Principales programas para el fomento de la industria desde el año 1990 en Chile [68].	70
Figura 58: Cantidad de conflictos socioambientales ordenados por el año en que comenzaron en Chile (no se agregaron los 21 conflictos iniciados antes del año 2001) [70].	71
Figura 59: Distribución regional de los conflictos socioambientales en Chile, según su nivel de actividad [70].....	72
Figura 60: Porcentaje del presupuesto público total destinado al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile.	72
Figura 61: Índice y ranking de corrupción en Chile. A mayor índice, mayor corrupción. A menor ranking, mayor corrupción [73].....	73
Figura 62: Nivel de percepción de corrupción en organismos públicos en Chile, en una escala entre 1 a 10, de nada a mucho nivel de corrupción [77].....	74
Figura 63: Resultados de la evaluación PIAAC en razonamiento matemático en adultos chilenos entre 25 y 64 años en el año 2015 [78].....	75
Figura 64: Porcentaje de adultos en cada nivel de desempeño por logro educacional según la evaluación del PIAAC en el año 2015 en Chile [78].	75
Figura 65: Nivel educacional máximo alcanzado por la población entre los años 2010 y 2015 en Chile [78].....	75
Figura 66: Evolución del presupuesto público total y el porcentaje destinado a educación. Fuente: elaboración propia con datos del informe de Indicadores de la Educación en Chile 2010-2016 del MINEDUC [78].....	76
Figura 67: Esquema de influencia de la función 1.	78
Figura 68: Esquema de influencia de la función 2.	79
Figura 69: Esquema de influencia de la función 3.	80
Figura 70: Esquema de influencia de la función 4.	81
Figura 71: Esquema de influencia de la función 5.	82
Figura 72: Esquema de influencia de la función 6.	83
Figura 73: Esquema de influencia de la función 7.	84
Figura 74: Esquema de influencia de la función 8.	84
Figura 75: Esquema de influencia de las funciones F9 y F10.	85
Figura 76: Esquema de influencia de la función 11.	86
Figura 77: Esquema de influencia de la función 12.	87
Figura 78: Mapa relacional entre funciones de mayor nivel de influencia.	89
Figura 79: Mapa relacional de las funciones y los ciclos de retroalimentación positiva que se busca promover con la propuesta de medidas.	90
Figura 80: Comparación anual entre el valor económico y social obtenido por programas de vacunación, el costo en que se habría incurrido si las enfermedades no habrían sido prevenidas y la cantidad de muertes evitadas. Estos cálculos fueron estimados a partir de vacunaciones para 10 enfermedades dentro de 73 países apoyados por la alianza GAVI [83] entre el año 2001 y el 2020 [82]	95

Figura 81: Esquema general del proceso de producción de vacunas de subunidades rHA para combatir el virus de la influenza [100].	98
Figura 82: Fases de desarrollo general de la producción de vacunas [97].	98

1. Introducción

1.1. Antecedentes

1.1.1. La matriz productiva chilena

Al igual que la mayoría de los países en Latinoamérica, Chile posee una matriz productiva principalmente primaria exportadora, basada en la explotación de recursos naturales para poder contar con los recursos necesarios para importar productos elaborados.

PARTICIPACIÓN MEDIA EN EXPORTACIONES TOTALES (US\$ CORRIENTES)²

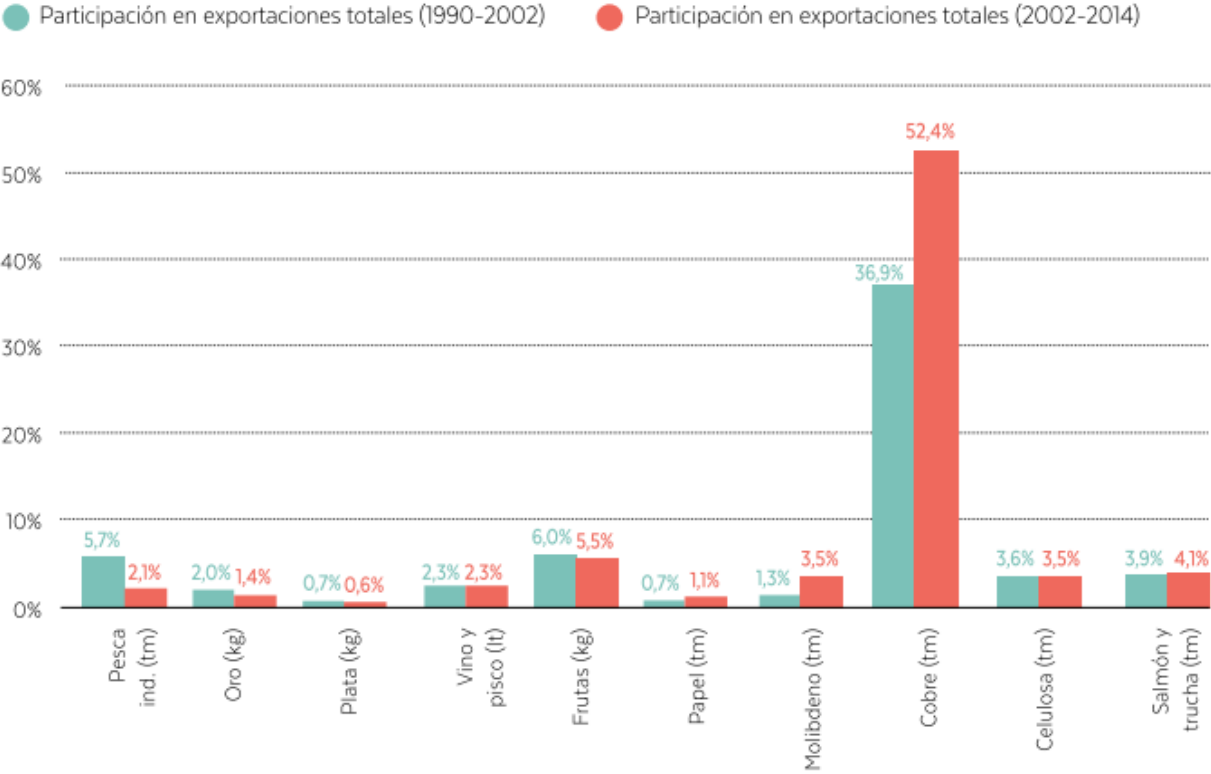


Figura 1: Participación media en exportaciones totales entre los años 1990 y 2014 en USD [1].

Sin duda, la exportación de materias primas, especialmente de cobre (Figura 1), ha representado el sustento económico más relevante para Chile a lo largo de su historia. Entre 1990 y 2016 el índice de pobreza se redujo de 38,3% a 11,7% y el PIB per cápita aumentó de \$4.400 a \$23.563 [1]. Sin embargo, la dependencia exclusiva de la extracción y exportación de recursos naturales con bajo valor agregado presenta una serie de desventajas [2]: una de ellas consiste en la incertidumbre que generan las variaciones de los precios de commodities, los cuales dependen principalmente de los mercados internacionales. Además, Chile tiene una alta dependencia de las importaciones al no existir las condiciones que permitan la elaboración de productos nacionales competitivos internacionalmente. Esto, a su vez viene acompañado del poco desarrollo en ciencia, tecnología e innovación por la baja inversión pública y privada. Finalmente, la (sobre) explotación de recursos naturales ha producido un progresivo deterioro del medioambiente, la cual se realiza de manera irracional al no existir planificación y fiscalización que considere los ciclos naturales

de renovación de aquellos que son renovables, o que los recursos naturales no renovables son finitos. A pesar de que éste último aspecto ha tomado relevancia gracias a una mayor conciencia medioambiental de la población y el cambio climático, hasta la fecha las medidas adoptadas para corregir este último aspecto no han sido suficientes [3] [4] [5].

El diagnóstico sobre la necesidad de sofisticar y diversificar la matriz productiva para desarrollar la economía chilena es transversal entre los distintos actores de la sociedad, y la aplicación de la biotecnología se ha proyectado como una alternativa que permite aportar en ambos sentidos [6] [7].

1.1.2. La industria biotecnológica como alternativa a la sofisticación y diversificación

La biotecnología tiene el potencial de ser un gran aporte en revertir las desventajas asociadas a un modelo de desarrollo dependiente de la explotación y exportación de recursos naturales. Es una disciplina que permite crear una gran cantidad de aplicaciones con la capacidad de sofisticar los sectores productivos actuales, agregando valor y transformándolos en procesos más sostenibles y productivos. Permite también abrir nuevas oportunidades para promover la innovación y la autosuficiencia tecnológica del país con una mayor oferta de productos [6] [8]. A pesar de todo este potencial, la biotecnología no ha logrado tener un impacto relevante en el desarrollo productivo estratégico, y resulta pertinente investigar cuales son las principales dificultades o brechas que han limitado su desarrollo, sobre todo considerando que, según el Informe de la Comisión Presidencial de Ciencia para el Desarrollo de Chile (2015), *“El desarrollo de actividades que basan su competitividad en la generación y aplicación sistemática de nuevo conocimiento tiene un conjunto de ventajas para el bienestar de un país: permite generar puestos de trabajo más productivos y mejor remunerados; produce menor presión negativa sobre el medio ambiente; diversifica la canasta exportadora; y posibilita el tránsito hacia otras actividades de mayor sofisticación”* [9].

De acuerdo a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE), la biotecnología se define como *“la aplicación científica y tecnológica de organismos vivientes, sus partes, productos y modelos destinados a modificar organismos y/o materiales aplicados para la producción de conocimientos, bienes y servicios”* [6]. Esta definición corresponde a la versión “moderna” de la biotecnología, ya que la aplicación de la biología para la transformación de la naturaleza es una actividad que la humanidad ha desarrollado desde épocas antiguas. Desde el uso de levaduras, el entrecruzamiento consciente de especies y el desarrollo de vacunas, hasta el descubrimiento de la estructura y funcionamiento del ADN y su manipulación mediante diferentes técnicas como la secuenciación de ADN, el ADN recombinante y la reacción en cadena de la polimerasa, además de nuevas metodologías de manipulación del código genético como lo son la biología sintética o CRISPR [10]. La biotecnología moderna, por lo tanto, nace dentro de un contexto tecnológico y productivo con años de madurez, y su desarrollo está directamente relacionado con su dimensión científica, tecnológica y comercial [11] [12].

A nivel internacional, la industria biotecnológica ha logrado un importante crecimiento. El año 2015 alcanzó un valor de 307 mil de millones de USD, donde el sector de la salud humana es el que concentra la mayor parte de este valor con un 49,1% (Figura 2). En términos geográficos, Norteamérica concentra el 42,6%, mientras que Latinoamérica solo un 2,1% (Figura 3). Dentro de los países de la OCDE, Estados Unidos es quien contaba con el mayor número de empresas

biotecnológicas (11.367), seguido de España (2.831), Francia (1.950), Corea (939) y Alemania (709), en donde más del 50% de las empresas de estos países tienen menos de 50 empleados [13].

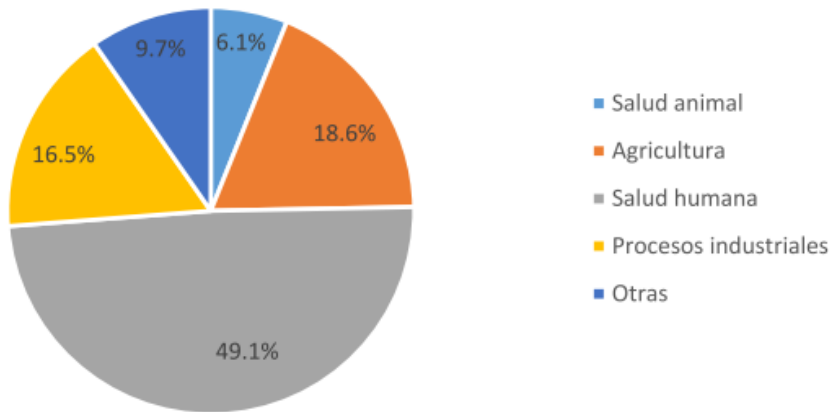


Figura 2: Distribución sectorial del valor de mercado de la industria biotecnológica a nivel internacional [13].

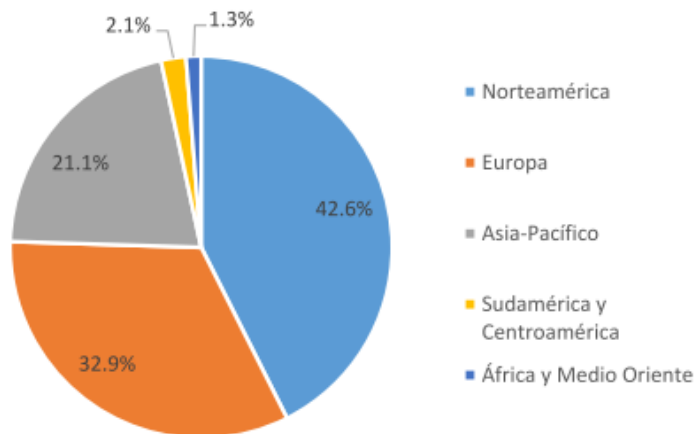


Figura 3: Distribución geográfica del valor de mercado de la industria biotecnológica a nivel internacional [13].

En Latinoamérica, desde los noventa la biotecnología aparece en las agendas públicas en todos sus países. Sin embargo, el monto de los proyectos o programas son inferiores a los exhibidos en países desarrollados. Además, los mecanismos de financiamiento no permiten su sustentabilidad a largo plazo, lo que dificulta el éxito de los mismos [6].

Chile tiene una historia más reciente. En el año 2006, CORFO estimaba una cantidad cercana a 123 entidades dedicadas a la biotecnología, con un perfil altamente heterogéneo, de tamaño pequeño y operando muy relacionadas al sector público [6] [14]. En el año 2003 la biotecnología ya era considerada una disciplina de desarrollo estratégico, con prioridad para el sector exportador de recursos naturales [15], el cual ocupaba el 56% de su industria nacional (42% agricultura y ganadería, 8% a la industria pesquera y 6% a la industria forestal). Del resto, un 22% era ocupado en el desarrollo de salud y nutrición, y otro 22% por la biotecnología industrial [14]. La disposición nacional de los centros de investigación seguía una tendencia similar [15]. Esto indica que una de

las actividades con mayor potencial para orientar la aplicación de la biotecnología hacia la diversificación de la economía chilena es dentro del sector de la salud.

En el año 2006, el 26% del trabajo en I+D y el 22% de la industria biotecnológica correspondía a la biomedicina, es decir, a la aplicación de la biotecnología para solucionar problemas del área de la salud. Además, fue concebida como una de las aplicaciones prioritarias de la biotecnología para el país [16]. La industria biomédica nacional cuenta con recursos humanos capacitados, con una creciente producción científica y con la generación de tecnología relacionada a los trabajos de I+D existentes. Sin embargo, según estos antecedentes (de hace 10 años), existía un bajo grado de participación del sector empresarial, falta de infraestructura tecnológica, baja creación de patentes de los resultados generados y una falta de investigación en enfermedades locales [16].

1.2. Objetivos

1.2.1 General

Identificar las principales brechas para el desarrollo de la industria biotecnológica chilena para generar soluciones y propuestas que permitan superarlas. Esto, con el fin de aportar en el desarrollo de una matriz productiva diversificada, sofisticada y sostenible.

1.2.2. Específicos

1. Recopilar y analizar antecedentes que permitan definir el escenario nacional al que se enfrenta la industria biotecnológica chilena, identificando aquellas aplicaciones que apuntan a sofisticar y diversificar la matriz productiva nacional.
2. Desarrollo de los resultados.
 - a. Establecer las principales brechas para que el desarrollo de la industria biotecnológica chilena se oriente a la sofisticación y diversificación de la matriz productiva de manera sostenible.
 - b. Proponer líneas de acción que permitan superar dichas limitaciones.
3. Realizar un análisis de caso que permita ejemplificar y ratificar los resultados. Esto se realizará mediante una evaluación de la factibilidad de retomar el desarrollo local de vacunas en el escenario diagnosticado y en el escenario de las líneas de acción propuestas ya implementadas.

1.3. Metodología

1.3.1 Marco Teórico

Para la selección y desarrollo del marco teórico, se realizó una revisión bibliográfica de distintas estrategias que buscan analizar y direccionar procesos de innovación [17]. A continuación, se presentan los fundamentos y descripción del marco teórico utilizado, junto a las razones de su selección para lograr los objetivos de la investigación.

1.3.1.1 Sistemas de Innovación Tecnológica (SIT)

Un proceso de innovación se debe comprender como el desarrollo de una tecnología en interacción con el sistema del cual es parte. La innovación está acompañada de grandes oportunidades para el progreso económico y en la generación de beneficios sociales, pero también puede significar grandes amenazas, sobre todo en el aspecto medioambiental. Para lograr que la innovación se desarrolle de manera sostenible no basta con cambios a nivel técnico, sino que también es necesario

incorporar la dimensión social, la cual ha sido considerada desde un inicio en los estudios de transición tecnológica [17].

Este trabajo utiliza un marco teórico que busca analizar fenómenos de transición tecnológica en distintas sociedades de manera empírica y analítica simultáneamente [17], el cual se estructura en *Sistemas de Innovación Tecnológica (SIT)*. Un SIT consiste en un “conjunto de instituciones, actores, redes y tecnologías que contribuyen activamente al desarrollo de una tecnología de estudio”. El SIT de estudio debe ser claramente delimitado de acuerdo a los objetivos y el contexto de la investigación [18]. Esta definición logra comprender el objeto de estudio como un sistema, abarcando más factores que la tecnología misma de manera aislada, mejorando los resultados y conclusiones del estudio, al mismo tiempo de complejizarlo [19]. Además, permite comparar distintos SIT, su nivel de desarrollo, además de identificar las relaciones internas y externas de cada uno de los componentes del SIT de estudio, aportando con mayor detalle sobre las fortalezas y debilidades del sistema [18].

1.3.1.2 Funciones de un Sistema de Innovación Tecnológica (SIT)

El objetivo general de los modelos basados en SIT es lograr el desarrollo, implementación y aplicación de una tecnología, la cual debe enfrentarse al régimen socio-tecnológico dominante, es decir, dentro del contexto que se está realizando el estudio [20]. Esto quiere decir que un SIT está en constante dinamismo, el cual es definido por las diversas actividades que realizan cada uno de sus componentes en el tiempo. Para incorporar este dinamismo al análisis es necesario clasificar y cuantificar aquellas actividades que influyen el cumplimiento de los objetivos del SIT, ya que analizar la totalidad de ellas pierde todo sentido práctico. Las actividades que influyen el cumplimiento de las metas del SIT, ya sea de manera positiva o negativa, son denominadas funciones del sistema de innovación [21].

Estas funciones amplían las capacidades del análisis ya que permiten describir y cuantificar las interacciones internas y externas del SIT. Por medio del estudio de estas funciones es posible identificar factores de incentivo y bloqueo del SIT de estudio, y por tanto proponer líneas de acción para superar el régimen tecnológico establecido [21] [18].

1.3.1.3 Ciclos de retroalimentación positiva y selección de funciones

El éxito o fracaso de una función particular influye el éxito o fracaso de las demás por medio de las múltiples interacciones entre ellas. De esta forma, para lograr un cambio estructural en el sistema es necesario influenciar la interacción positiva de las funciones. Este proceso se traduce en encontrar ciclos de retroalimentación positiva, en donde las funciones se fortalecen entre ellas progresivamente con lo cual se transforma el sistema socio-tecnológico establecido. También se debe prestar atención a la existencia de ciclos de retroalimentación negativa para minimizarlos [21].

En ese sentido, se debe realizar una selección de funciones que permitan estudiar el SIT y así lograr identificar e influenciar ciclos de retroalimentación positiva que permitan generar una propuesta coherente con los objetivos de la investigación. En la Figura 4 se puede ver de manera gráfica algunos ciclos de retroalimentación positiva o también denominados motores de cambio. En el ciclo A y B se parte a través de la función de actividades de emprendimiento, las cuales pueden presionar para obtener mayor apoyo económico para realizar I+D o para fomentar la creación de mercado en torno a esa nueva tecnología. El caso del ciclo C parte con desafíos sociales identificadas o planteadas por el gobierno, lo que estimula las demás funciones [21].

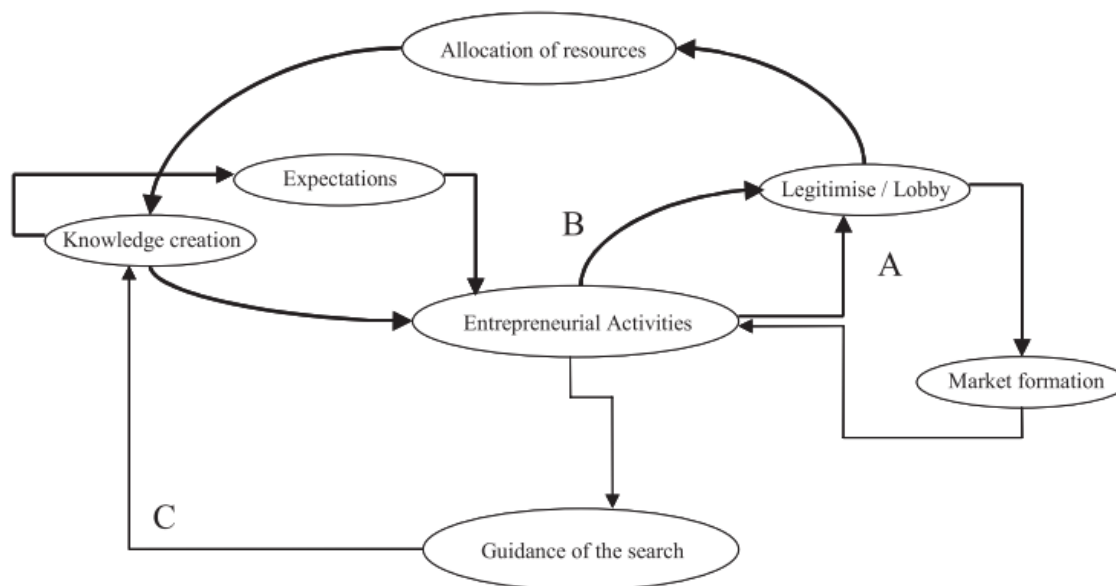


Figura 4: Ciclos de retroalimentación positiva comunes, en donde las flechas representan la influencia positiva de una función con respecto a la otra. Las letras A, B y C representan el punto de partida, es decir, la función que se debería comenzar a fortalecer [21].

Para la selección de las funciones del SIT de estudio, se utilizan las siete más utilizadas y discutidas en la literatura: actividades de experimentación emprendedora [F1], desarrollo de conocimiento y creación de capacidad adaptativa [F2], difusión del conocimiento y redes [F3], orientación de la búsqueda [F4], conformación de mercados [F5], movilización de recursos [F6] y creación de legitimidad o contrarrestar la resistencia al cambio [F7]. Sin embargo, utilizar solamente este conjunto de funciones presenta limitaciones, principalmente al no incorporar al análisis los elementos del contexto en donde se desarrolla el SIT [22]. Por este motivo, se fortalece esta base de funciones incorporando sugerencias basadas en estudios y metodologías que aplican este marco teórico en diferentes condiciones empíricas, con el fin de obtener un modelo más integral [17] [20].

En particular, estas sugerencias se hacen cargo de crear funciones que incorporan el punto de vista de *emprendedores* [23], el *contexto en general* [18] y la situación de un *país en vías de desarrollo* como lo es Chile, en donde es importante destacar que bajo estas condiciones, los elementos del contexto externos al SIT influyen en su desarrollo mucho más que en países desarrollados [24] (ver Figuras 5 y 6, en donde se ejemplifica de manera gráfica la interacción entre alguna de estas funciones y los ciclos de retroalimentación). Para mayor profundización en torno al fundamento de la selección y definición de las funciones del SIT de esta investigación ver el Anexo I. Para el detalle específico de cada función revisar la Tabla 1.

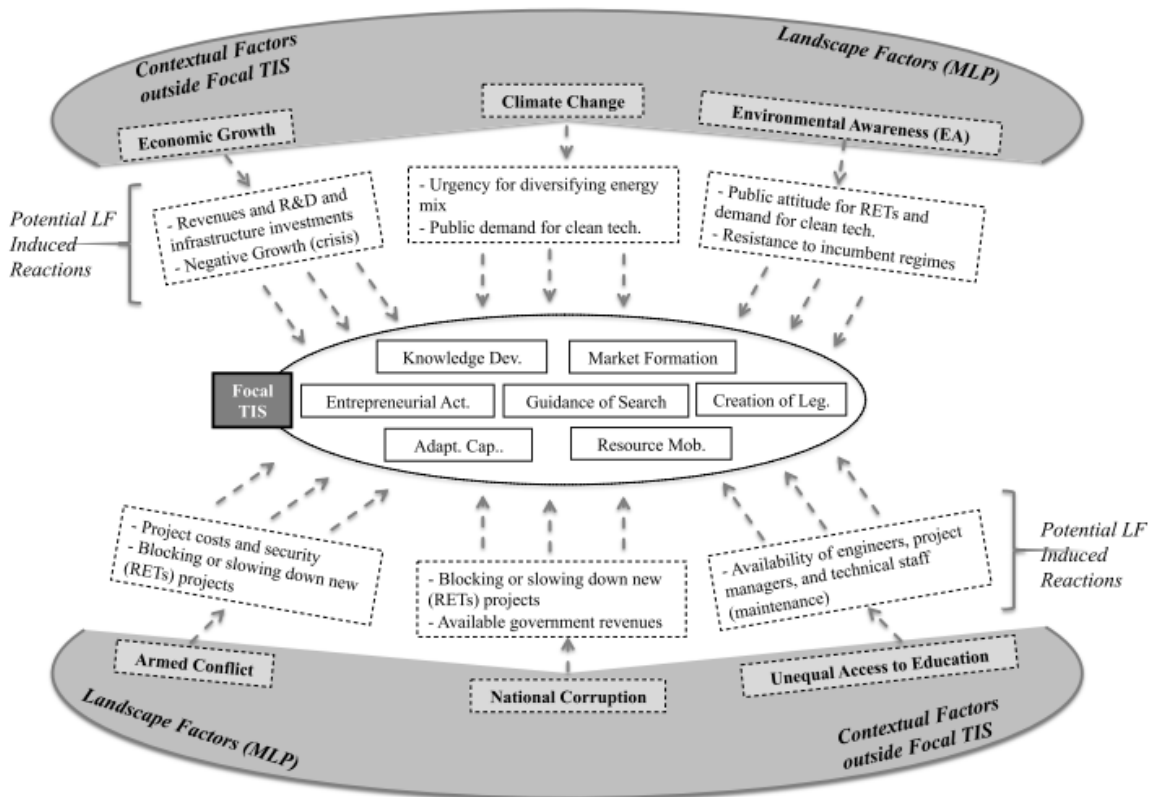


Figura 5: Ilustración de la influencia e interacción entre las funciones internas del SIT y las externas [24].

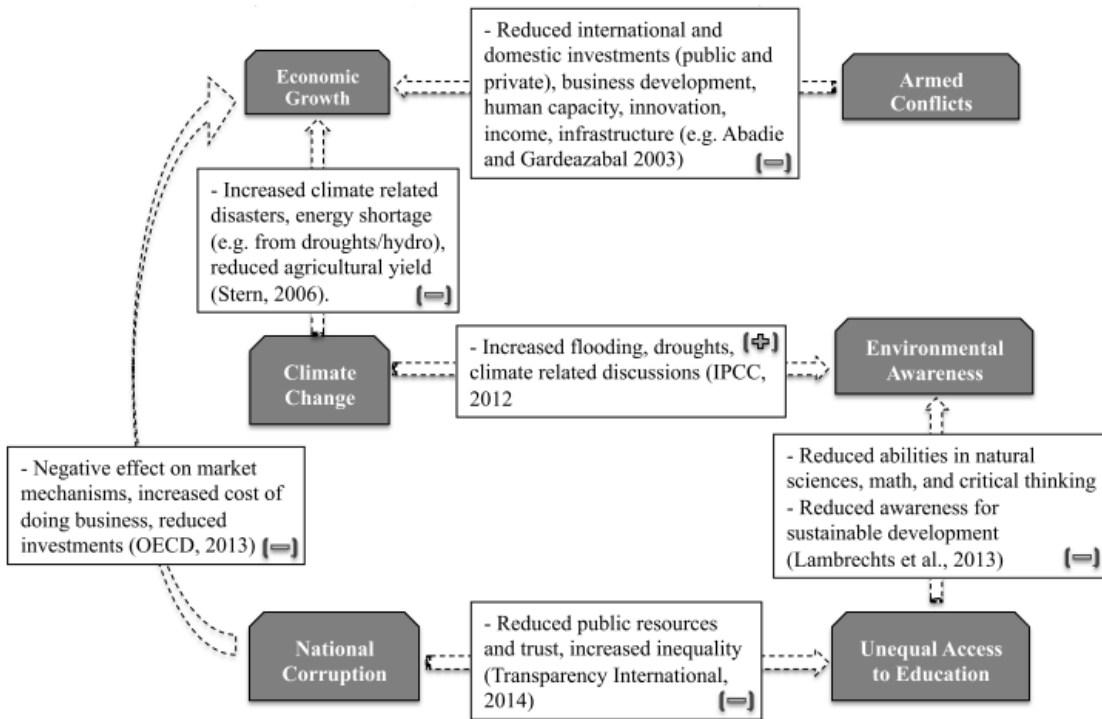


Figura 6: Ciclos de retroalimentación positiva y negativa entre las funciones externas al SIT [24].

Tabla 1: Resumen de las funciones del SIT seleccionadas para el marco teórico de la investigación.

Función	Nombre	Descripción
F1	Actividades y experimentación emprendedora	Actividades iniciales enfocadas en desarrollar el potencial práctico del SIT. Opera a nivel experimental, aporta en reducir la incertidumbre a costa de asumir un alto riesgo al probar las aplicaciones de la tecnología en el mercado. Significa la creación de nuevas oportunidades y aprendizajes y la conformación de nuevos actores y redes.
F2	Desarrollo de conocimiento y creación de capacidad adaptativa	Son aquellas actividades que aportan a la autosuficiencia tecnológica del SIT. Involucra la capacidad de desarrollar conocimiento o la de asimilar el conocimiento del SIT generado internacionalmente, ya sea mediante investigación o experimentación. Esto, con el propósito de promover el desarrollo doméstico de la tecnología.
F3	Difusión del conocimiento y redes	Actividades que permiten dar a conocer el conocimiento tecnológico, junto a las redes de transferencia de conocimiento entre los distintos componentes del SIT. Permite adquirir conocimiento mediante la interacción y aplicación de la tecnología. Aporta en la generación de expectativas.
F4	Orientación de la búsqueda	Son aquellas acciones que incentivan y/o presionan a los distintos actores a utilizar la tecnología. Es la función encargada de generar expectativas. Opera a nivel de sociedad y significa proponer visiones, objetivos o metas.
F5a	Conformación de mercados por parte de emprendedores	Corresponde a las actividades que los grupos emprendedores realizan para ingresar al mercado mediante la tecnología. Involucra el esfuerzo por el desarrollo técnico de la aplicación junto con la capacidad de seducir y atraer clientes o consumidores (aumentar la demanda).
F5b	Conformación de mercados por parte del Estado y otras instituciones	Actividades que permiten crear espacios protegidos para el ingreso o experimentación de alguna aplicación de la tecnología. Esto significa generar condiciones económicamente favorables que compensen las desventajas de mercado de la innovación, por ejemplo, mejorar el rendimiento de los precios para darle competitividad a la aplicación de la nueva tecnología hasta que adquiera competitividad de manera autónoma.
F6	Movilización de recursos	Recursos invertidos en el desarrollo de la biotecnología desde el Estado y otras instituciones nacionales y financiamiento internacional. Lo cual incluye recursos financieros, humanos, materiales, etc.
F7	Creación de legitimidad formal	Actividades que permiten la aceptación social de la tecnología mediante lobby con actores establecidos con influencia política y económica o con grupos de menor influencia y más pequeños. Permite generar expectativas y contrarrestar la resistencia al cambio.
F8	Crecimiento económico	Corresponde a las actividades que influyen, positiva o negativamente, en el crecimiento económico del país en donde se desarrolla el SIT. Viene acompañado del aumento de la demanda energética.
F9	Conciencia medioambiental	La habilidad de la sociedad de comprender el funcionamiento sistémico del medioambiente, junto con un sentido de responsabilidad de la herencia común del planeta y sus recursos naturales, con el objetivo de preservar la naturaleza para las futuras generaciones. El aumento de la conciencia ambiental puede influir en las decisiones de los distintos actores, influyendo de manera positiva o negativa en el desarrollo del SIT.
F10	Cambio Climático	Acciones que busquen revertir las consecuencias del cambio climático, las cuales involucra asumir costos financieros para un país, aumentar la conciencia ambiental (F9), y la creación de acuerdos internacionales que influyen en las metas nacionales (F4).

F11	Corrupción	Son aquellas acciones en donde se utiliza el poder representativo para beneficio privado. Tiene repercusiones negativas en el funcionamiento de las democracias, confianza de la ciudadanía, recursos públicos, crecimiento económico, desigualdad, etc.
F12	Acceso desigual a la educación	El acceso a la educación permite mejorar el capital humano del país, al mismo tiempo de facilitar la transmisión de conocimiento a la población sobre los beneficios de una tecnología.

1.3.2 Etapas de investigación y mapeo de funciones del SIT de estudio

La presente investigación consta de 5 etapas: investigación, delimitación del SIT de estudio, mapeo de las funciones del SIT de estudio, propuesta de priorización de líneas de acción (ciclos de retroalimentación positiva) y un análisis del caso de la producción de vacunas en Chile dentro del contexto analizado.

1.3.2.1 Investigación

Esta etapa consiste en una búsqueda bibliográfica y una entrevista con Alejandro Bisquertt, encargado del IFIe en Biotecnología de CORFO (2015-2018). Tiene el propósito de obtener toda la información necesaria para (i) conocer el estado actual e histórico en que se encuentra Chile – y en menor medida el resto del mundo – con respecto a la biotecnología, (ii) conocer las medidas que se han adoptado para su desarrollo, (iii) lograr delimitar el SIT de estudio y (iv) realizar el mapeo de sus funciones.

El cuestionario se realizó con el objetivo particular de obtener información sobre los puntos (i) y (iii). Para estudiar el desarrollo y contenido del cuestionario, revisar el Anexo II.1.

1.3.2.2 Delimitación del SIT de estudio

En esta etapa se delimita el SIT de estudio en términos descriptivos y cuantitativos, es decir, se identifican aquellas instituciones, actores, aplicaciones y redes que influyen en el desarrollo de la biotecnología en Chile. Se debe prestar especial énfasis en aquellos componentes que influyen en su aplicación industrial de manera sostenible y que aporten en la sofisticación y diversificación de la matriz productiva nacional.

Para delimitar el SIT de estudio, se debe fundamentar la selección de componentes y sus implicancias en base a los objetivos de esta investigación, determinar la amplitud de aplicaciones de la tecnología, su rol en las cadenas de valor, definir el alcance espacial o geográfico del estudio y también de temporalidad. Además, se deben definir los límites entre el SIT de estudio y los elementos del contexto [22].

1.3.2.3 Mapeo de las funciones del SIT de estudio

Esta etapa permite determinar el patrón funcional que explica el desarrollo del SIT de estudio, el cual corresponde al Sistema de Innovación Biotecnológica (desde ahora, SIB), mediante el mapeo y análisis de cada una de sus funciones.

Para esto se realiza un mapeo o seguimiento histórico de los eventos o actividades reportadas, los cuales se definen mediante los indicadores escogidos para medir cada función del SIB. A partir de este análisis se genera un diagnóstico, en donde cada punto se clasifica, según corresponda, de acuerdo con su influencia positiva o mecanismo de incentivo (+), o negativa o mecanismo de bloqueo (-) de acuerdo con el desarrollo del SIB y los objetivos del estudio.

Luego de este proceso y teniendo comprensión empírica del sistema para cada una de las funciones, se evalúa el estado de cada función en relación con las demás, incluyendo también en el análisis a las funciones que mapean el contexto, identificando los principales ciclos de retroalimentación positiva y negativa. Este proceso no solo permite unificar criterios eliminando aquellos elementos redundantes, sino que también entrega como resultado las funciones que más impactan en el resto (positiva o negativamente), además de las funciones más beneficiadas o las más afectadas por las relaciones internas y externas del SIB, todo esto de manera cuantitativa.

1.3.2.4 Propuesta de priorización de líneas de acción

A partir de este diagnóstico es posible proponer una propuesta con líneas de acción en orden de prioridad que potencien los ciclos de retroalimentación positiva y minimicen los de retroalimentación negativa, de manera de promover el correcto desarrollo del SIB en base a los objetivos de este estudio [21].

1.3.2.5 Estudio de caso: producción de vacunas en Chile

Se realiza un análisis del caso de la producción de vacunas en Chile analizando sus consecuencias en el escenario diagnosticado y con la propuesta de líneas de acción resultantes de la investigación. De esta forma, es posible analizar la forma en que se modifica la factibilidad de este emprendimiento en ambos escenarios, al mismo tiempo de ratificar la efectividad de los resultados.

1.4. Estudios similares

En Chile no se han realizado estudios que consideren la evolución en el tiempo del desarrollo del SIB a partir de un mapeo funcional en base a sistemas de transición tecnológica. De hecho, el único estudio que aplica esta metodología en Chile fue en una tesis de magíster de ingeniería industrial en la Universidad de Concepción, realizado por Francisco Ruiz para estudiar el desarrollo de la energía eólica [25].

El primer hito que buscó comprender el desarrollo biotecnológico en Chile para generar propuestas que permitan potenciar la aplicación de esta disciplina en la industria nacional fue la creación de la propuesta de Política Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología en el año 2003, cuyo reporte se llama “*Chile: la Biotecnología como Herramienta para el Desarrollo y el Bienestar*” [26]. En el mismo año, Gustavo Rodríguez de la Universidad de Talca realiza una Memoria de Título con un “*Análisis de experiencias en formación de clústers biotecnológicos y la factibilidad de ser creados en la zona central de Chile*” [27]. En el año 2008, el Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID) solicitó un estudio a Interlink Biotechnologies, empresa norteamericana experta en transferencia tecnológica con foco en biotecnología, quienes presentaron un reporte llamado “*Biotechnology assessment and strategic recommendations*” [28]. CONICYT y la CEPAL realizaron un estudio llamado “*Desarrollo competitivo de un clúster biotecnológico: El Biopolo de Santiago*” en el año 2010 [29]. Estos 2 últimos estudios buscan analizar la totalidad del ecosistema biotecnológico y en el último caso con especial énfasis en la Región Metropolitana. Luego en el año 2011, Gabriela Guaña, como estudiante de Ingeniería Comercial en la Universidad de Chile, realiza un estudio llamado “*Biotecnología como factor de desarrollo económico en Chile*” en donde expone una revisión de casos [30].

Finalmente, en CORFO en el año 2015 se crea una Iniciativa de Fomento Integrada Estratégica (IFIE) en Biotecnología, de donde se solicita una consultoría para realizar un levantamiento de

información, línea base y plan estratégico IFI llamado “*Biología como Habilitante para la Sofisticación y Diversificación Productiva*”, el cual se entregó en el año 2016 [31]. Con este material, CORFO identifica las brechas que han dificultado el desarrollo de la industria biotecnológica nacional hasta la fecha y genera una “*Estrategia de Biología al 2030*” para potenciar el ecosistema en el año 2018, fecha en que termina el IFIe [32].

Complementariamente, CORFO y otras instituciones públicas han realizado estudios más pequeños que describen el ecosistema de manera de, por ejemplo, fomentar la inversión en biotecnología.

2. Delimitación del Sistema de Innovación Biotecnológico (SIB) chileno

En Chile, la biotecnología se desarrolla en diversos ámbitos y con múltiples aplicaciones en distintos niveles de la sociedad. Para delimitar y acotar el SIB se considera como principal criterio los objetivos del estudio, es decir, definir aquellas instituciones, actores, redes y aplicaciones actuales que influyen de manera directa y relevante en el desarrollo de una industria biotecnológica orientada a sofisticar y diversificar la matriz productiva chilena de manera sustentable.

Se busca, además, identificar la fase de desarrollo del SIB, la ubicación geográfica de sus componentes y sus roles en las distintas cadenas de valor.

2.1 Principales aplicaciones potenciales de la biotecnología en Chile

De acuerdo con la sección anterior, la emergente industria biotecnológica chilena se desarrolla dentro de los sectores económicos estratégicos para el país debido a las ventajas comparativas que representan, los cuales están asociados a los recursos naturales, con la excepción de la biomedicina: minería, silvicultura, acuicultura y la agroindustria.

A continuación, se describe el potencial de aplicación y desarrollo de la industria biotecnológica dentro de cada uno de estos sectores [33].

2.1.1 Acuicultura

Este sector se desarrolla principalmente en las regiones de Los Lagos y Aysén. El 90% de las ventas de este sector lo ocupa la salmonicultura, el 8% la miticultura, mientras que el 2% es ocupado por el cultivo de algas. Es un sector que genera ganancias cercanas a los \$4000 millones USD en exportaciones. La composición del sector de la pesca y acuicultura se puede observar en la Figura 7, en donde se pueden apreciar los distintos productos biotecnológicos que se pueden producir a partir de ellos para diferentes industrias (aspecto que se orienta a la diversificación de la matriz productiva).

En la Figura 8, se diagrama la interacción de la biotecnología con el proceso mismo de la salmonicultura. La aplicación de la biotecnología puede sofisticar de manera importante este sector, considerando que las actuales fuentes de alimentación representan cerca de un 50% de los costos de producción o en el ámbito de la salud de los peces, recordando que durante el año 2007 el virus ISA significó pérdidas económicas cercanas a los \$600 millones USD y cerca de 17 mil despidos [34].

2.1.2 Agroindustria

Chile es de los principales exportadores en varias categorías de alimentos, en donde los subsectores principales son el de la fruta fresca y el vino (40% del total de exportaciones). La carne de cerdo y aves junto a los productos lácteos y derivados también representan un porcentaje importante de las exportaciones.

En las Figuras 9 y 10 se encuentran de manera diagramada las aplicaciones biotecnológicas relacionadas a las distintas industrias que emergen a partir del sector agroindustrial. La diversidad de actividades biotecnológicas orientadas tanto en servicios, diversificación y sofisticación de este sector lo convierten en uno atractivo para desarrollar.

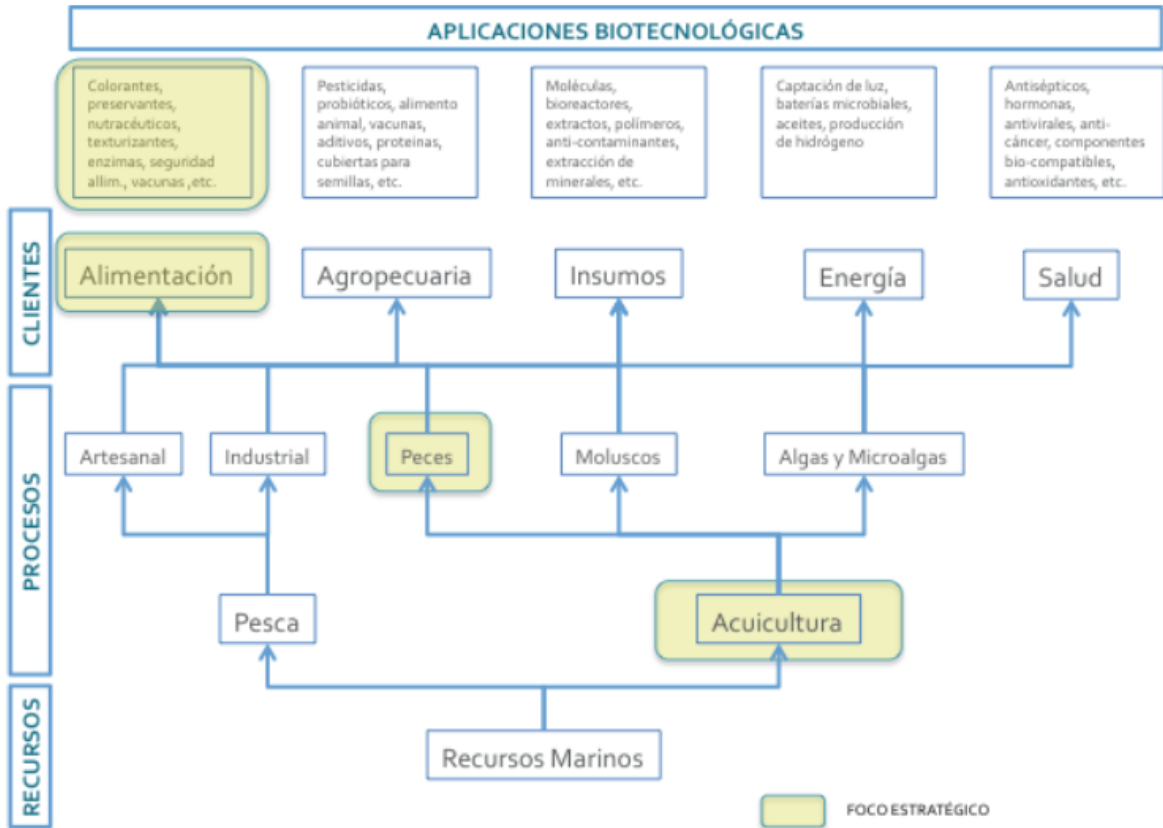


Figura 7: Composición sectorial a partir de los recursos marinos. Se destaca la industria alimenticia por su potencial estratégico para el país [31].

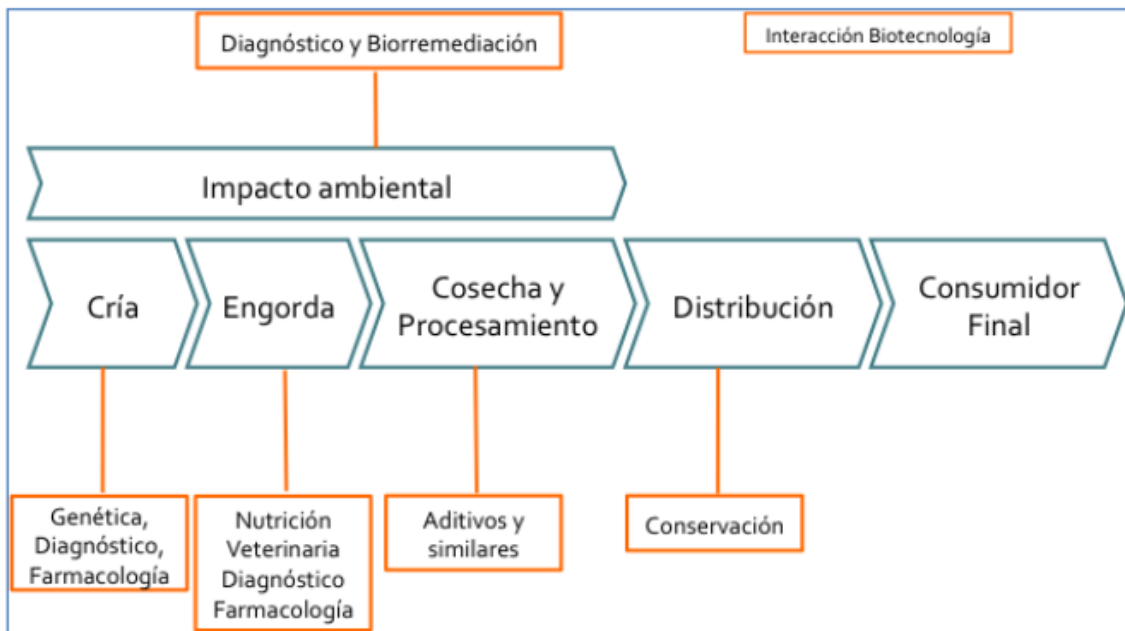


Figura 8: Diagrama general del proceso de salmonicultura y su interacción con la biotecnología [31].

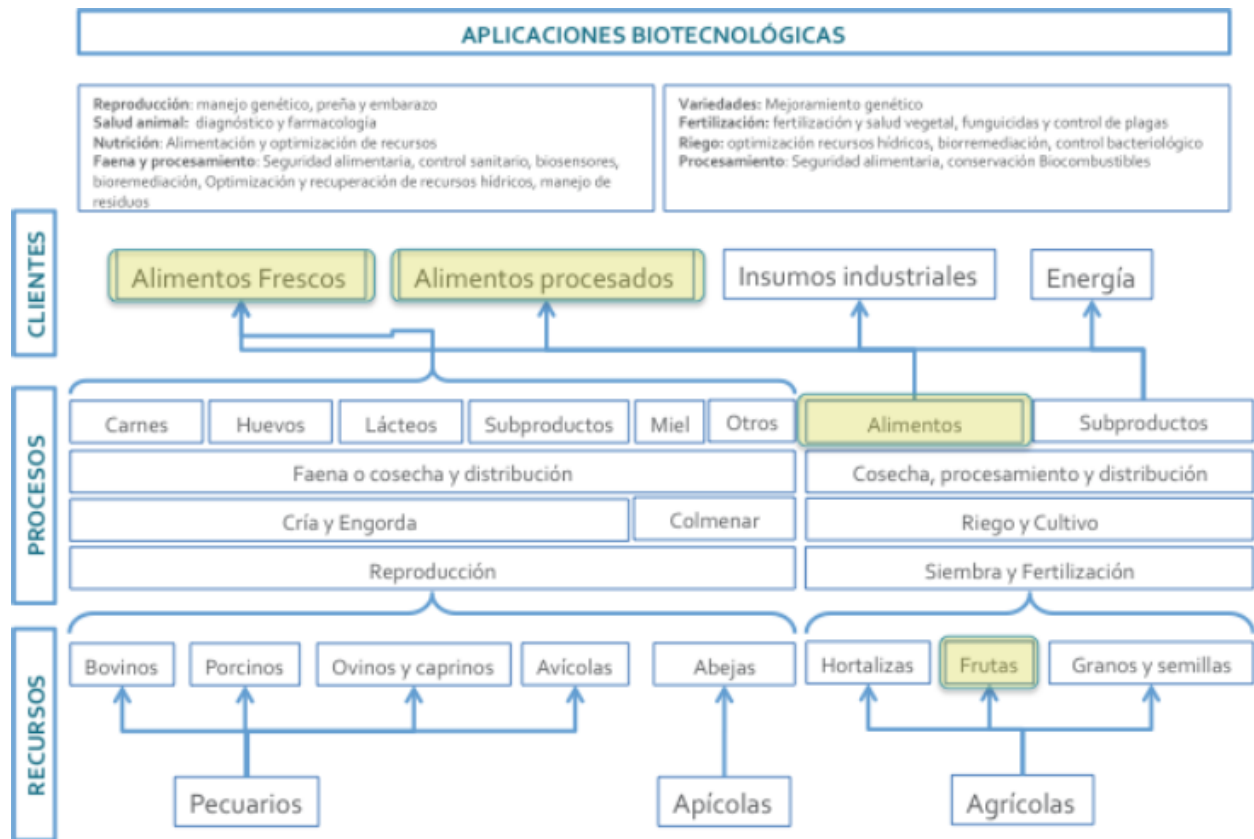


Figura 9: Composición sectorial a partir de los recursos agroindustriales. Se destacan aquellas industrias con mayor potencial estratégico [31].

Este sector representa un aporte importante en la economía de las regiones del Maule y de Coquimbo. El mercado internacional de este sector tiende a la reducción del uso de pesticidas y plaguicidas, lo que significa una oportunidad para el desarrollo de bioplaguicidas, por ejemplo. Además, la reducción de costos en secuenciación genética facilita el desarrollo de especies más resistentes a enfermedades y condiciones climáticas adversas.

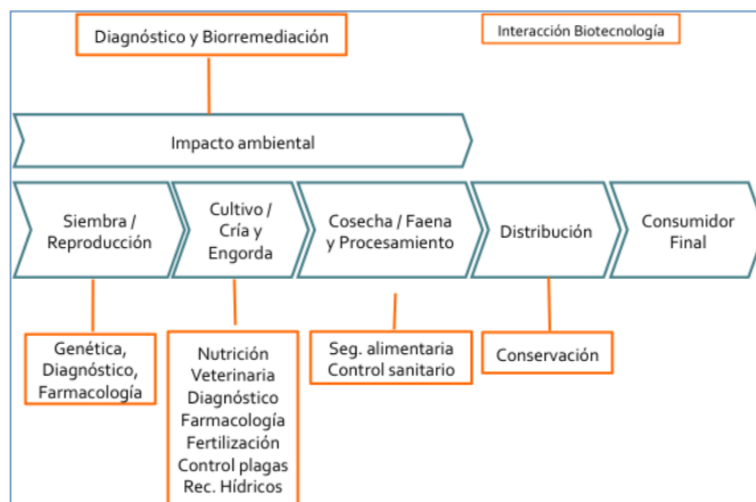


Figura 10: Diagrama general del proceso de la agroindustria y su interacción con la biotecnología [31].

Algunas oportunidades declaradas por CIEChile [33] son el diseño y escalamiento industrial de biorreactores para la producción de biomasa, producción de alimentos a partir de microalgas, bioinformática aplicada a variedades de frutas y mejoramiento genético aplicado a la uva para producir vino.

2.1.3 Minería

Chile es de los líderes mundiales en minería, ocupando el primer lugar en la producción de cobre con un 31% y también con importantes porcentajes en otros minerales. El sector se desarrolla principalmente en las regiones Metropolitana, Atacama y Antofagasta [33]. El uso de la biotecnología a escala semi industrial en la minería es reciente, se estima que a través de la biolixiviación se recuperen anualmente el 10,4% de la producción total de cobre.

En la Figura 11 se puede apreciar la industria minera y la eventual interacción con la biotecnología. La biolixiviación permite extraer cobre de alta pureza, la bio-oxidación permite extraer molibdeno, oro y plata a partir de concentrados y la biorremediación permite regular el impacto medioambiental de estos procesos [30].

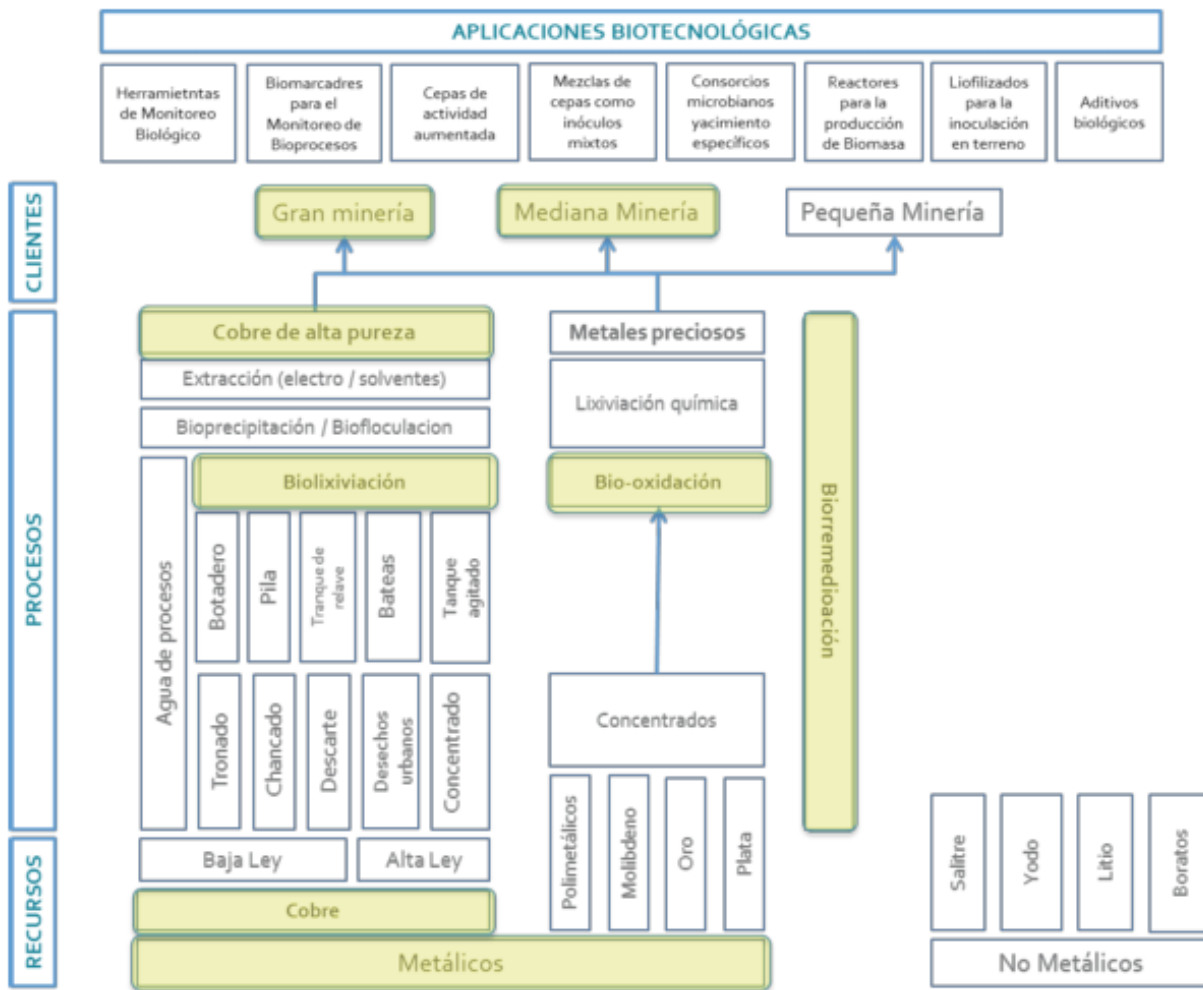


Figura 11: Diagrama general de los recursos de minería metálica y no metálica y su interacción con las distintas industrias biotecnológicas [31].

2.1.4 Silvicultura

Representa cerca del 3% del PIB nacional. Las exportaciones generan ingresos del orden de los \$6.000 millones USD, en donde China, Estados Unidos y Japón son los principales mercados. La industria de la pulpa es la que utiliza la mayor cantidad de madera, sin embargo, cerca del 88% de la pulpa producida es exportada a otros países.

El 60% de la madera proviene de la especie *Pinus Radiata*, un 23% de la especie *Eucalyptus globulus*, un 10% del *Eucalyptus nitens* y un 6,9% de otras especies. Estos recursos se concentran principalmente en las regiones del Biobío, de la Araucanía y del Maule.

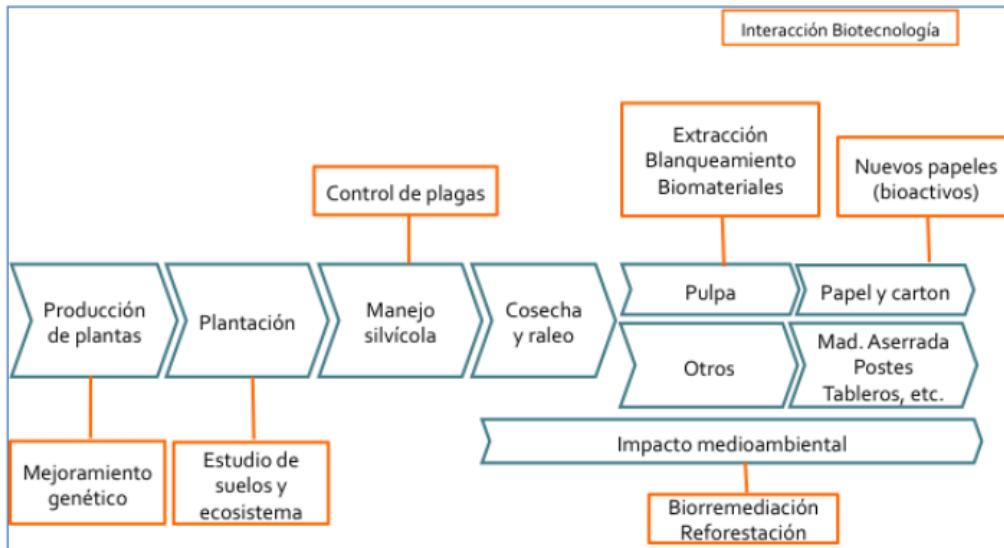


Figura 12: Diagrama del proceso general de la industria forestal y su interacción con la industria biotecnológica [31].

A pesar de que existe un gran potencial de aplicación de la biotecnología en sofisticar el sector forestal (Figura 12), como la producción de energía a partir de biomasa, tratamiento de residuos, etc., la alta concentración del sector en sólo 3 grandes empresas (Arauco, CMPC y Hancock) dificulta el desarrollo de la industria biotecnológica por parte de otras empresas ya que para realizar I+D se requiere acceso a bosques e instalaciones el cual depende exclusivamente de estas empresas.

2.1.5 Biomedicina

La biomedicina es un sector que es intrínsecamente basado en la biotecnología y ocupa el 39% de su mercado en Chile. El año 2013 representó el 2% del PIB [33]. La gran dificultad que se presenta en este sector es que requiere de una alta inversión para su desarrollo, debido al I+D necesario, los altos costos de las fases de validación y certificación, y el tiempo que toma llevar el producto al mercado. Se puede dividir en 3 áreas: diagnóstico, farmacología y dispositivos médicos.

En la Figura 13 se pueden observar las etapas del desarrollo productivo del sector biomédico y los diferentes actores involucrados. Los productos biomédicos representan altos retornos y la demanda externa está en constante crecimiento [33]. Este sector se desarrolla principalmente en la Región Metropolitana [33].

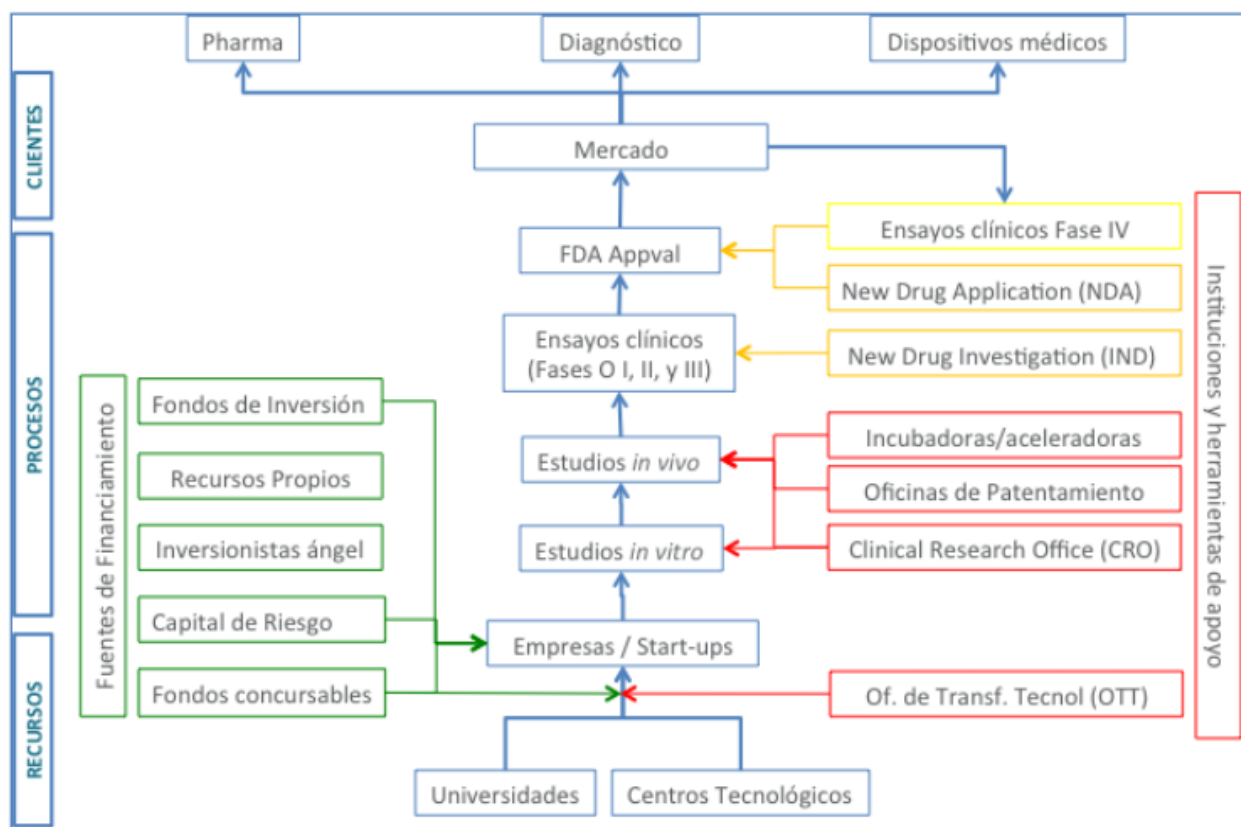


Figura 13: Diagrama general de la industria biomédica [31].

2.1.6 Energía

Aunque en menor medida en comparación a los sectores anteriores, el sector de la energía también representa una oportunidad para desarrollar aplicaciones biotecnológicas. Actualmente la matriz energética chilena está en constante transformación y diversificación la cual está actualmente basada en hidrocarburos. La demanda energética está en constante aumento y en Chile se importa el 70% de la energía, por lo que la producción de biocombustibles a partir de macro y microalgas tiene el potencial de aportar en estos desafíos [33]. Actualmente, la producción de energía a partir de biomasa se desarrolla cercana a la industria de la silvicultura.

Tabla 2: Distribución geográfica del desarrollo de cada sector.

Sector	Regiones principales de desarrollo
Acuicultura	Los Lagos y Aysén
Silvicultura	Araucanía, Biobío y Maule
Energía (biomasa)	Araucanía, Biobío y Maule
Agroindustria	Del Maule y de Coquimbo
Minería	Metropolitana, Atacama y Antofagasta
Biomedicina	Metropolitana

2.2 Principales entidades biotecnológicas

Se realizó una selección (la cual no pretende ser exhaustiva, sino más bien representativa) a partir de la base de datos creada por el IFIE de biotecnología de CORFO, una investigación personal y un breve análisis de cada una de ellas. Se lograron identificar 256 entidades de la sociedad civil y 8 instituciones públicas distribuidas en 5 ministerios. La lista completa se puede encontrar en el Anexo III.

Con el fin de clasificar a las distintas entidades que aportan al desarrollo de la biotecnología con respecto a su relación con la matriz productiva del país, se categorizan en aquellas cuyo desarrollo aporta en sofisticar la matriz productiva nacional y aquellas que aportan en su diversificación.

Dentro de la primera categoría, están aquellos actores cuyo rol principal es aplicar la biotecnología como una herramienta, la cual sirve para mejorar los procesos industriales ya existentes, logrando mejores niveles de competitividad y productividad en la industria, incluyendo no solo menores costos económicos, sino también sociales y medioambientales.

La segunda categoría se refiere a la industria biotecnológica propiamente tal, es decir, aquellos actores que a partir de la aplicación de la biotecnología desarrollan un producto biotecnológico en sí mismo. Dentro de la industria biotecnológica, existen aplicaciones que crean productos que permiten nuevas y mejores formas de procesar recursos naturales (con posibilidades de exportación en algunos casos) y aquellas que los utilizan como insumo para crear productos y las que funcionan independiente de ellos. Por lo general, las entidades biotecnológicas participan en más de un solo sector productivo [8].

Una tercera categoría son aquellas entidades que solo ofrecen servicios biotecnológicos.

Los tipos seleccionados de entidades biotecnológicas son:

- Empresas biotecnológicas: entidades económicas cuya principal fuente de ingresos es por medio de la venta de productos o servicios biotecnológicos.
- Insumo y equipamiento: entidades económicas que producen equipamiento e insumos cuyos consumidores son parte de la industria biotecnológica.
- Farmacéuticas: entidades económicas encargadas de comercializar productos biomédicos enfocados en salud humana.
- Centros de investigación: instituciones públicas o privadas que se dedican a la creación de conocimiento relacionado con la biotecnología. Esta investigación no necesariamente se traduce en algún producto. Algunos centros realizan servicios biotecnológicos.
- Consorcios de investigación: son de carácter público-privado y están generalmente compuestas por distintos tipos de entidades, lo que incluye a universidades en algunos casos. Su función es realizar I+D sectorial. Los frutos de esta organización se transfieren a los socios del consorcio.
- Instituciones educativas: instituciones de educación superior que realizan docencia, investigación y extensión relacionada al desarrollo de la biotecnología, en particular, que incorporan carreras en donde se forma capital humano para el desarrollo de la industria biotecnológica.

- Redes: organizaciones o espacios que permiten articular y fomentar el diálogo y la transferencia de conocimiento, tecnología o experiencias entre actores relevantes para el desarrollo de la biotecnología, a nivel nacional e internacional.
- Incubadoras y aceleradoras: organizaciones que ayudan a que una idea o producto biotecnológico logre llegar al mercado de la mejor manera y en el menor tiempo posible.

2.2.1. Empresas biotecnológicas

Actualmente, es posible identificar 100 empresas biotecnológicas en funcionamiento en Chile. Se descartaron aquellas empresas que no contaban con algún tipo de presencia en internet o información de contacto. Esta selección (SIB) tampoco incluye directamente aquellas empresas que provienen de la utilización de la biotecnología tradicional o que solo la utilizan como una herramienta secundaria y de baja complejidad dentro de su proceso productivo, por lo que se consideran como un segundo anillo del SIB. Esta decisión se justifica, además, debido a que estas empresas están asociadas a sectores productivos con años de madurez, con una institucionalidad estable y ya posicionados en el mercado, lo que aleja sus intereses directos de la emergencia de la industria biotecnológica propiamente tal.

Como se puede apreciar en la Figura 14, solo el 36% de las empresas están vinculadas a los sectores asociados a los recursos naturales del país (agricultura, acuicultura, minería y silvicultura), siendo la biomedicina el sector que más destaca con un 38%. Otro dato relevante es que el 46% de las empresas corresponden a startups. Además, de acuerdo con la Figura 15, el 73% de ellas buscan dedicarse al desarrollo productivo (sofisticación y diversificación). También es posible identificar la alta concentración de estas empresas en la Región Metropolitana, por lo que es una industria que aún tiene mucho que crecer en las regiones, que es en donde ocurre gran parte del desarrollo de los sectores estratégicos (ver Tablas 3 y 4). Por otro lado, el 57% de las empresas están en una etapa de precomercialización (Anexo II.2).

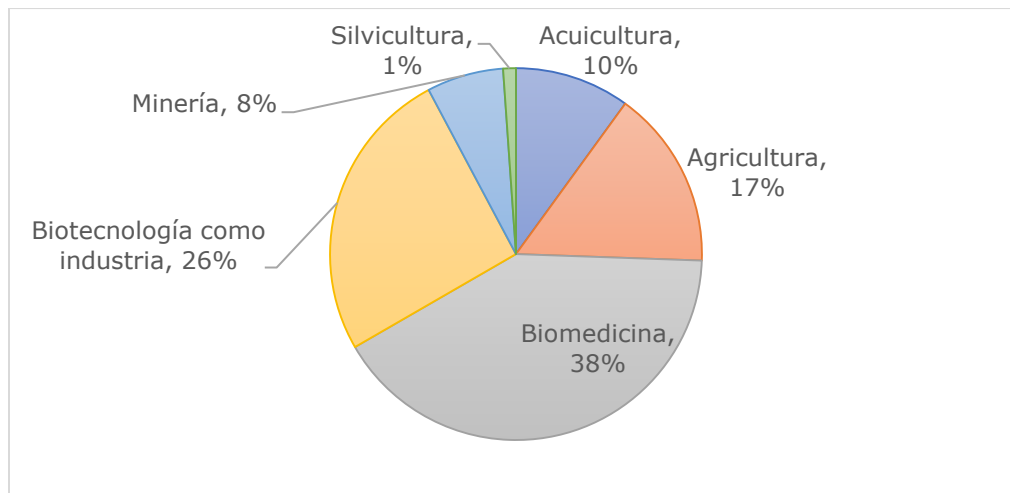


Figura 14: Composición empresas biotecnológicas según sector productivo. Fuente: elaboración propia.

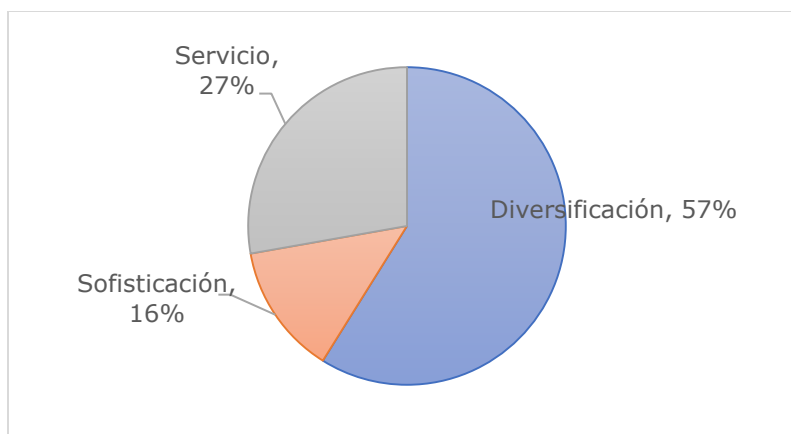


Figura 15: El rol de las empresas biotecnológicas en la matriz productiva chilena. Fuente: elaboración propia.

Tabla 3: Cantidad de empresas biotecnológicas por región.

Región	Cantidad de empresas	Porcentaje
Antofagasta	2	2%
Valparaíso	7	7%
Metropolitana	70	71%
Maule	1	1%
Biobío	10	10%
Araucanía	1	1%
Los Ríos	4	4%
Los Lagos	4	4%

Con un estudio realizado por ProChile del año 2016, en donde se busca “*caracterizar la oferta de la industria biotecnológica en Chile y su potencial para la exportación de productos y servicios*” [8], es posible complementar y agregar información a los datos anteriores. Por ejemplo, se estima que alrededor del 62% de las entidades cuenta con diez o menos trabajadores y el 47% de los puestos de trabajo es ocupado por mujeres. En cuanto a tamaño en relación con sus ventas, el 64% son entre micro y pequeñas empresas. Alrededor de un 60% participa en algún tipo de coordinación entre entidades o gremio. Por otro lado, las empresas dirigen sus productos y servicios a cerca de 4 sectores productivos en promedio y el 98% tiene interés en exportar, aunque cerca del 50% nunca ha realizado exportaciones. Los principales mercados internacionales de interés para comercializar son Estados Unidos seguido de Latinoamérica.

2.2.2 Insumos y equipamiento

En Chile existen 21 entidades que se dedican a la producción y comercialización de insumos y equipamiento, en donde la industria biotecnológica son sus principales consumidores. La mayoría comercializa equipamiento de laboratorio orientado a la investigación y al desarrollo de la biomedicina. La venta de insumos y equipamiento productivo también está presente, pero en menor proporción.

El 85% de estas empresas están establecidas en la Región Metropolitana (Tabla 4), siguiendo la tendencia de las empresas biotecnológicas.

Tabla 4: Cantidad de empresas de insumo y equipamiento por región.

Región	Cantidad de empresas	Porcentaje
Valparaíso	2	10%
Metropolitana	18	85%
Araucanía	1	5%

2.2.3 Farmacéuticas

Cerca de 13 empresas farmacéuticas tienen presencia en Chile actualmente, en donde solo 1 es de origen nacional (Bago Chile). Se dedican en su mayoría a comercializar productos más que a investigar o producir (Anexo II.2). Todas tienen su establecimiento principal en la Región Metropolitana.

2.2.4 Centros y consorcios de investigación

Chile cuenta con 51 centros de investigación y 9 consorcios de investigación dedicados a la biotecnología. El 70% de todos ellos orientan su trabajo en el desarrollo diversificado de la biotecnología, mientras que el resto aporta en la sofisticación de la matriz productiva. El 38% de la I+D biotecnológica chilena está asociada a los recursos naturales estratégicos (Figura 16).

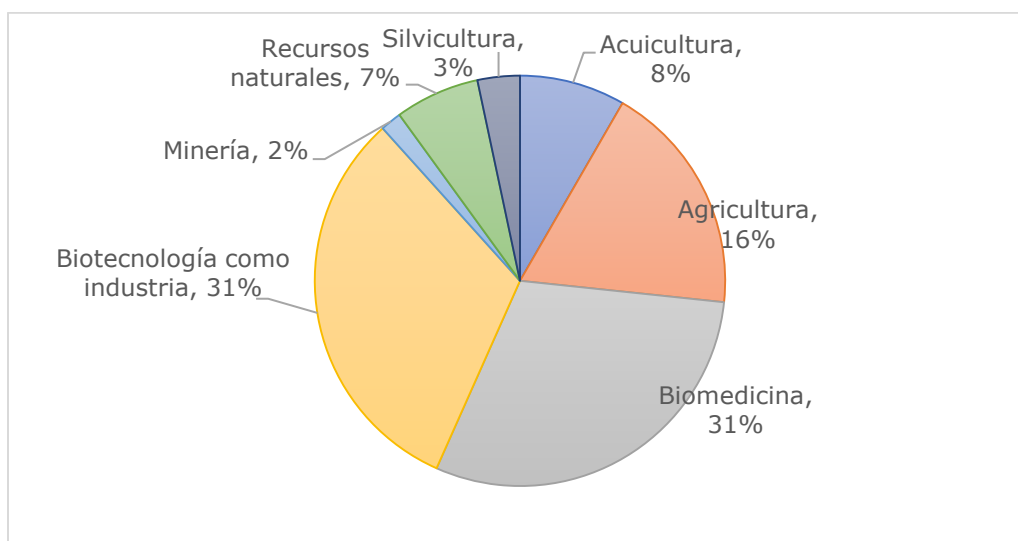


Figura 16: Distribución general de la orientación de la investigación de centros y consorcios de investigación según sector productivos. El sector de "recursos naturales" se refiere a actividades relacionadas varios sectores asociados a los recursos naturales y con un énfasis en el desarrollo regional o local. Fuente: elaboración propia.

Estos centros están distribuidos a largo de todo el país, siendo Santiago la ciudad con mayor presencia (Tabla 5). Por lo general, la ubicación de estas entidades se fundamenta en la presencia de algún sector productivo o recursos naturales relacionados a los objetivos de investigación.

Tabla 5: Cantidad de centros y consorcios de investigación en biotecnología por región Transversal significa que se encuentra en más de una región.

Región	Centros de investigación	Consortios de investigación	Porcentaje del total
Tarapacá	1	0	2%
Antofagasta	1	0	2%
Valparaíso	4	1	8%
Metropolitana	25	7	53%
Maule	4	0	8%
Biobío	6	0	10%
Araucanía	2	0	3%
Los Ríos	1	0	2%
Los Lagos	1	1	3%
Magallanes	1	0	2%
Transversal	5	0	8%

2.2.5 Instituciones educativas

En Chile existen alrededor de 60 universidades vigentes, y en 23 (38%) de ellas se investiga o se forman profesionales relacionados con la biotecnología por medio de 101 programas de estudio; considerando diplomados (5), pregrado (37) y postgrado (59). Las carreras abarcan desde ingeniería en bioprocesos hasta bioquímica. 9 de estas universidades son estatales (con 44 programas) y 14 privadas (con 57 programas). En el resto de las instituciones de educación superior no se enseñan temas relacionados a la biotecnología.

La distribución regional de los programas y sedes se puede ver en la Tabla 6, en donde se puede observar la misma tendencia centralizada. Los programas de postgrado, además de aportar en la formación de capital humano, también aporta en al ámbito de la investigación. Muchas de estas instituciones también realizan esfuerzos para fomentar el emprendimiento o la creación de spin-offs.

Tabla 6: Cantidad de cedes y programas de estudio relacionados con la biotecnología por región.

Región	Sedes	Programas de estudio	Porcentaje de cedes	Porcentaje de programas
Tarapacá	1	1	4%	1%
Antofagasta	1	4	4%	4%
Coquimbo	1	4	4%	4%
Valparaíso	4	14	17%	14%
Metropolitana	11	45	46%	45%
Maule	2	8	8%	8%
Biobío	2	12	8%	12%
Araucanía	1	7	4%	7%
Los Lagos	1	6	4%	6%

2.2.6 Redes

Las redes con presencia en Chile son principalmente asociaciones gremiales o plataformas de encuentro como cumbres o charlas. En este estudio se identificaron 19 entidades que cumplen con estas características, en donde 6 de ellas son internacionales. Como se puede apreciar en la Figura 17 estas redes orientan sus actividades de manera más bien transversal, abarcando diversos ámbitos y aplicaciones de la biotecnología. Es importante destacar a la asociación gremial más importante del sector, llamada ASEMBIO, que compuesta por más de 60 de las empresas biotecnológicas y otras organizaciones relacionadas chilenas.

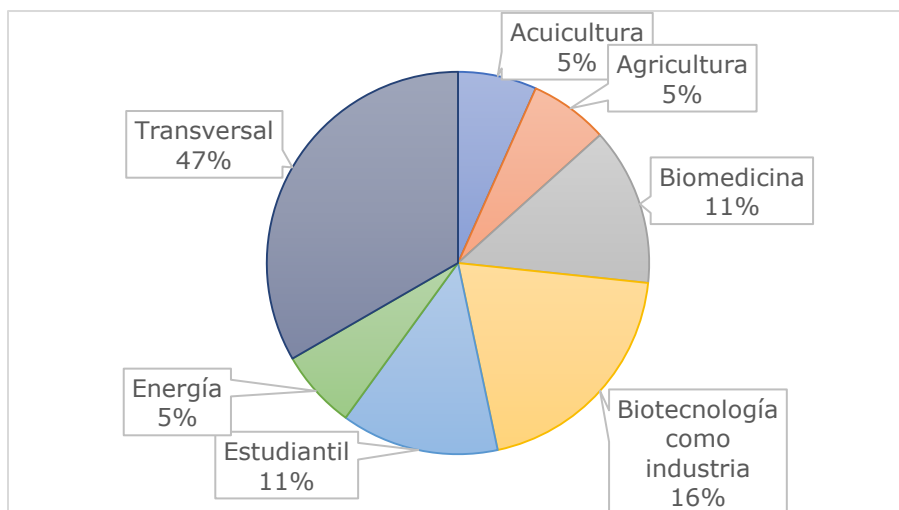


Figura 17: Distribución porcentual de la orientación general del trabajo de las redes relacionadas con la biotecnología en Chile. Fuente: elaboración propia.

2.4.7 Incubadoras y aceleradoras

Se identificaron 20 de estas entidades que han apoyado la creación de emprendimientos biotecnológicos. Algunas de ellas son fundaciones o parte de programas universitarios o empresas privadas. Al igual que el resto de los componentes del SIB, su presencia y trabajo se concentra principalmente en la Región Metropolitana (Tabla 7).

Tabla 7: Cantidad de incubadoras o aceleradoras chilenas por región.

Región	Cantidad	Porcentaje
Antofagasta	1	5%
Valparaíso	2	10%
Metropolitana	14	70%
Maule	1	5%
Biobío	1	5%
Araucanía	1	5%

2.3 Instituciones públicas

En Chile, existen alrededor de 9 instituciones públicas que tienen, o han tenido en la historia reciente, influencia directa en el desarrollo del SIB. Esta selección cuenta con instituciones a cargo de fomentar el desarrollo de la ciencia y la tecnología, de las exportaciones, de la industria, de

normar algunos sectores estratégicos, etc. Además, existen 2 programas que tienen objetivos coherentes al desarrollo del SIB para aportar en la sofisticación y diversificación de la matriz productiva.

Cabe destacar que no existe una institución, ya sea pública o privada, que oficialmente se encargue de impulsar y monitorear el desarrollo biotecnológico en Chile de manera transversal. Así mismo, la regulación que norma el desarrollo y aplicación de la biotecnología no es ejercida ni fiscalizada desde una sola institución. Por el contrario, existen distintas instituciones que cubren distintos aspectos de su desarrollo de acuerdo a sus propios objetivos (sectoriales, por ejemplo), lo cual involucra la participación de distintos ministerios, como el de Economía, Fomento y Turismo (MINECON), de Salud (MINSAL), de Agricultura (MINAGRI), de Relaciones Exteriores (MINREL) y el nuevo Ministerio de Ciencia, Tecnología Conocimiento e Innovación (MINCTCI); el cual tiene el potencial mejorar la gestión del desarrollo industrial a partir de la creación y adopción de nuevas tecnologías.

2.3.1 Corporación de Fomento de la Producción (CORFO)

CORFO nació en el año 1939 y tiene la misión de mejorar la competitividad y la diversificación productiva del país, a través del fomento a la inversión, la innovación y el emprendimiento, junto con fortalecer el capital humano y las capacidades tecnológicas que permitan alcanzar un desarrollo sostenible. Es una institución dependiente del MINECON.

CORFO implementa políticas públicas relacionadas con el desarrollo productivo nacional mediante distintos programas que buscan la creación de nuevas empresas y lograr que las ya existentes mejoren su productividad, sus capacidades tecnológicas y su competitividad. Existen distintos tipos de fondos destinados a lograr estos objetivos y de quienes postulan.

Con respecto a la biotecnología y frente a un sector privado poco desarrollado y articulado, CORFO ha sido la institución protagonista por medio de la cual se han implementado e ideado programas que impulsen su desarrollo (Anexo II.2). El último de ellos fue el IFIe en biotecnología que fue realizado en conjunto con la Cámara Chilena Norteamericana de Comercio (AMCHAM Chile), la cual promueve el libre comercio, la inversión y la integración entre Chile y Estados Unidos.

Otro programa pertinente para los objetivos del SIB es Chile Transforma, iniciativa que busca potenciar la sofisticación y diversificación productiva a través del desarrollo de los distintos sectores estratégicos.

2.2.2 Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo (AID)

Organismo sucesor legal de CONICYT (1967-2018), el cual estará a cargo de administrar y ejecutar los programas e instrumentos de acuerdo a las políticas definidas por el MINCTCI [35], dejando de pertenecer al Ministerio de Educación. Promoverá la investigación motivada por la curiosidad y aquella necesaria para el desarrollo estratégico del país: minería, recursos hídricos, desastres naturales, energía, salud y alimentos, educación, y desarrollo social [36].

Tabla 8: Propuesta de distribución de instrumentos actuales en ciencia, tecnología e innovación en la nueva estructura de la AID. En rojo se indican los instrumentos que serán transferidos a la AID desde otras reparticiones [36].

Unidad de Investigación Individual	Unidad de Investigación Asociativa	Unidad de Formación de Capital Humano Avanzado	Unidad de Desarrollo de Capacidades Transversales	Unidad de Apoyo a la Innovación y Transferencia de Conocimiento y Tecnología
Inserción en la Academia (PAI)	Anillos de investigación (PIA)	Postdoctorado (FONDECYT)	Equipamiento Mediano (Fondequip)	Oficina de Transferencia y Licenciamiento (Corfo)
Inserción en Sector productivo (PAI)	Núcleos Milenios (ICM)	Tesis en el sector productivo (PAI)	Horas Buque (PIA)	Hubs (Corfo)
Subvención a la Instalación (PAI)	Fondap (FONDECYT)	Asistencia eventos (PFCHA)	Magíster en temas CTI (Regional)	Innovación en Educación Superior (Mineduc)
Inicio de Investigación (FONDECYT)	Basales (PIA)	Magíster funcionario público (PFCHA)	Tiempo Telescopios GEMINI y APEX (Astronomía)	
Regular (FONDECYT)	Institutos Milenio (ICM)	Magíster nacional profesional educación (PFCHA)	Proyectos de valoración y divulgación (Explora)*	
IdeA (Fondef) -temático en inocuidad alimentaria -adulto mayor -Dos etapas	Centros Regionales (Regional)	Becas Nacionales (PFCHA) -Magíster -Doctorado	Fondo de publicación científica (Información Científica)	
IT (Fondef) -Minería -FANS -Programa IDEA		Becas Chile (PFCHA) -Doctorado -Magíster -Postdoctorado -Doctorado DAAD -Doctorado Fullbright -Magíster Profesionales Educación -Subespecialidades médicas	Fondo de estudio pluralismo (Información Científica) CINCEL	
Fonis (Fondef)			Apoyo a la Formación de Redes Internacionales para Investigadores en Etapa Inicial (FONDECYT-PCI) Instrumentos PCI	

En la actualidad CONICYT cuenta con 13 programas, 7 departamentos de apoyo y realiza 60 convocatorias a concursos al año. AID mantendrá relativamente la misma estructura y funcionamiento, por ejemplo, seguirá liderando la implementación del Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDECYT). En la Tabla 8 se puede observar su nueva estructura [36].

2.2.3 Instituto de Salud Pública

Es una institución científico-técnica del Estado, la cual reemplazó al Instituto Bacteriológico el año 1980, que tiene como funciones la vigilancia, autorización y fiscalización en el ámbito de la salud pública. Es parte del MINSAL.

Su relación con la biotecnología tiene que ver con al área biomédica, ya que es responsable de la fiscalización y del correcto ingreso al mercado de productos que tienen algún impacto en la salud, como es el caso de los medicamentos.

2.2.4 Servicio Agrícola Ganadero (SAG)

Es el organismo oficial del Estado que desde el año 1967 se encarga de apoyar el desarrollo de la agricultura, los bosques y la ganadería, a través de la protección y mejoramiento de la salud de los animales y vegetales. Es parte del MINAGRI.

Su relación con la biotecnología se debe a la fiscalización y certificación del cumplimiento de la normativa nacional que regula plaguicidas, fertilizantes y organismos vegetales genéticamente modificados. Esto involucra toda la cadena de valor de los productos. Cuentan con un laboratorio de biotecnología dedicado al diagnóstico molecular.

2.2.5 Fundación para la Innovación Agraria (FIA)

Es una agencia creada el año 1996, parte del MINAGRI, cuya misión es fomentar una cultura de innovación en el sector agrario, agroalimentario y forestal, promoviendo, articulando y apoyando iniciativas de personas y entidades que contribuyan a mejorar las condiciones de vida de las y los agricultores de todas las regiones.

Su aporte a la biotecnología es a través de los Fondos de Innovación Agraria, los cuales han sido y pueden seguir siendo utilizados para la I+D orientado al desarrollo del sector por medio de la biotecnología.

2.2.6 Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA)

Parte del MINECON y creado el año 1992, busca contribuir a la sustentabilidad del sector y a la protección de los recursos hidrobiológicos y su medio ambiente, a través de una fiscalización integral y gestión sanitaria que incluye en el comportamiento sectorial promoviendo el cumplimiento de las normas. Por lo tanto, al igual que el SAG, fiscaliza la normativa que relaciona la acuicultura con la biotecnología.

2.2.7 ProChile

Es la institución del MINREL que se encarga de la promoción de la oferta exportable de bienes y servicios chilenos, y de contribuir a la difusión de la inversión extranjera y al fomento del turismo. Fue creada en el año 1974. Han estudiado y caracterizado el potencial de la oferta biotecnológica para exportar sus productos.

2.2.8 Instituto Chileno Antártico (INACH)

Desde el año 1963, es el único organismo estatal, parte del MINREL, responsable de coordinar, planificar e implementar las actividades que se realizan en el territorio antártico chileno. Debe cumplir con la Política Antártica Nacional, incentivando el desarrollo de la investigación

científica, tecnológica y de innovación en este territorio. Cuentan con un Departamento Científico (DECIEN), el cual incluye las secciones de Paleobiología y Biorecursos. Además, tienen colaboración con entidades que investigan y desarrollan biotecnología en Chile.

2.4 Otras instituciones públicas relevantes

A continuación, se describen brevemente instituciones que, si bien no forman parte del SIB, con sus atribuciones y actividades podrían significar un impacto positivo que permitan fortalecerlo.

2.4.1 Consejo Asesor o Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación para el Desarrollo

Organismo sucesor del Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo (CNID), el cual fue creado en el año 2005. Corresponde a un consejo asesor presidencial permanente que tiene por objetivo analizar las tendencias de desarrollo nacionales e internacionales para formular propuestas para fortalecer y desarrollar el sistema. Elabora con una mirada sistémica y de largo plazo una Estrategia Nacional de ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo, que será el marco orientador de las políticas públicas en este ámbito.

A pesar de que el CNID no ha elaborado propuestas que impacten directamente el desarrollo de la biotecnología, al ser un organismo que elabora propuestas para el desarrollo estratégico para el país, tiene un rol dentro de las decisiones y acciones que van a ir definiendo el curso de la sofisticación y diversificación de la matriz productiva chilena y con ello el rol de la biotecnología en dicho proceso.

2.4.2 Fundación Chile

Creada en el año 1976, es una corporación sin fines de lucro asociada al Estado chileno que busca generar redes internacionales, entregando soluciones de alto impacto para abordar los desafíos de Chile en sustentabilidad, desarrollo de capital humano, educación, acuicultura, biotecnología, emprendimiento y alimentación.

2.4.3 Imagen de Chile

Es un organismo encargado de promover la imagen de Chile a nivel internacional, con el fin de contribuir a su competitividad a través de la gestión de la marca país. También es parte del MINREL y existe desde el año 2009. No tiene un rol exclusivo relacionado a la biotecnología, pero fue una de las organizaciones que impulsó y fue parte del IFIe de biotecnología.

2.4.4 Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI)

INAPI es el organismo encargado de la administración y atención de los servicios de la propiedad industrial en Chile y funciona desde el 2009. Le corresponde, asimismo, promover la protección que brinda la propiedad industrial y difundir el acervo tecnológico y la información de que dispone. Contribuye a la estrategia de innovación impulsada por el Gobierno de Chile, generando sistemas eficientes para el uso y protección de los derechos de propiedad industrial, promoviendo la innovación, el emprendimiento y la transferencia de conocimiento a la comunidad.

2.4.5 Invest Chile

Es la agencia gubernamental responsable de promover a Chile en el mercado global como un destino para la inversión extranjera directa, sirviendo de puente entre los intereses de los

inversionistas extranjeros y las oportunidades de negocios que ofrece el país, brindando servicios de clase mundial que están en línea con las políticas de desarrollo económico de Chile.

2.4.6 Observatorio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento (CTIE)

Esta herramienta agrupa, estandariza, analiza y expone de manera fluida y amigable toda la información que atañe al Sistema Nacional de Innovación y permite tomar decisiones de política pública basadas en evidencia. Es una plataforma disponible en línea y conectado en vivo con cada institución, que agrupa todos los datos administrativos disponibles de CORFO (2008-2017), CONICYT (2010-2017) e ICM (2014-2017).

2.4.7 Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud (CENABAST)

Gestiona los procesos de compra de medicamentos, alimentos, insumos y equipamiento mandatados por el Ministerio de Salud, Subsecretaría de Redes Asistenciales, Subsecretaría de Salud Pública, Fondo Nacional de Salud, Servicios de Salud, Municipalidades y Corporaciones Municipales, y en general por las entidades que se adscriban al Sistema Nacional de Servicios de Salud para el ejercicio de acciones de salud.

2.5 Resumen del SIB y su fase de desarrollo preliminar

Después de este análisis es posible delimitar y definir el SIB; su tamaño, distribución regional, aporte potencial a la industria nacional y a sus sectores estratégicos, junto a algunas de sus limitaciones. Un esquema del SIB completo se puede observar en la Figura 18, compuesto 256 entidades de la sociedad civil y 8 instituciones públicas principales, que se distribuyen entre 5 ministerios.



Figura 18: Componentes del SIB chileno, en donde se encuentran 256 entidades de la sociedad civil y 8 instituciones públicas principales. Fuente: elaboración propia.

Como se puede apreciar en la Figura 19, es un ecosistema extremadamente centralizado, concentrando cerca del 70% de las actividades y desarrollo del SIB en la Región Metropolitana, seguida por las regiones de Valparaíso y la del Biobío.

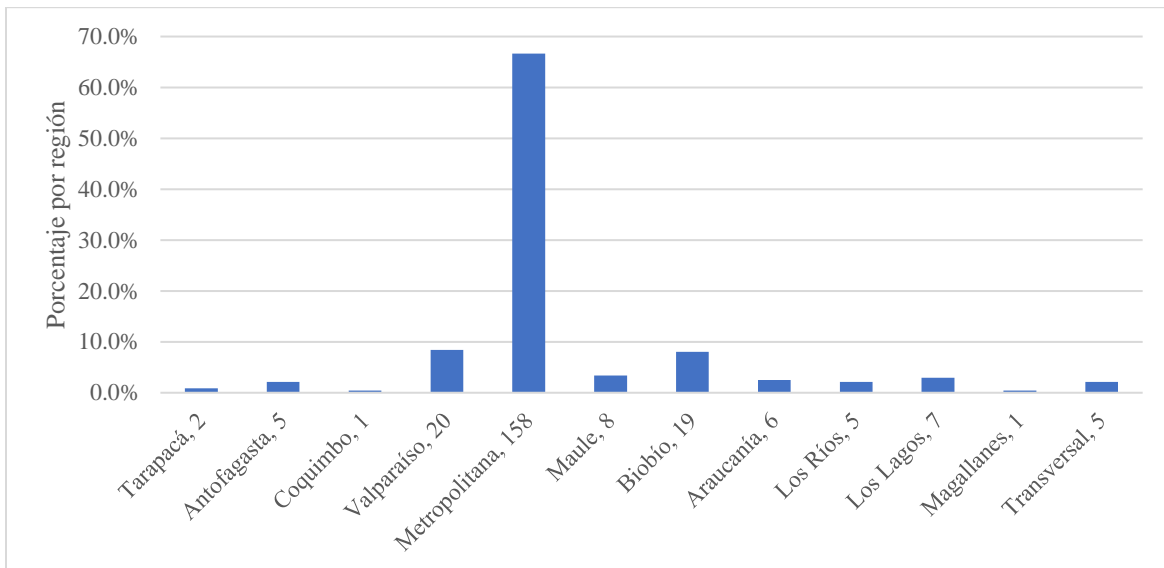


Figura 19: Distribución regional de los componentes del SIB. Para esta selección no se consideraron las redes. Aquellos componentes que se encuentran en más de una región se encuentran bajo la categoría Transversal. Fuente: elaboración propia.

Como ya se ha dicho, la biotecnología es una disciplina con muchas aplicaciones, y su desarrollo en el país hasta la actualidad ha estado enfocado en los sectores que se pueden observar en la Figura 20. El SIB está orientado hacia la diversificación de la matriz productiva, destacando el sector de la biomedicina. Es importante recordar que un gran porcentaje de las entidades biotecnológicas del SIB tienen aplicaciones para más de un sector.

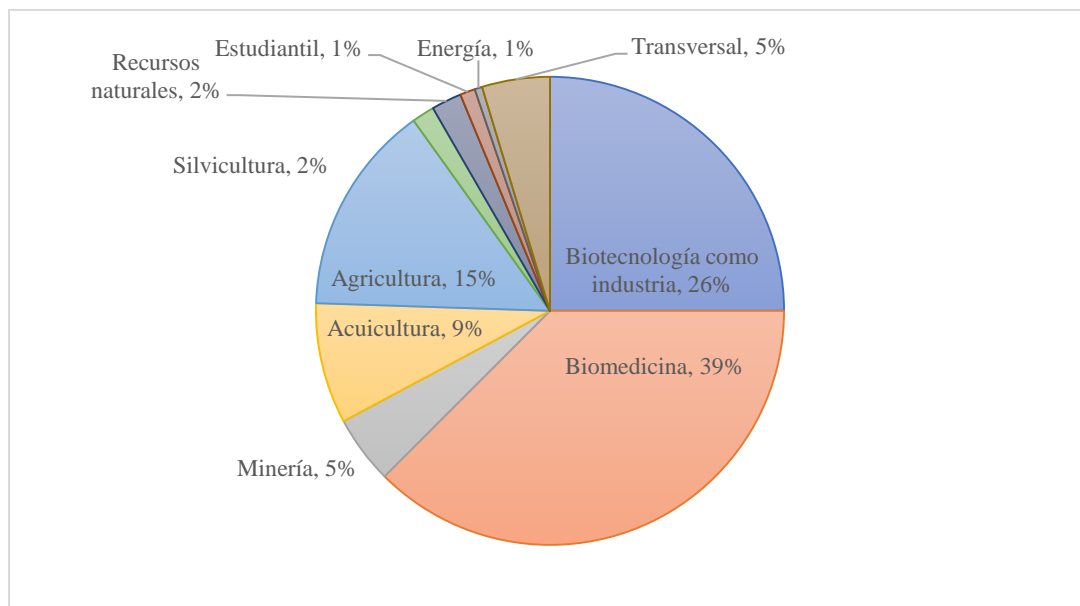


Figura 20: Distribución sectorial del desarrollo de biotecnología por parte del SIB en la industria nacional. En la categoría transversal están aquellas entidades que aportan a más de un sector. Esta distribución se obtuvo a partir de las empresas biotecnológicas, entidades de investigación, farmacéuticas y las redes.

En la Figura 21 se muestra la cantidad de componentes del SIB creados por año desde el año 2000, en donde destacan los años 2006, 2010 y 2013 con un mayor porcentaje de crecimiento. En la Figura 22 se muestra la evolución del SIB en el tiempo, el cual ha crecido a una tasa anual del 10%.

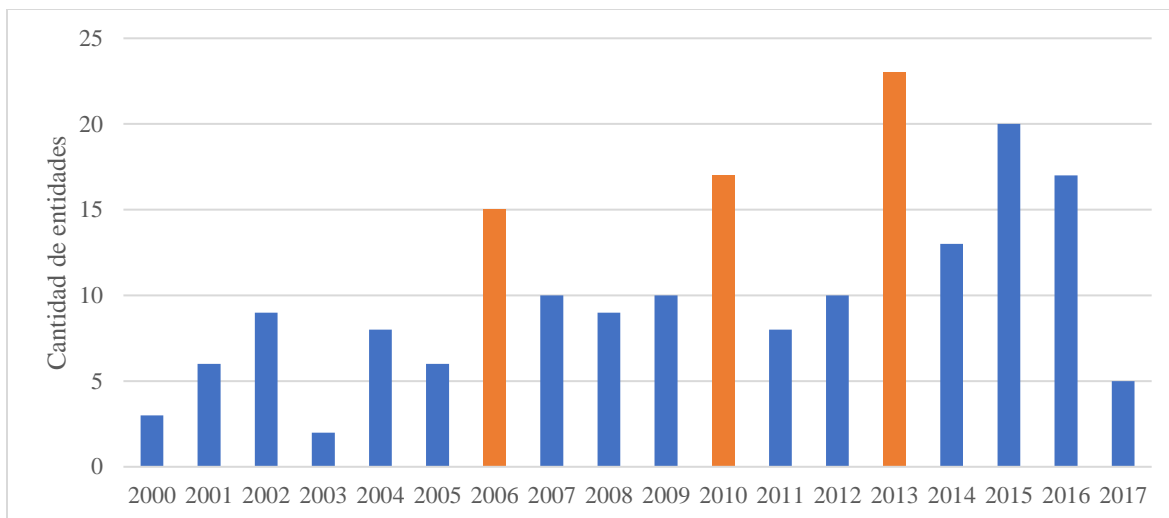


Figura 21: Cantidad de componentes del SIB creados por año (considera las entidades de la sociedad civil sin contar a las instituciones educativas). Fuente: elaboración propia.

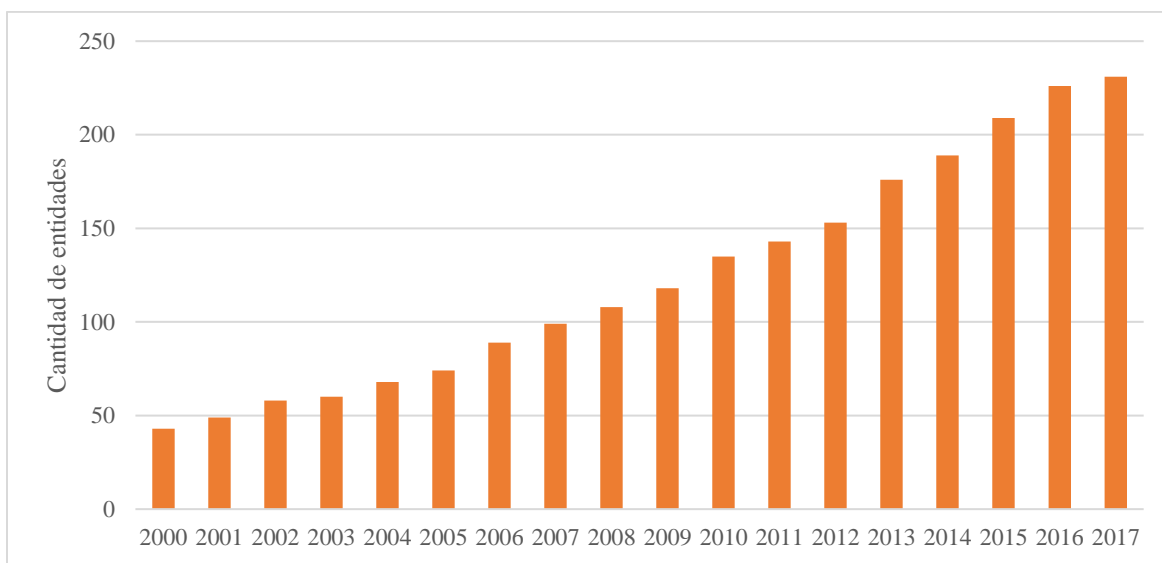


Figura 22: Evolución en el tiempo de los componentes del SIB. Fuente: elaboración propia.

A modo de comparación [8], Alemania tiene una de las principales industrias biotecnológicas del mundo. Cerca de 570 de sus empresas se dedican exclusivamente a la biotecnología, en donde, al igual que en Chile, el sector biomédico es el más grande. En España existen 554 empresas biotecnológicas y también el sector de la biomedicina es el más importante. Se destaca porque su sector biotecnológico tuvo un rápido crecimiento con respecto a su peso en el PIB nacional gracias a las políticas públicas implementadas, desde 3% el 2008 a 9,07% el 2014. Por otro lado, Nueva Zelanda cuenta con alrededor de 150 empresas dedicadas a la biotecnología y cuentan con una matriz productiva similar a la chilena. Tiene una orientación similar en cuanto a su aplicación

sectorial. También está el caso de Argentina, país que también es parte de Latinoamérica, y que tiene 178 empresas biotecnológicas.

Estos datos corresponden al año 2015, pero permiten hacer una comparación simple con el Chile actual, que cuenta con cerca de 100 empresas biotecnológicas, número alejado de los países que han alcanzado un desarrollo robusto y estable del sector biotecnológico. La situación biotecnológica chilena está aún más en desventaja si se considera que el 57% aún no realiza ventas estables. Por lo que la fase de desarrollo del SIB nacional es embrionaria, en una etapa de precomercialización y experimentación (Anexo II.2), con el potencial de pasar a una fase de comercialización más estable en el tiempo.

3. Mapeo de la dinámica funcional del SIB

En la Tabla 9 se encuentra un resumen de la selección de funciones, y en el Anexo I se pueden encontrar los fundamentos utilizados para dicha selección. Las funciones desde **F1** a **F7** son internas, es decir, permiten estudiar las dinámicas entre los componentes del SIB en el tiempo. Desde la función **F8** hasta la **F12** se analizan las dinámicas externas relacionadas a las condiciones que impone un país en vías de desarrollo como lo es Chile y su influencia positiva o negativa en el SIB.

Tabla 9: Resumen de la selección de funciones [37].

F	Nombre	Descripción
1	Actividades y experimentación emprendedora	Actividades que buscan explotar el potencial comercial de la biotecnología.
2	Desarrollo de conocimiento y capacidad adaptativa	Proyectos de investigación nuevos o existentes sobre la biotecnología.
3	Difusión del conocimiento y redes	Difusión y alcance del conocimiento sobre biotecnología entre actores.
4	Orientación de la búsqueda	Acciones por parte del gobierno o empresas que afecta las expectativas sobre la biotecnología.
5	Conformación de mercados	Acciones con las cuales la biotecnología ingresa al mercado. Se analiza desde el punto de vista de los emprendedores (a) y del Estado y otras instituciones (b).
6	Movilización de recursos	Recursos invertidos en el desarrollo de la biotecnología desde el Estado y otras instituciones nacionales y financiamiento internacional.
7	Creación de legitimidad	Actividades de lobby entre actores con influencia política y económica o de la sociedad civil en general que afecten la legitimidad de la biotecnología.
8	Crecimiento económico	La influencia de las fortalezas y debilidades de la economía afectan el desarrollo de la biotecnología.
9	Conciencia medioambiental	Acciones motivadas por la conciencia medioambiental que podrían influenciar el desarrollo de la biotecnología.
10	Cambio climático	Acciones motivadas por cambio climático que podrían influenciar el desarrollo de la biotecnología.
11	Corrupción	Corrupción y su impacto en el desarrollo biotecnológico.
12	Acceso desigual a la educación	Influencia del acceso a la educación en el desarrollo de la biotecnología.

3.1 Orientación de la búsqueda (F4)

A mediados del decenio 1990-2000, el MINAGRI junto a la FAO elaboraron una propuesta para el desarrollo nacional de la biotecnología agropecuaria y forestal, la cual constituye una de las primeras iniciativas en esta materia en el país. Esta iniciativa, junto a otros trabajos realizados por el MINECON a través de CORFO, motivaron la creación del Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica generando los beneficios descritos en el Capítulo 3.2. A partir de esta experiencia surgió la necesidad de impulsar un desarrollo más integral de la biotecnología en Chile de la mano con un marco regulatorio coherente, razón por la cual se constituyó por mandato del Presidente de la República la Comisión Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología, conformada por 30 miembros provenientes de distintos sectores y con aportes de más de 200 profesionales, para la elaboración de un informe con propuestas de acciones públicas y privadas. A partir de este esfuerzo y actividades relacionadas, se generó una *Política Nacional en Biotecnología* en el año 2003, cuyo horizonte temporal es el año 2010. El objetivo general fue “*impulsar el desarrollo y la aplicación*

de la biotecnología en Chile, especialmente en los sectores productivos basados en recursos naturales, con el fin de incrementar el bienestar y la calidad de vida de todos los chilenos y de contribuir a la generación de riqueza en el país, velando por la protección de la salud y la sustentabilidad ambiental” [26]. En la Tabla 10 se muestra un resumen de los objetivos y acciones específicas propuestas.

Tabla 10: Resumen de objetivos, lineamientos y acciones específicas del Plan Nacional en Biotecnología del 2003 [26]

OBJETIVOS	LINEAMIENTOS	ACCIONES
1. Fortalecer la industria biotecnológica nacional y promover la incorporación de procesos biotecnológicos en los sectores productivos, especialmente los de RR.NN.	A. Promover la creación y el desarrollo de consorcios empresariales y de empresas biotecnológicas en áreas estratégicas.	Realizar estudios prospectivos
		Impulsar la creación de consorcios empresariales biotecnológicos.
		Promover y atraer inversión extranjera en biotecnología.
		Fomentar la gestación de incubadoras de empresas biotecnológicas.
	B. Incentivar la protección de la propiedad intelectual.	Fomentar programa de capacitación sobre propiedad intelectual.
		Establecer incentivos al patentamiento.
2. Fortalecer las capacidades científicas, tecnológicas, de gestión y de infraestructura, así como la formación de RR.HH. necesarias para el desarrollo biotecnológico del país.	A. Establecer nuevas modalidades de financiamiento para la I+D en biotecnología.	Perfeccionar los instrumentos de financiamiento público para proyectos de I+D e innovación en biotecnología.
		Estudiar alternativas para fomentar las actividades de I+D en las empresas sobre la base de incentivos tributarios.
	B. Incrementar los RR.HH. dedicados a la I+D y gestión biotecnológica en áreas estratégicas.	Impulsar la formación de alto nivel en biotecnología y en gestión de negocios biotecnológicos.
		Formar capacidades en bioseguridad en las instituciones públicas.
3. Establecer un marco regulatorio que garantice un desarrollo seguro, sustentable y responsable de la biotecnología en Chile.	A. Desarrollar iniciativas regulatorias urgentes y necesarias para lograr el despegue del esfuerzo nacional en biotecnología y bioseguridad.	Normar el procedimiento de autorización sanitaria de OGM para uso alimenticio.
		Normar el rotulado sanitario de alimentos genéticamente modificados.
		Establecer un marco regulatorio que fije los requisitos para el cultivo, la crianza y la utilización de OGM, que permita la distribución en el país del organismo y sus productos.
		Establecer un sistema de certificación de productos OGM para exportación, que incluya mecanismos de trazabilidad.
	B. Impulsar las iniciativas legales tendientes a conformar un marco regulatorio coherente y transparente que favorezca el desarrollo de la biotecnología.	Impulsar el proyecto de <i>Ley Marco de Biotecnología</i> .
		Apoyar la promulgación de una ley para proteger la dignidad e identidad genética de las personas, prohibiendo la clonación humana.
		Actualizar el marco legal de propiedad industrial y de obtentores de variedades vegetales.
		Modificar la <i>Ley de Bases del Medio Ambiente</i> , estableciendo responsabilidades por daños y delitos ambientales debidos a contaminación genética.
		Alcanzar una definición nacional respecto de la ratificación del <i>Protocolo de Cartagena</i> sobre Seguridad de la Biotecnología.
		Crear la Comisión de Regulaciones en Biotecnología.

4. Implementar un marco institucional que asegure la coordinación pública y abrir espacios de participación ciudadana.	Crear el Foro Biotecnológico.
	Fortalecer y estimular programas de divulgación y educación científico-tecnológica.

Posteriormente, CORFO ha publicado una serie de informes para fomentar el uso de la biotecnología en la industria nacional e incentivar la creación de alianzas e inversiones internacionales en el año 2006 [14] [16], 2007 [15], 2015 [33] y 2016 [8] [38]. Recién en el año 2018 se terminó de crear un plan de carácter transversal equivalente al Plan Nacional en Biotecnología del año 2003, en donde se presentó una *Estrategia de Biotecnología al 2030* por medio de la Iniciativa de Fomento Integrada Estratégica en Biotecnología (IFIe) de CORFO, en conjunto con AMCHAM, Fundación Imagen de Chile, ASEMBIO y MGMS-Ganesha Lab, además de la colaboración de diversos actores empresariales y académicos. La visión propuesta hacia el 2030 es “*posicionar a Chile como un polo de desarrollo de la biotecnología aplicada a los recursos naturales y la salud, basado en un ecosistema vigoroso y bien articulado de universidades, centros, emprendedores, empresas innovadoras, aceleradoras e inversionistas, que logra impactar la productividad de los sectores productivos nacionales y generar negocios biotecnológicos con alcance global.*” La propuesta busca superar las brechas diagnosticadas que limitan el desarrollo e impacto de la biotecnología nacional, luego de los esfuerzos realizados durante los últimos 15 años [32]. En la Tabla 11 se puede observar un resumen de los ejes, objetivos e iniciativas de la propuesta, y en la Figura 23 se encuentran los plazos propuestos de cada punto. Las brechas identificadas fueron las siguientes:

1. Escasa incorporación de estándares en investigación aplicada (productos/servicios) que faciliten la transferencia y la adopción de tecnologías.
2. Falta de capacidades de escalamiento y validación de tecnologías para la transferencia tecnológica y levantamiento de capital privado.
3. Falta de capital humano en bionegocios y transferencia tecnológica especializada en biotecnología.
4. Líneas de financiamiento no responden al desarrollo de productos/servicios biotecnológicos, los cuales requieren de tiempos más largos de desarrollo y montos más flexibles.
5. Regulación no alineada con nuevas tecnologías, necesidad de armonizar regulación con innovación.

Tabla 11: Resumen de los ejes, objetivos e iniciativas de la *Estrategia de Biotecnología al 2030* [32].

Ejes 2030	Resumen objetivos específicos	Iniciativas
Condiciones habilitantes	Contar con las condiciones de base que habiliten el desarrollo del sector, sistemas de calidad, estándares internacionales y una regulación que promueva la innovación y el emprendimiento.	Red de biobancos
		Plataforma de recursos genéticos endémicos
		Observatorio regulatorio
Infraestructura y capital humano	Acelerar el desarrollo de productos y servicios biotecnológicos, mejorar la productividad de los sectores productivos nacionales, fortalecer el capital humano en	Plataforma traslacional de biotecnología
		Programas de formación de capital humano en bionegocios

	bionegocios y potenciando la internacionalización de la industria biotecnológica nacional.	
Innovación, emprendimiento e inversión	Generar nuevos mecanismos de asociación con inversionistas privados que disminuyan el riesgo y aumentar la probabilidad de compromisos tempranos con los actores de la industria objetivo con el fin de obtener una validación del mercado.	Fondo de inversión especializado con acompañamiento estratégico Creación de red de fondos nacionales sindicados con fondos internacionales especializados Nuevo instrumento de CORFO para proyectos de alta tecnología: <i>Subsidio Contingente Alta Tecnología.</i>

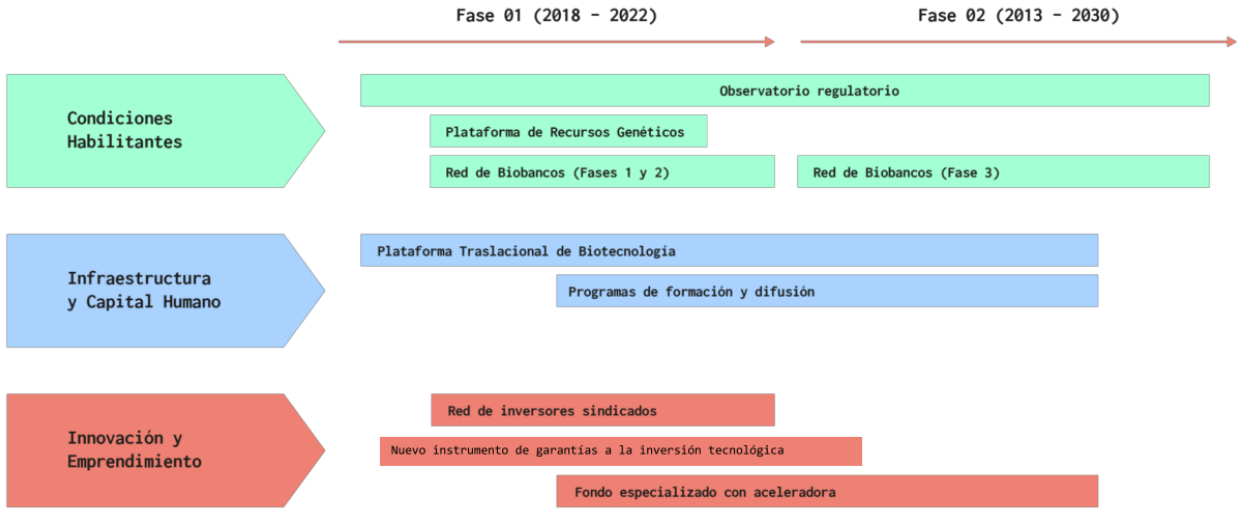


Figura 23: Resumen de los plazos aproximados de las iniciativas por eje de la Estrategia en Biotecnología al 2030 [32].

Como se puede observar, la planificación nacional del año 2003 generó las bases mínimas para la creación de un ecosistema biotecnológico en el país, mientras que la del 2018 busca robustecerlo con propuestas que buscan solucionar las brechas identificadas. Notar que existen iniciativas muy similares en ambas propuestas, lo cual sugiere que las primeras no lograron ser implementadas con el nivel de éxito esperado, como la promoción de inversión privada y extranjera, gestación de incubadoras, mejorar financiamiento de I+D, la formación en bionegocios, el Foro Biotecnológico o la Comisión de Regulación, etc. También es importante destacar que en la propuesta del 2018 existe un mayor énfasis en el desarrollo de la biomedicina, sector que tuvo un crecimiento importante a pesar de no haber estado estipulado en las prioridades de la propuesta del 2003, las cuales estaban más enfocadas en los sectores estratégicos asociados a los recursos naturales. En ambas propuestas y sobre todo en la primera, existe un énfasis en la importancia de la sofisticación y diversificación productiva y en el desarrollo sostenible.

Chile, por otro lado, ha sido protagonista de diversos eventos internacionales relacionados con la biotecnología (Figura 24). Además, se realizaron 2 conferencias internacionales asociadas al IFIE del 2018. Estas y otras iniciativas permiten generar expectativas e interés en todos los actores sobre la relevancia de la biotecnología para el país.

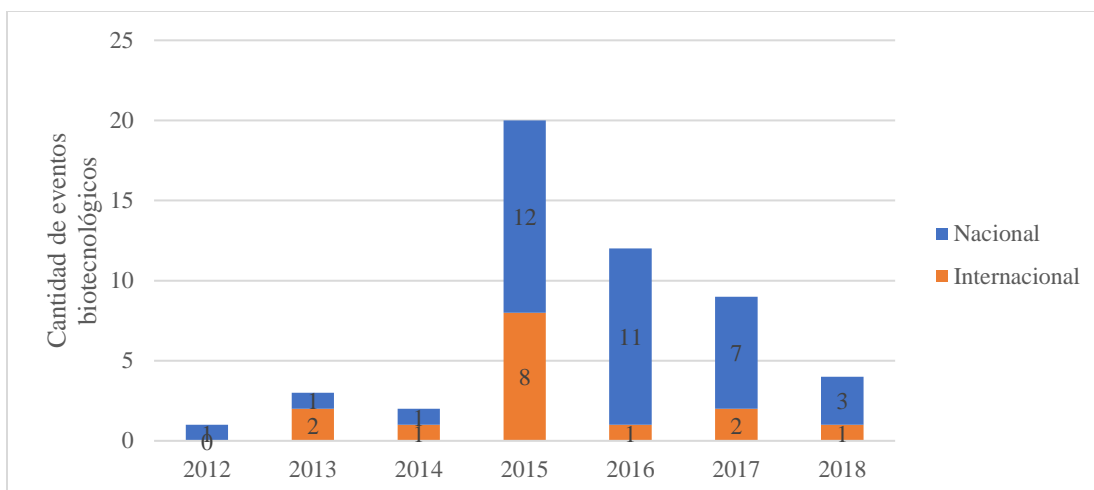


Figura 24: Cantidad de eventos biotecnológicos por año en Chile, divididos de acuerdo con su carácter nacional o internacional. Fuente: elaboración propia con los registros de las principales entidades articuladoras del ecosistema biotecnológico nacional.

Desde la sociedad civil, en Chile existen diversas organizaciones que se han manifestado desde antes del año 2011 en contra de los transgénicos, lo cual tuvo un impacto incluso en no lograr tramitar un proyecto de Ley, más popularmente conocido como “Ley Monsanto” que regula los derechos sobre obtenciones vegetales y deroga la Ley N° 19.342 [39]. Estos movimientos generan confusión y una mala percepción en la población sobre la biotecnología en general, lo cual se vincula con el desprestigio de la empresa Monsanto a nivel internacional. Complementariamente, según la Encuesta nacional de percepción social de la ciencia y la tecnología en Chile del año 2016 [40], es pertinente destacar que las personas asocian el concepto de tecnología con lo computacional o electrónico, mientras que la biotecnología prácticamente no se menciona. La mayoría de los encuestados consideran que han tenido muy poca educación científica y tecnológica. Por otro lado, la mayoría cree que cree que la ciencia y tecnología traerá muchos beneficios en el futuro y permite encontrar soluciones innovadoras para muchos problemas en distintos ámbitos de la sociedad, pero también puede significar muchos riesgos. Muy pocas personas conocen sobre la institucionalidad relacionada que existe en el país.

Utilizando la herramienta de Google Trends, es posible observar cómo el concepto de la biotecnología tomó mayor relevancia en el año 2004, en donde se realizó el Primer Foro Mundial de Biotecnología y justo después de la creación del Plan Nacional en Biotecnología. Sin embargo, esta tendencia ha disminuido drásticamente hasta el día de hoy (2018) (Figura 25), por lo que el nivel de expectativas en la población en general con respecto a la biotecnología se ha reducido y mantenido a un nivel constante a pesar de las iniciativas realizadas. Esta herramienta también permite conocer que las regiones con mayor interés en el tema durante este periodo han sido las de Valparaíso, Metropolitana y del Bío-Bío.

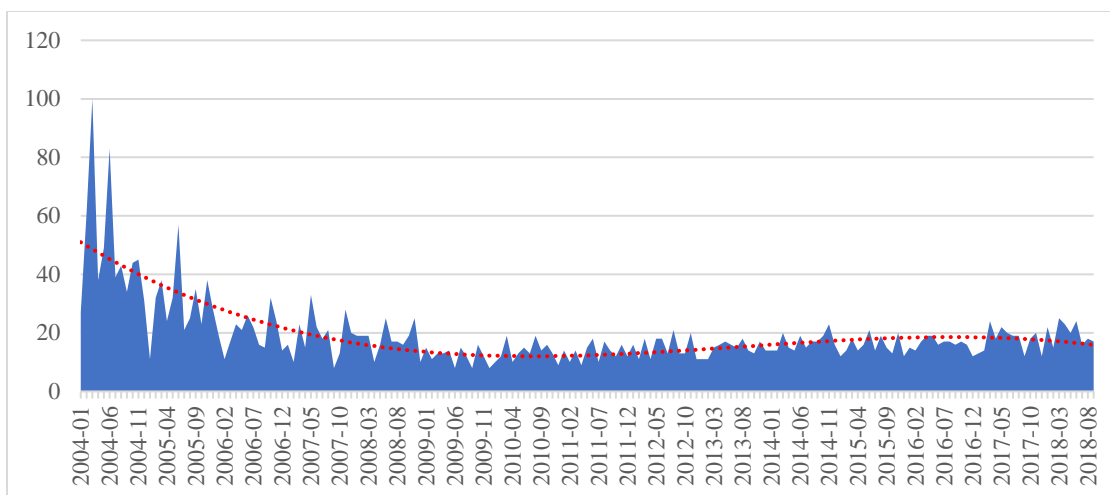


Figura 25: Nivel de interés del concepto biotecnología a lo largo del tiempo, en una escala de 1 a 100. Fuente: elaboración propia utilizando la herramienta de Google Trends con “biotecnología+biotech+biotec”.

3.1.1 Resumen y principales conclusiones

De acuerdo con lo descrito anteriormente, se propone el siguiente diagnóstico:

1. (+) En el año 2003 se lograron definir objetivos nacionales que permitieron crear las bases para la creación de creciente un ecosistema biotecnológico, y se lograron identificar algunas brechas que limitan su fortalecimiento actual, junto a medidas para superarlas con horizonte el año 2030.
2. (+) Los objetivos generales de los planes nacionales en biotecnología, tanto el del 2003 como el del 2018 ponen como foco la sofisticación y diversificación de los sectores estratégicos del país por medio de la biotecnología, también incluyendo progresivamente a la biomedicina, y con una perspectiva sostenible, en coherencia con los objetivos de este estudio.
3. (-) Una cantidad importante de objetivos e iniciativas propuestas en el año 2003 no lograron el éxito esperado, ya que reaparecen de manera muy similar en la propuesta del año 2018.
4. (+) Además, se produjo un crecimiento del sector biomédico sin haber sido impulsado por la primera propuesta del año 2003, lo que sugiere que han existido limitaciones en su implementación.
5. (+) Se han realizado grandes eventos nacionales e internacionales que permiten generar expectativas en distintos actores sobre la biotecnología chilena.
6. (-) En Chile existen organizaciones sociales que desaprueban el uso de transgénicos y se han movilizadado de manera constante, lo cual también tiene relación con el desprestigio de la empresa Monsanto.
7. (-) Existe un alto nivel de desconocimiento en la población en general sobre la ciencia y la tecnología, y por tanto también de la biotecnología, lo que dificulta impulsar su desarrollo con mayor fuerza y genera dificultades a la hora de promover regulaciones de manera informada.
8. (-) El interés en la población sobre la biotecnología ha disminuido y no ha logrado recuperar el nivel que tuvo cerca del año 2004.

3.2 Actividades y experimentación emprendedora (F1)

Las actuales empresas biotecnológicas en Chile son en su mayoría recientes, salvo contadas excepciones. La Figura 26 muestra la cantidad de emprendimientos creados por año, lo cual considera solo aquellas empresas actualmente en funcionamiento, ya que, al ser un sector emergente, muchos emprendimientos han dejado de existir. La suma acumulada de estas empresas (Figura 27) permite observar una tasa de crecimiento anual de 13,3% desde el año 2000, lo que es equivalente a la creación de 6 empresas por año aproximadamente, lo cual se traduce en una creciente ganancia de experiencia relacionada al desarrollo comercial de la biotecnología.

El periodo de los últimos 5 años es en donde se han creado la mayor cantidad de emprendimientos (Figura 26). De hecho, el 44% de las empresas tienen 5 o menos años de antigüedad. La tendencia sugiere que durante el año 2017 se debieron haber creado más startups, por lo que es probable que aún no se dan a conocer públicamente. En la Figura 14 se pueden observar las aplicaciones que buscan generar estos emprendimientos, clasificados entre los distintos sectores productivos.

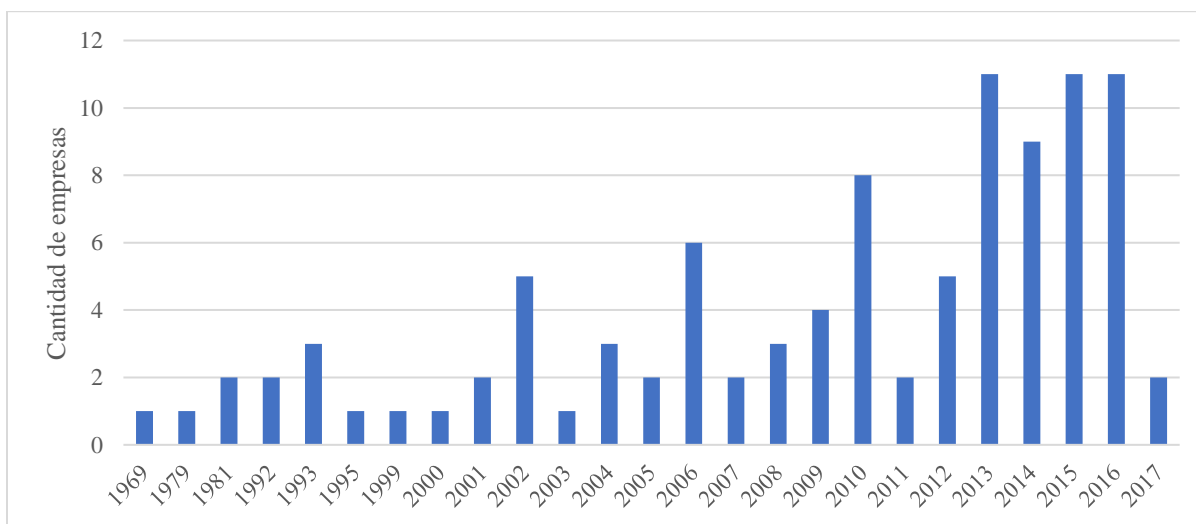


Figura 26: Cantidad de empresas creadas por año en Chile. Fuente: elaboración propia.

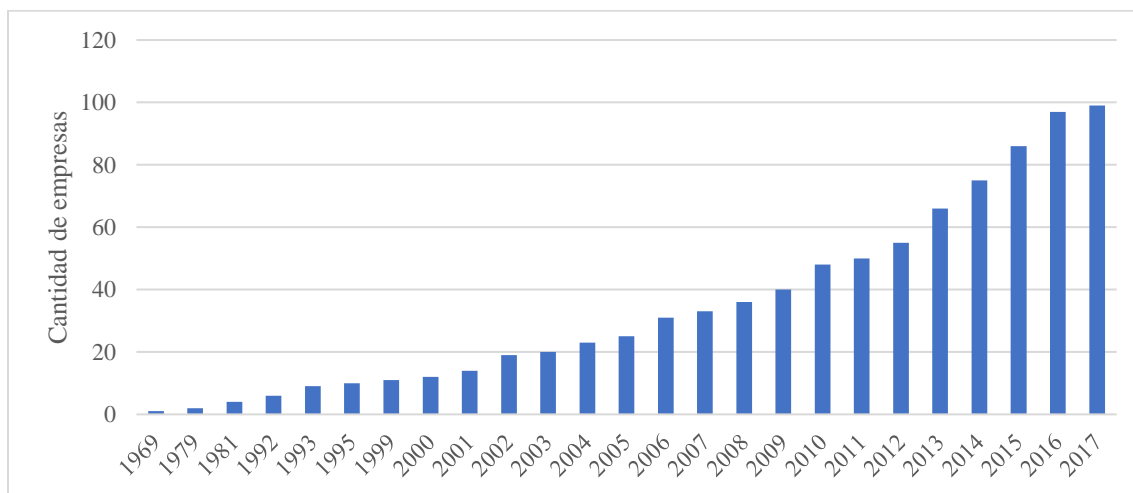


Figura 27: Suma acumulada de cantidad de empresas por año en Chile. Fuente: elaboración propia.

Los principales desafíos y dificultades para la producción de biotecnología se deben a los largos tiempos de investigación y desarrollo, además de la alta inversión, infraestructura tecnológica y capital humano avanzado que se requieren. El 57% de las empresas vigentes en la actualidad aún se encuentra en una fase pre-comercial o experimental, y se puede encontrar una breve descripción de sus actividades en el Anexo III.

En la Figura 28 se puede observar la progresión temporal de la selección de incubadoras o aceleradoras vinculadas con el desarrollo de biotecnología. A pesar de que no exista relación con el crecimiento de los emprendimientos biotecnológicos, la creciente disponibilidad de estos espacios e infraestructura promueve el aprendizaje para su desarrollo y experimentación.

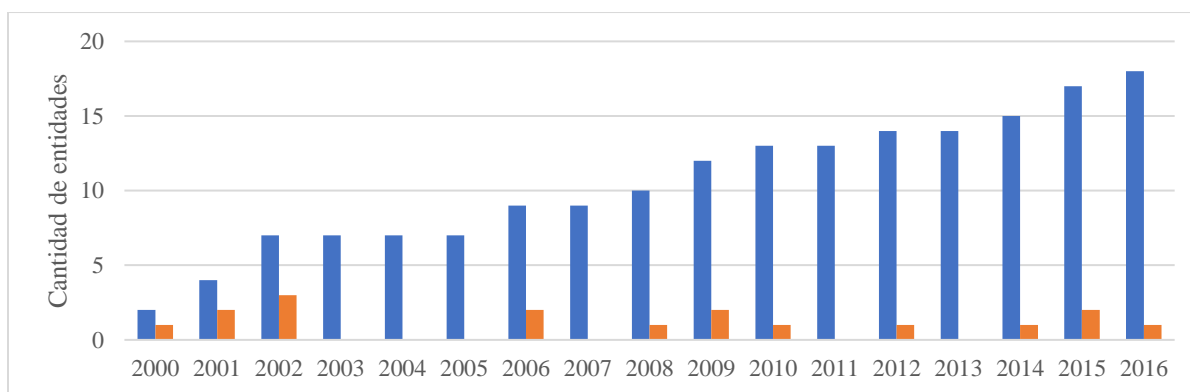


Figura 28: Cantidad de incubadoras o aceleradoras creadas por año en Chile (barras naranjas) y la suma acumulada desde el año 2000 (barras azules). Fuente: elaboración propia.

La mayoría de estas aceleradoras e incubadoras son parte de universidades, lo que muestra el esfuerzo que realizan estas instituciones para lograr crear productos biotecnológicos de interés comercial o bioemprendimientos desde el estamento estudiantil. En el sector universitario existe un creciente dinamismo y proactividad para desarrollar soluciones biotecnológicas, por lo que existe potencial tecnológico y de capital humano con crecientes capacidades gracias a la experimentación.

La gran mayoría de los emprendimientos biotecnológicos y la totalidad de la experimentación en consorcios tecnológicos cuentan con el apoyo y vinculación del Estado a través de CORFO, el cual, ante un gremio poco articulado y poca inversión privada, ha sido el organismo protagonista en impulsar el desarrollo biotecnológico en Chile. Los programas estatales relacionados con la biotecnología, que comenzaron de la mano junto a la propuesta nacional para su desarrollo el año 2003 [26], han permitido una creciente experimentación junto a la conformación de nuevos actores en distintos sectores de la economía. Este apoyo se basa principalmente en fondos y programas y la creación de documentos que buscan fomentar la inversión privada y extranjera, informando sobre la biotecnología chilena. Entre el 2001 y el 2006 se llevó a cabo el Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica (PDIT), dirigido por CONICYT, en donde 3 de sus 5 subprogramas se relacionan con la biotecnología [30]. Además, dentro del marco del PDIT se ejecutó el Programa Iniciativa Genoma Chile, dividido en los subprogramas Genoma en Biominería que terminó el año 2005 y Genoma en Recursos Naturales Renovables, enfocado principalmente en agricultura y en donde el último fue adjudicado el año 2007 [41]. En el 2018, a partir del IFIe en Biotecnología,

CORFO propuso más fondos y programas para fomentar el emprendimiento e innovación biotecnológica hacia el año 2030 [32]. Estos fondos y programas se describen en mayor detalle en el mapeo de la función de movilización de recursos, en el Capítulo 3.6.

Estos Programas estatales, con excepción de las iniciativas más recientes que han puesto foco en la biomedicina, han buscado enfocarse en desarrollar el potencial comercial de la biotecnología dentro de los sectores estratégicos de la industria chilena, a los cuales las empresas que lideran estos sectores han accedido principalmente mediante la creación de consorcios tecnológicos.

En el sector de la minería del cobre, principal sector de la industria nacional se comenzó a experimentar con la biolixiviación desde principios de 1970, con distintos esfuerzos entre empresas para lograr una implementación estable. Con el Programa de Biominería de Genoma Chile en el año 2001, en colaboración entre Codelco, CORFO y CONICYT, se identificaron y secuenciaron los genomas de 3 bacterias altamente eficientes en la oxidación de hierro y azufre de los minerales de cobre. De esta colaboración nace BioSigma, la cual el 2009 logró patentar el primer microorganismo para la biolixiviación de cobre a nivel mundial.

En el sector forestal, CORFO, CONICYT y FIA apoyaron la conformación de un consorcio entre Arauco, CMPC, la Universidad de Concepción, Fundación Chile y el Centro Experimental Forestal (CEFOR) de la Universidad Austral para el desarrollo de I+D en el sector [30]. Por otro lado, en el año 2009 se creó Bioenercel, otro consorcio para experimentar con la producción de energía a partir de biomasa forestal, en donde participó Innova Chile de CORFO y las empresas Arauco, Masisa y Minico. En este sector, destaca la Unidad de Desarrollo Tecnológico (UDT) de la Universidad de Concepción, la cual aborda la diversificación del sector mediante el desarrollo de biomateriales, bioproductos y bioenergía, además de desarrollar competencias en bionegocios.

La agricultura es un sector que está intrínsecamente relacionado con la biotecnología tradicional y no solo impacta en la producción de frutas y verduras, sino también en la industria forestal, alimenticia, cervecera, ganadera, láctea y vitivinícola. En Chile se reportan 2 consorcios biotecnológicos en agricultura. El primero se creó el año 2005 a partir de una invitación del Estado de Chile, quien aportó con subsidios y apoyo público desde la FIA, CORFO y CONICYT, para fomentar la inversión privada y resolver los desafíos competitivos que imponen las nuevas variedades de frutas protegidas y problemas de productividad. Participan la Asociación de Exportadores de Frutas de Chile (ASOEX), la Pontificia Universidad Católica de Chile (PUC) y el INIA. Buscan desarrollar nuevas y mejores variedades de frutas propias por medio de programas de mejoramiento genético (PMG). Hasta ahora, han logrado desarrollar protocolos para distintos procedimientos, implementación de instalaciones y equipamiento de última generación, más de 40 profesionales especializados en mejoramiento genético, establecimiento de bancos de germoplasma para cada PMG, además de proteger y comercializar 3 variedades de frambuesa [42]. El segundo consorcio es Biofrutales, creado el año 2006 para desarrollar nuevas variedades de frutas mediante mejoramiento genético convencional, apoyado por el uso de ingeniería genética. Participan universidades, centros tecnológicos, empresas, el INIA, la Fundación Chile y cuenta con el apoyo de CORFO. En un reporte publicado el año 2012 se describen los resultados hasta esa fecha del Programa Genoma en Recursos Naturales Renovables [43].

En acuicultura existen 2 consorcios tecnológicos relacionados con la biotecnología. El Consorcio Blue Genomics fue creado el año 2013 con el objetivo de aplicar la genética y la genómica para resolver los principales desafíos de la industria del salmón chileno, en particular en relación con la resistencia a enfermedades y el desarrollo de herramientas para la optimización de programas de cría. Tiene una duración de 8 años, el cual es financiado en un 46% por Innova Chile y el resto por sus socios (AquaGen Chile, AquaGen Noruega y Vaxxinova), lo que da un total de 17 millones de USD. Han logrado implementar en sus productos un QTL para el virus IPN en trucha un QTL para SRS en salmón coho y salmón atlántico, lo cual ha disminuido en promedio en un 30% las mortalidades a causa de SRS. El segundo consorcio es ICTIO Biotechnologies, el cual está conformado desde el 2014 por CORFO, Universidad de Santiago, y las empresas ActivaQ y Australis Seafoods, Blumar y Ventisqueros. Sus áreas de investigación se pueden clasificar en diagnóstico, prevención y tratamiento de enfermedades dentro de la industria del salmón, e implica el desarrollo de vacunas con sistema de liberación prolongada, antígenos inmunodominantes, probióticos, bioterapéuticos para SRS y antiparasitarios.

Naturalis S.A. es un consorcio tecnológico que se dedica al desarrollo de compuestos químicos, bioquímicos y biológicos de alto valor agregado a partir de subproductos y/o corrientes de residuos de la industria forestal, pesquera, vitivinícola y otras de alto impacto económico en Chile para su uso en alimentos funcionales o drogas farmacéuticas. Está conformado por Harting A.A., la Pontificia Universidad Católica de Valparaíso Y.T. Ingeniería Ltda., Campos de La Unión S.A. y cuentan con el apoyo de CONICYT, quienes aportaron con un 47% del financiamiento de la iniciativa, la cual es de un total de 10 millones USD. Han logrado desarrollar y comercializar productos, en donde destacan fitoesteroles y la recuperación de Omega-3.

En el sector biomédico se identificaron 3 consorcios tecnológicos. Uno de ellos es el consorcio internacional Inbiocriotec S.A., quienes, a partir de la ingeniería de tejidos y la terapia celular, buscan desarrollar biopolímeros, scaffolds con células y producción celular. Fue creado en el año 2007 y está compuesto por La Universidades de Valparaíso, Universidad de Playa Ancha, Universidad Técnica Federico Santamaría, Fundación IST, Silob Chile, Lbo Consulting Ltda., Everest Ltda., Neos Ltda., Abbnc España y el apoyo de CORFO. Un segundo consorcio es el Biomedical Research Consortium-Chile (BMRC), se creó en el año 2007 y está formado por la Pontificia Universidad Católica de Chile y el laboratorio farmacéutico Abbott. Cuentan con apoyo de financiamiento por parte del Estado a través de CORFO. Sus líneas de investigación en diagnóstico cuentan con el desarrollo de un test genético para detectar el nivel de agresividad del cáncer de tiroides y herramientas inmunológicas para la detección de patógenos respiratorios. Además, en terapias buscan desarrollar nuevos fármacos para el tratamiento de la hipertensión y el síndrome metabólico. Por último, buscan desarrollar una vacuna segura y efectiva contra el virus HMPV. El tercer consorcio biomédico es Regenero, formado por Cells for Cells, Clínica Dávila y Universidad de Los Andes, además de contar con el apoyo de CORFO, creado el año 2014. Su foco está en el desarrollo de terapias celulares en alogénicas, las cuales permiten crear terapias exportables a mercados globales. Constan de 5 subproyectos: células madre de tejidos de postparto y fluido menstrual, biomatrices, factores extracelulares y medios de cultivo, investigación clínica y administración general (temáticas relacionadas a regulación y comercialización).

El último consorcio del SIB es Biorecursos Antárticos, creado el año 2007 para crear una plataforma que facilite el acceso a los recursos antárticos de microorganismos y plantas para fines científicos y productivos. Sus labores se centran en crear mecanismos para el correcto manejo de muestras y de la cadena de frío necesaria para su transporte, además del desarrollo científico y tecnológico con perspectivas de comercialización de parte de estos recursos. El consorcio está conformado por la Fundación Biociencia, INACH, Swisssaustral Chile Ltda., e Innova Chile de CORFO.

Un último caso que destacar es el Parque de Ciencias y Negocios de la Fundación Ciencia y Vida, en donde se desarrollan algunos emprendimientos biotecnológicos en un espacio que permite el intercambio de conocimientos nacional e internacional.

3.2.1 Resumen y principales conclusiones

Del análisis anterior se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. (+) La cantidad de experimentación y búsqueda por crear emprendimientos biotecnológicos es creciente (13,3% anual), además de ser transversal a diversos sectores productivos.
2. (+) El desarrollo de experimentación ha sido sustentado principalmente por el Estado de Chile a través de CORFO, en donde el apoyo ha consistido en su mayoría en programas de financiamiento.
3. (-) Baja inversión privada en experimentación biotecnológica, la cual por lo general solo existe cuando hay un subsidio estatal de por medio.
4. (+) El foco inicial de la experimentación estuvo enfocado en el desarrollo de la biotecnología en sectores estratégicos (minería, agricultura, acuicultura, silvicultura, etc.) con la creación de consorcios tecnológicos, especialmente buscando sofisticar la matriz productiva, así como también crear productos de mayor valor agregado (diversificación). En los últimos años, la experimentación se ha orientado más hacia la biomedicina.
5. (-) El principal gremio de empresas biotecnológicas, ASEMBIO, no ha tenido un rol relevante en el desarrollo de la experimentación.
6. (-) No existe un seguimiento consistente y continuo de la experimentación biotecnológica, ni por parte de CORFO ni de ASEMBIO, lo cual dificulta el intercambio de aprendizajes y el estudio detallado de los procesos en el tiempo.
7. (-) La información con respecto a la experimentación, por lo tanto, se encuentra dispersa y difícil de encontrar y sistematizar.
8. (-) Además, la gran mayoría de la experimentación se desarrolla en la Región Metropolitana, y no se han realizado esfuerzos para descentralizar su aplicación, aspecto esencial considerando que los sectores estratégicos se desarrollan principalmente en regiones.
9. (+) Chile cuenta con buena infraestructura para desarrollar la experimentación biotecnológica mediante aceleradoras e incubadoras, las cuales se encuentran principalmente en universidades.

3.3 Desarrollo de conocimiento y creación de capacidad adaptativa (F2)

La infraestructura con la que Chile cuenta para la creación de conocimiento en biotecnología está compuesta por centros de investigación, universidades y consorcios tecnológicos. También se deben considerar las empresas e iniciativas descritas en la sección anterior, ya que no es posible concebir emprender en biotecnología sin I+D. Para no redundar, en esta función más que describir cada iniciativa, se analiza la creación concreta y cuantitativa de conocimiento y productos “made in Chile”. La evolución de los centros y consorcios de investigación creados en el tiempo se puede observar en la Figura 29, las cuales actualmente distribuyen su desarrollo en torno a los sectores que se muestran en la Figura 16. Esta selección considera solo aquellas instituciones vigentes hasta la actualidad. En la mayoría de los casos, en estas organizaciones trabajan distintos grupos que abordan distintas aplicaciones biotecnológicas por medio de proyectos de investigación, quienes deben acceder a financiamiento postulando a distintos fondos acotados a un periodo de tiempo particular (para más información con respecto al financiamiento revisar el Capítulo 3.6). Estos grupos se pueden encontrar tanto en los centros o consorcios de investigación, como en las 23 universidades (38% del total) que imparten los 101 programas de estudio relacionados con la biotecnología en Chile.

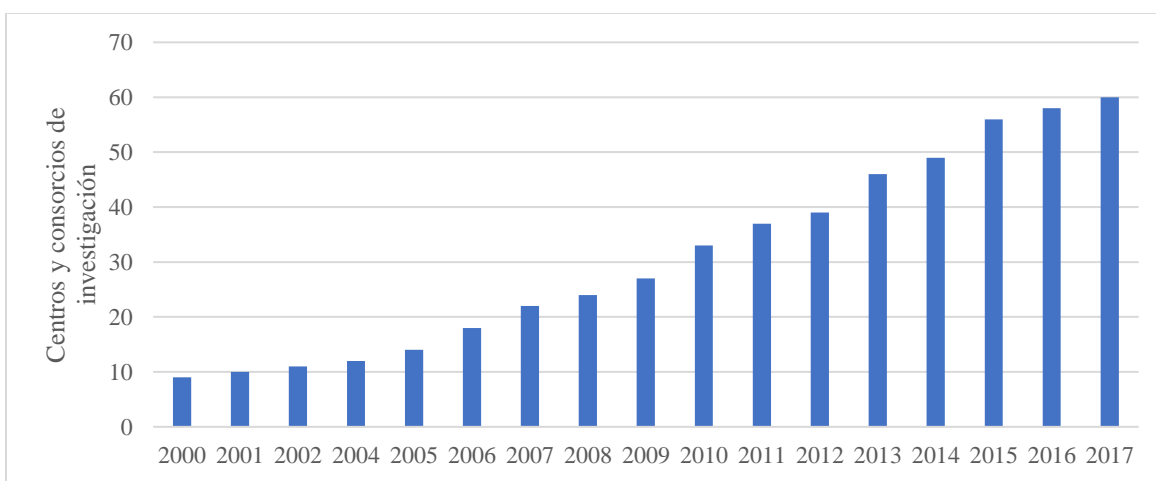


Figura 29: Cantidad de Centros y Consorcios de Investigación vigentes creados por año en Chile. Fuente: elaboración propia.

Un caso que destaca dentro de las instituciones educativas es la iniciativa norteamericana llamada “Competencia Internacional de Máquinas Genéticamente Diseñadas (IGEM, en sus siglas en inglés)”, cuya principal herramienta es la biología sintética. En este concurso participan equipos de estudiantes de distintos países, los cuales, con apoyo de académicos y motivados por problemáticas sociales y medioambientales reales, explorarán una diversidad de productos biotecnológicos potenciales con contenido tecnológico e innovador de alto nivel. El primer evento IGEM en Chile fue el año 2013, en donde se realizó la segunda clasificatoria latinoamericana de IGEM en la Universidad Mayor. Posteriormente, equipos chilenos de distintas universidades e incluso de colegios han participado en el concurso, en particular en los años 2015 y 2017. Chile logró el bronce en la competencia del 2015 con uno de los equipos de educación secundaria. Los proyectos buscaron financiamiento por cuenta propia con instituciones públicas y privadas, aunque aún falta alcanzar un apoyo económico e institucional estable para una mayor proliferación de estos proyectos [44]. A pesar de la existencia de estas iniciativas, las universidades representan

solo el 10% de los licenciamientos y un 1,2% de los spin-offs [32], problema que ya estaba detectado en el año 2010, en donde se afirma que la I+D tiene una orientación más académica, con bajos niveles de aplicación y patentamiento [29].

Con respecto a la producción de conocimiento biotecnológico nacional, se puede destacar una tendencia creciente entre los años 2005 y 2017 de la cantidad de publicaciones científicas (Figura 30). Sin embargo, en ese mismo periodo la cantidad de publicaciones biotecnológicas representó solo el 1% del total de publicaciones chilenas.

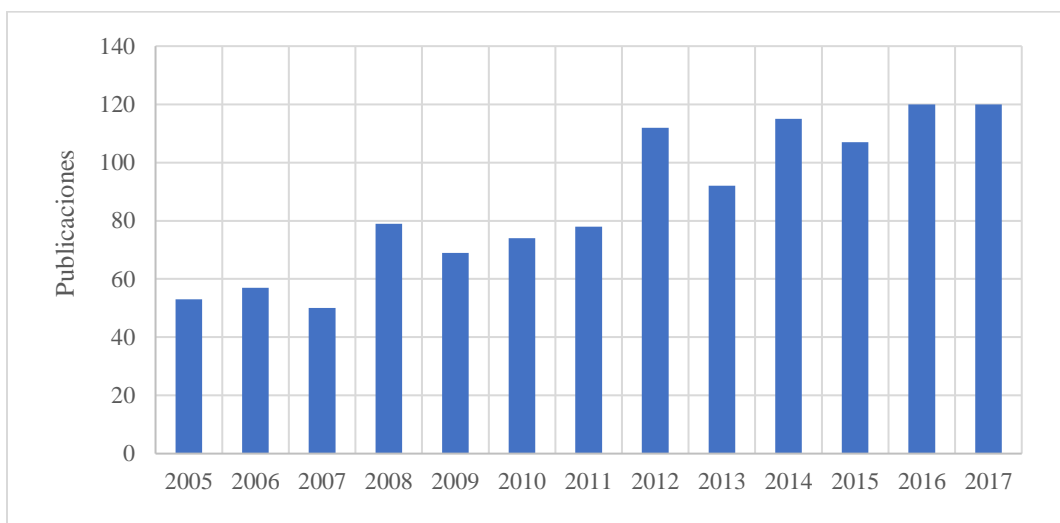


Figura 30: Número de publicaciones científicas por año en el área de biotecnología en Chile. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de The SCImago Journal & Country Rank [45].

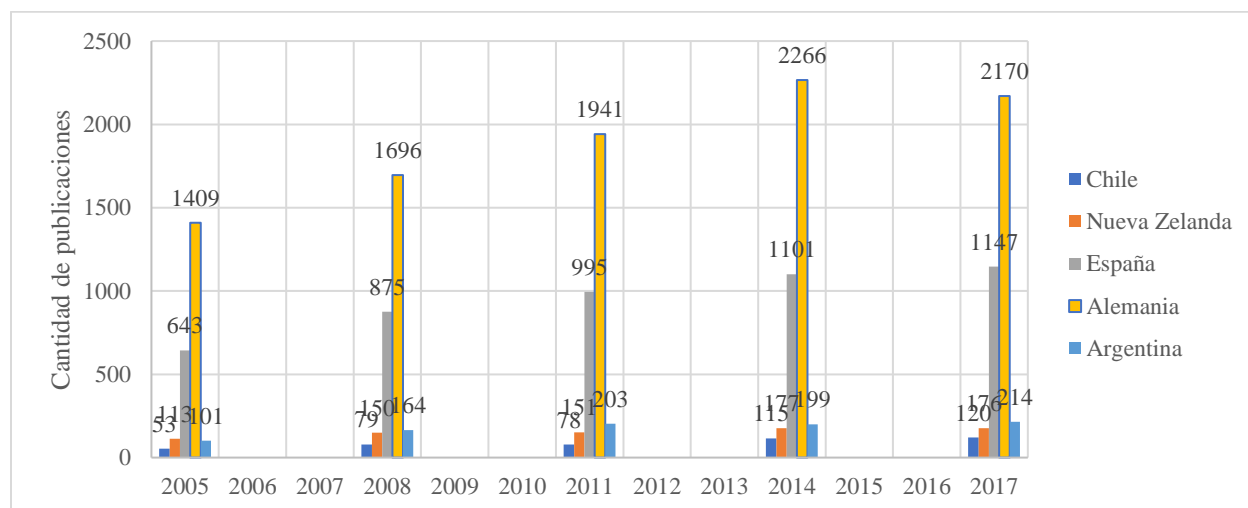


Figura 31: Cantidad de publicaciones científicas por año en el área de biotecnología en Chile, Argentina, Nueva Zelanda, España y Alemania. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de The SCImago Journal & Country Rank [45].

En la Figura 31 se compara Chile con Alemania y España que destacan por su desarrollo biotecnológico, con Nueva Zelanda que cuenta con una matriz productiva similar a la chilena, y Argentina país latinoamericano. Según el informe de indicadores cienciométricos de CONICYT en el año 2015 [46], entre el 2003 y el 2013 Chile ha logrado crear conocimiento útil para dar lugar

procesos de innovación, pero al comparar con otros países se puede observar una clara desventaja. Por otro lado, haciendo la comparación considerando la cantidad de habitantes, indica que Chile debe avanzar en una mayor productividad de publicaciones (Figura 32).

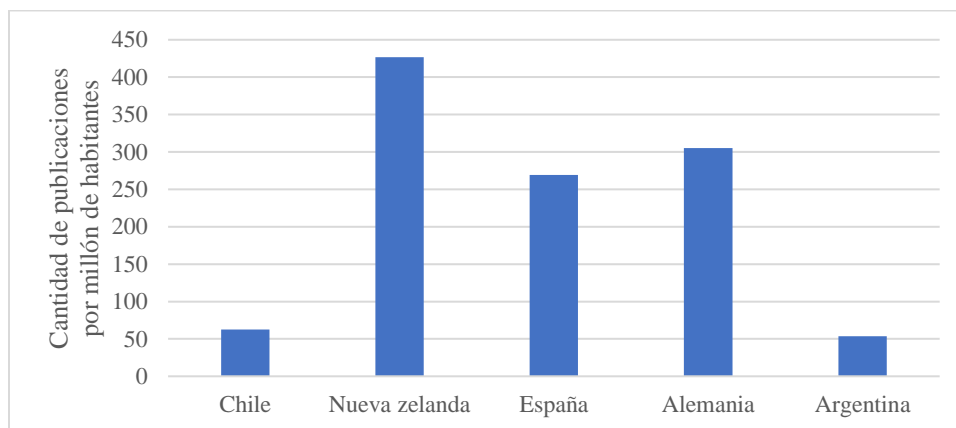


Figura 32: Cantidad de publicaciones por país por millón de habitantes, considerando el número de publicaciones entre el 2005 y el 2017. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos de The SCImago Journal & Country Rank [45].

La cantidad de solicitudes de patentes chilenas en biotecnología publicadas por año se puede observar en la Figura 33, separando aquellas que fueron publicadas en Chile de las que fueron publicadas en otros países. En general, una solicitud de patente es publicada después de que se acepta su tramitación. En Chile, se debe publicar en el Diario Oficial luego de 60 días hábiles desde el día en que la solicitud ha sido aceptada (Art. 14 del reglamento de la Ley N°19.030). Como se puede observar, existe una tendencia creciente en solicitudes de patentes en biotecnológico desde Chile, aunque el 80% de las solicitudes fueron realizadas fuera del país entre los años 2005 y 2016. En ese mismo periodo, el país con más publicaciones fue Chile con 86 solicitudes, seguido por Estados Unidos con 75. El 5,3% del total de las solicitudes chilenas publicadas son en biotecnología entre el 2005 y el 2016.

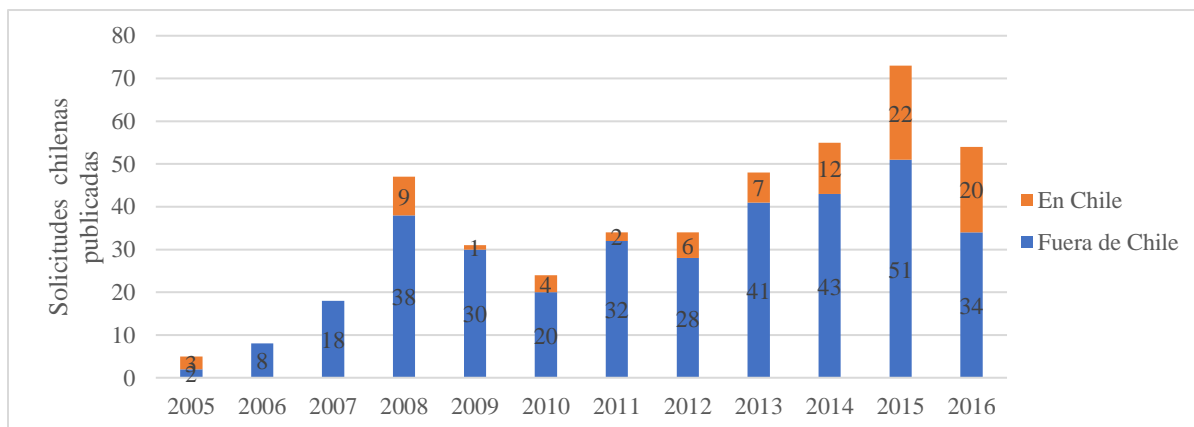


Figura 33: Cantidad de solicitudes de patentes chilenas en biotecnología publicadas por año, en Chile (naranja) y en el exterior (azul). Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del centro de datos estadísticos de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) [47].

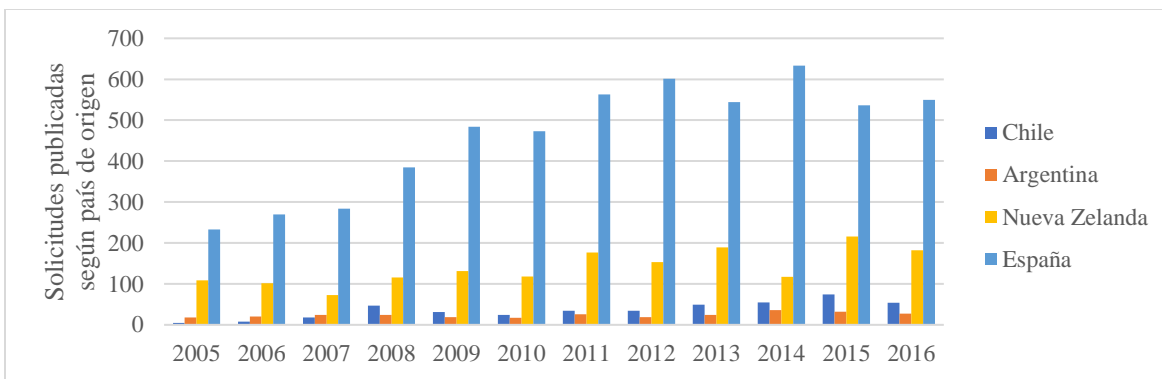


Figura 34: Cantidad de solicitudes de patentes biotecnológicas publicadas según origen, desde Chile, Argentina, España y Nueva Zelanda. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del centro de datos estadísticos de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) [47].

En comparación con países fuera de Latinoamérica, Chile está en clara desventaja (Figura 34). Alemania, por ejemplo, tiene un promedio de publicaciones superior a 3000 por año.

Chile cuenta con infraestructura y capital humano para crear conocimiento y tecnología en biotecnología, pero al compararlo con otros países la desventaja es evidente, sobre todo en términos de productos comercializables. Por lo tanto, es importante contar con capacidades para adaptar la biotecnología de países con mayor experiencia para potenciar el desarrollo doméstico, sobre todo considerando que el bajo dinamismo del mercado nacional obliga a exportar desde el primer momento. En esta línea, la principal iniciativa para vincular el ecosistema biotecnológico chileno con Estados Unidos es ChileGlobal Biotec, una red creada en el año 2012 por Imagen Chile y en colaboración con AmChan Chile, ASEMBIO y CORFO, que busca canalizar la experiencia de profesionales y empresarios chilenos que trabajan en biotecnología en Estados Unidos. En este sentido y retomando el tema de patentes, en Chile existe también una tendencia creciente de solicitudes de patentes biotecnológicas publicadas desde distintos países del mundo (el 86,8%), en donde el mayoritario es Estados Unidos con 189 de las 507 solicitudes registradas entre los años 2012 y 2016 (Figura 35). En este periodo, el 3,3% del total de solicitudes de patentes en Chile fue en biotecnología. A nivel internacional, Chile parece no ser el lugar más atractivo para patentar en biotecnología en términos comparativos (Figura 36).

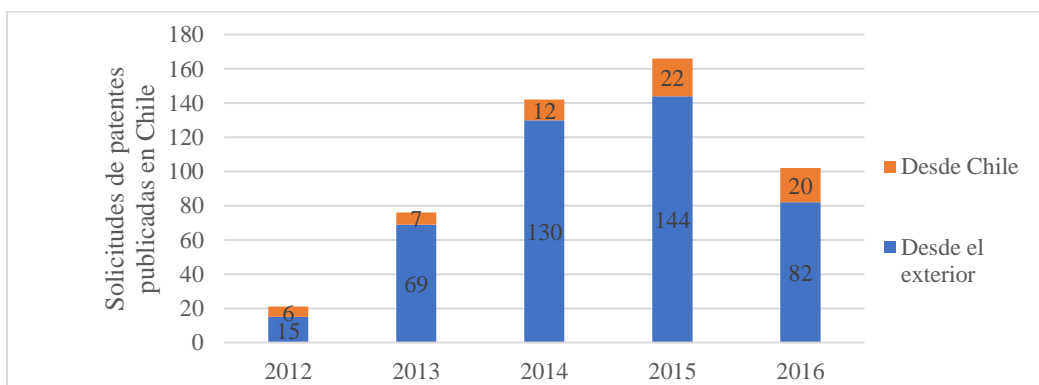


Figura 35: Cantidad de solicitudes de patentes en biotecnología publicadas en Chile, desde Chile (naranja) y desde el exterior (azul). Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del centro de datos estadísticos de la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) [47].

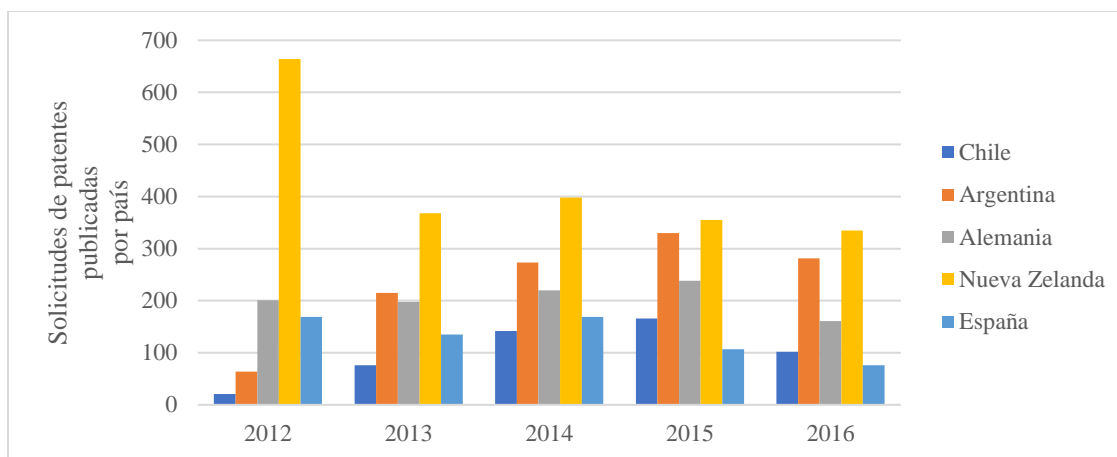


Figura 36: Cantidad de solicitudes de patentes biotecnológicas publicadas en distintos países, incluyendo Chile, Argentina, España, Alemania y Nueva Zelanda. Fuente: elaboración propia con datos obtenidos del centro de datos estadísticos de la OMPI [47].

3.3.1 Resumen y principales conclusiones

Del análisis anterior se pueden obtener las siguientes conclusiones:

1. (+) Chile cuenta con una creciente infraestructura de I+D biotecnológico considerando centros y consorcios de investigación, universidades y empresas biotecnológicas.
2. (+) Chile cuenta con una creciente cantidad de publicaciones relacionadas con la biotecnología.
3. (-) Sin embargo, en comparación con otros países se puede apreciar una baja productividad en publicaciones biotecnológicas.
4. (+) Chile ha participado desde el 2013 en el concurso de biología sintética IGEM, el cual promueve la creación de soluciones biotecnológicas a partir de estudiantes de colegios y universidades, lo cual además aporta en el desarrollo de capital humano con experiencia en el desarrollo de productos y búsqueda de financiamiento.
5. (-) Desde el 2010 que existe baja productividad de patentamiento biotecnológico en universidades, en donde la investigación tenía una orientación más académica. Esta situación se mantiene en la actualidad ya que solo el 10% de los licenciamientos provienen de universidades.
6. (+) Hay una tendencia creciente en solicitudes de patentes chilenas publicadas en el área de biotecnología, lo cual representa un aumento en la capacidad innovativa del país. El 37,4% se publicó en Chile y Estados Unidos.
7. (+) Chile cuenta con un creciente número de solicitudes de patentes biotecnológicas desde el exterior, principalmente desde Estados Unidos, lo cual permite mayores oportunidades para asimilar la tecnología internacional.
8. (-) Sin embargo, el 80% de las publicaciones de patentes biotecnológicas chilenas entre los años 2005 y 2016 no se tramitaron en Chile. Además, las solicitudes de patentes biotecnológicas en Chile son bajas en comparación con otros países.

3.4 Difusión del conocimiento y redes (F3)

Según los análisis previos y las conclusiones del IFIe de CORFO (Anexo II.2), es posible inferir el alto grado de atomización y segregación del ecosistema biotecnológico chileno, lo cual limita el traspaso de conocimiento y experiencias. Sin embargo, esto no quiere decir que no hayan existido esfuerzos y espacios que busquen lograr un mayor vínculo entre actores.

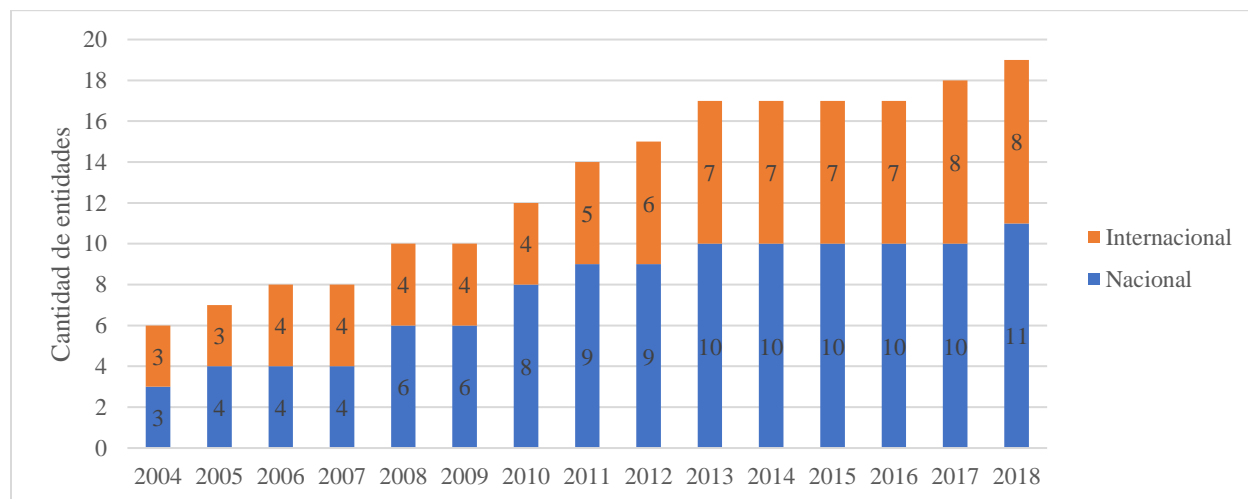


Figura 37: Evolución temporal de la cantidad de entidades que buscan la creación de redes, nacionales e internacionales, para el ecosistema biotecnológico chileno. Fuente: elaboración propia.

En la Figura 37 se aprecia la creciente creación de entidades que destacan en promover la generación de redes que, de manera directa o indirecta, permiten articular el ecosistema biotecnológico nacional consigo mismo y a nivel internacional. En la Figura 24 se puede observar la cantidad de eventos biotecnológicos por año ocurridos en Chile, en donde se pueden encontrar conferencias, congresos, simposios, charlas, talleres, etc., registrados en las plataformas web de las principales entidades articuladoras del ecosistema biotecnológico nacional: ChileGlobal Biotech, AMCHAM Chile, CORFO, Asociación Nacional de Estudiantes de Ingeniería en Biotecnología (ANEIB) y Redbionova. Los eventos internacionales (32% del total) son aquellos cuyo propósito principal no tiene relación directa con el desarrollo biotecnológico nacional, sino que se entiende al país solamente como sede, aunque sí permiten la generación de expectativas y la creación de redes con actores extranjeros. No existe un registro sobre eventos biotecnológicos anteriores al año 2012, con excepción de 2 foros internacionales realizados en el año 2003 y 2004. Alrededor del 64% de estos eventos se realizaron en la Región Metropolitana. ASEMBIO, el único gremio histórico del sector empresarial en biotecnología, no parece ser un actor articulador representativo ni proactivo con respecto al desarrollo del ecosistema biotecnológico nacional (Anexo II.2), ya que su participación en la mayoría de los eventos encontrados es de carácter secundario.

De acuerdo con la Figura 4.3, es claro que en Chile no se realizan eventos biotecnológicos de una manera constante y consistente en el tiempo, con la excepción del Foro Nacional de Biotecnología e Innovación de la PUCV y el Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería en Biotecnología (CONEIB) que se realiza anualmente gracias a la ANEIB, con la participación de estudiantes de diversas universidades y cuya sede varía año a año, favoreciendo la descentralización de las

actividades biotecnológicas. Además, no existe una fuente única con la información de todos los eventos relacionados con la biotecnología que se realizan en el país, sino que están más bien dispersos en distintas plataformas.

Algunos eventos destacan por su impacto. En el plano internacional, en el año 2004 se realizó en Chile el Primer Foro Mundial de Biotecnología realizado, en el año 2013 Chile fue la sede de la competencia IGEM Latinoamérica en la Universidad Mayor, la cual reúne a distintos equipos de estudiantes que comparten sus productos diseñados utilizando la biología sintética, la feria BIOLATAM realizada el 2015 gracias a ASEMBIO y ASEBIO (España) cuyo foco fue el desarrollo biotecnológico en Latinoamérica y la cumbre ALLBIOTECH que reunió a jóvenes líderes en biotecnología el 2017, también con foco en Latinoamérica. En el plano nacional, en el año 2016 y 2018 se realizó la Conferencia Internacional de Innovación y Biotecnología, las cuales fueron organizadas dentro del contexto del IFIe en Biotecnología de CORFO y AMCHAM Chile.

Si bien estos eventos buscan generar vínculos entre el ecosistema biotecnológico nacional y el de Estados Unidos, el principal objetivo es desarrollar la biotecnología chilena. Se generaron alianzas con la iniciativa ChileMass, Cambridge Innovation Center y The Massachusetts Life Sciences Center (MLSC). El IFIe en Biotecnología también propone la creación de un Centro de Biotecnología Traslacional como principal organización a cargo de la articulación del SIB, en donde convivan universidades, centros de investigación empresas e inversionistas. Además, se propone la creación de una plataforma de recursos genéticos, una red de biobancos y una red de bioemprendedores con personalidad jurídica para poder defender sus intereses con más fuerza [32].

El Estado de Chile, a través de CORFO principalmente, funciona como el principal articulador del ecosistema biotecnológico, en donde cumple un rol de incentivar la creación de proyectos colaborativos entre actores y apoyar la organización de eventos relacionados. Sin embargo, la acción articuladora ha sido pasiva, en el sentido que los beneficios son obtenidos principalmente por actores que ya se conocen o ya se encuentran articulados y no promoviendo de manera activa la creación y mantención de nuevas colaboraciones. Esto tiene la amenaza de bloquear el conocimiento entre los distintos actores, limitando así la innovación [48].

3.4.1 Resumen y principales conclusiones

De acuerdo con el análisis anterior, es posible concluir que:

1. (+) Existe una creciente cantidad de entidades que buscan articular al SIB nacional, incluyendo las propuestas recientes del IFIe en Biotecnología de un Centro Traslacional en Biotecnología, Red de biobancos, Plataforma de recursos genéticos y Red de bioemprendedores.
2. (+) En Chile se han realizado importantes eventos relacionados con la biotecnología, los cuales han permitido generar vínculos nacionales e internacionales y generar expectativas con respecto a la tecnología.
3. (-) Sin embargo, la realización de estos eventos no es constante en el tiempo, lo que limita la capacidad de crear redes con continuidad y actualizaciones permanentes de los últimos avances (con la excepción del CONEIB y el Foro Nacional de Biotecnología e Innovación de la PUCV).

4. (-) Además, no existe una entidad que tenga la responsabilidad de registrar y difundir estos eventos y sus resultados.
5. (-) Las acciones de CORFO no facilitan con la fuerza necesaria la creación de nuevos vínculos entre actores, ya que tiende a preferir las redes existentes para entregar beneficios (esto impide por ejemplo una eficaz descentralización del ecosistema).

3.5 Conformación de mercados (F5)

Los exigentes requerimientos científicos, tecnológicos e innovativos del desarrollo biotecnológico hacen que esta función esté altamente interrelacionada con las funciones de actividades y experimentación emprendedora y desarrollo de conocimiento y creación de capacidad adaptativa, por lo que, para no redundar, en esta sección solo se analizan aquellos aspectos que tienen más relación con las condiciones que el Estado y otras instituciones han generado para crear modelos de negocios exitosos y la capacidad y experiencia de los emprendedores para llevarlos a cabo.

Cabe destacar que la biomedicina, dentro de la distribución sectorial nacional de la biotecnología, creció de un 22% [14] a un 39% en Chile desde el año 2007 a la actualidad, siguiendo la tendencia del mercado internacional de la biotecnología (Figura 2).

3.5.1 Por parte de emprendedores (F5a)

El 57% de los emprendimientos y empresas biotecnológicas vigentes aún no logra vender sus productos, por lo que muchas de estas empresas recurren a la venta de servicios para suplir esta incapacidad (Anexo II.2). El 44% de estas empresas tienen 5 o menos años de antigüedad, y a pesar de que el ecosistema ha ido en crecimiento, han existido muchos casos de fracaso en el proceso, debido a fragmentaciones, fusiones, mutaciones o venta de una empresa a una entidad de mayor tamaño. Este proceso es difícil de cuantificar ya que la información existente es inconsistente. En efecto, durante el año 2006, un reporte de CORFO reporta la existencia de 74 empresas biotecnológicas [14], mientras que solo 31 de esas empresas siguen vigentes como tales (Figura 27). Por otro lado, ASEMBIO reportaba la existencia de 128 empresas en el año 2005 y 201 en el año 2009 [30]. En el último tiempo, en documentos oficiales se reporta una cantidad cercana a las 100 empresas biotecnológicas [38] [33], lo cual podría significar que el porcentaje de empresas que no logran mantener el desarrollo de sus productos o servicios está disminuyendo, lo cual significa un crecimiento más estable.

Una visión que ha trabajado de cerca en el desarrollo de emprendimientos biotecnológicos en Chile es el ingeniero Alemán Markus Schreyer, fundador de GaneshaLab, quien plantea que existe un buen nivel de educación en ciencia y tecnología, pero se carece de las competencias necesarias para llevar un resultado científico al mercado. También plantea que en la cultura chilena existe adversidad al riesgo y que un emprendedor biotecnológico chileno debe pensar desde el primer momento en buscar mercados globales porque con el nacional no basta [49].

3.5.2 Por parte del Estado y otras instituciones (F5b)

El crecimiento del SIB chileno debería permitir abrir nuevos nichos de mercado, ya que con más emprendimientos biotecnológicos aumenta la demanda por insumos y equipamiento. De hecho, la cantidad de empresas que venden estos productos también ha tenido un leve aumento (Figura 38)

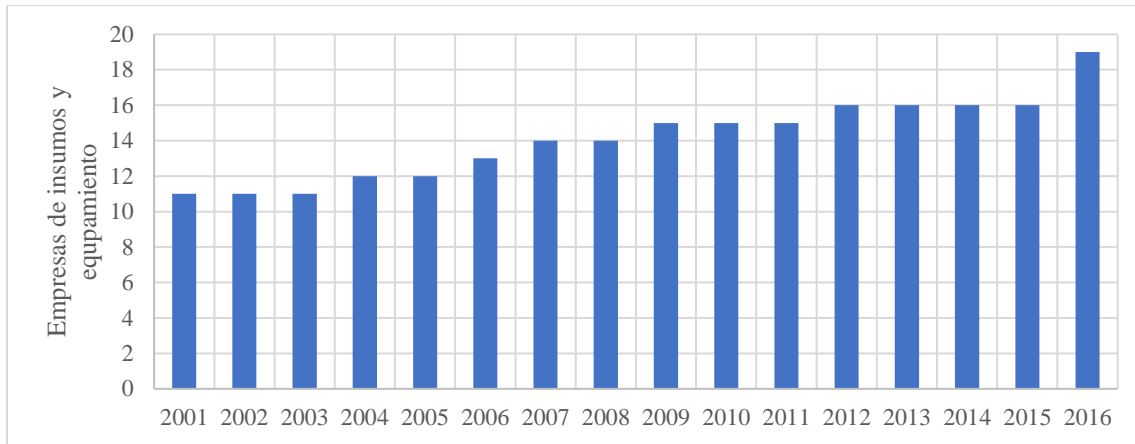


Figura 38: Suma acumulada de la cantidad de empresas de insumos y equipamiento en Chile. Fuente: elaboración propia.

También, como se vio en la función de actividades y experimentación emprendedora, existe una creciente disponibilidad de incubadoras y aceleradoras, en donde se destacan GaneshaLab y la Fundación Ciencia y Vida, que generan vínculos con mercados en Estados Unidos.

No existe evidencia histórica en donde el Estado de Chile haya creado espacios que se encarguen de resguardar a los emprendimientos biotecnológicos, disminuyendo así el alto riesgo y tomando en cuenta los largos tiempos que se requieren para el desarrollo de los productos. La acción del Estado en esta materia se ha limitado principalmente a subsidios neutrales (descritos más adelante), a los cuales los emprendedores deben competir para poder postular, y a la conformación de consorcios con actores ya establecidos vinculados indirectamente con la biotecnología. Estos consorcios, como fue descrito en el Capítulo 3.2, han obtenido resultados positivos para los actores participantes, sin embargo, esos esfuerzos no han impactado en la proliferación de nuevas empresas biotecnológicas ni en una sofisticación y diversificación que aproveche las ventajas económicas del país.

A nivel general, el Estado chileno promueve el desarrollo de I+D en el mercado mediante el Sistema Nacional de Innovación, el cual en la actualidad está viviendo una modificación con la creación de un nuevo Ministerio a cargo del desarrollo científico y tecnológico (Figura 39), en donde se generan Programas e Instrumentos, los cuales consisten principalmente en fondos o subsidios que se entregan de acuerdo con distintos criterios dependiendo del objetivo (Tabla 12). La institucionalidad aún tiene bastantes debilidades conocidas (como la falta de atribuciones claras de cada parte del Sistema, poca alineación con objetivos de largo plazo, etc.) y no hay información aún con respecto al resultado final de este proceso de modernización ya que está en proceso de transición [50]. Si bien esta es una dimensión más general, está directamente relacionado con el desarrollo de la biotecnología y debe considerarse como parte del SIB por ser una disciplina intensiva a nivel tecnológico e innovativo, con aplicaciones en la totalidad de la industria nacional.

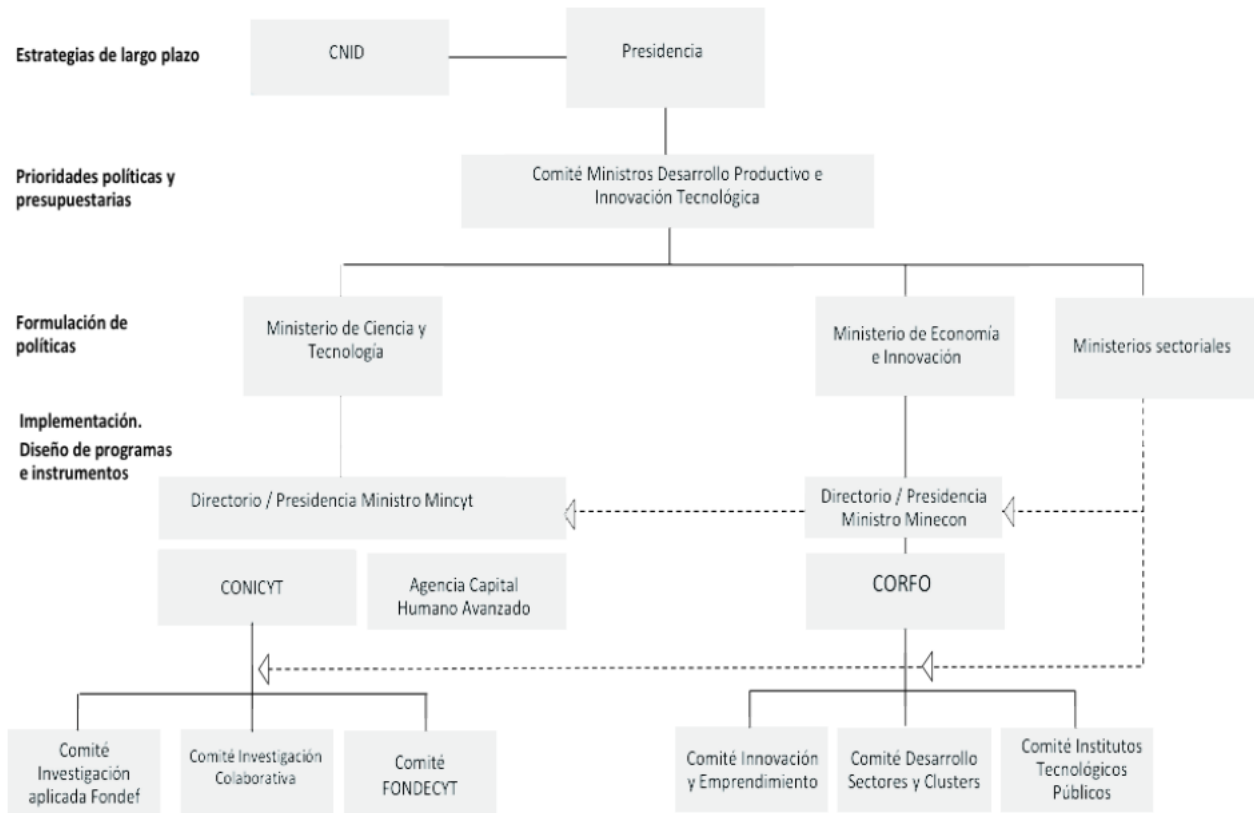


Figura 39: Nuevo Sistema Nacional de Innovación, diseño institucional de Dos Pilares [9].

Tabla 12: Programas e instrumentos relacionados al desarrollo de ciencia, tecnología e innovación en Chile desde 1991 [50].

Programa o instrumento	Año de creación	Descripción
Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF)	1991	Promover la vinculación entre instituciones de investigación, empresas y otras entidades en la realización de proyectos de investigación aplicada y de desarrollo tecnológico.
Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo (FONTEC)	1991	Desarrollado por CORFO y financiado por un préstamo del BID, con el objetivo de aumentar la competitividad económica a través de la inversión en innovación tecnológica y desarrollo en áreas estratégicas de la economía nacional.
Plan de Ciencia y Tecnología (PCT)	1992	Fue una política de coordinación de los instrumentos existentes.
Fondo de Desarrollo e Innovación	1995	Modernizar los institutos tecnológicos de los años 60' y reconvertir aquellos que no continuarían en la órbita del sector público.
Programa de Innovación Tecnológica	1996	Sucesor del PCT, coordinó los instrumentos existentes.
Fondo de Financiamiento de Centros de Investigación en Áreas Prioritarias	1997	Creación del FONDAP.
Programa Regional de Investigación Científica y Tecnológica	2000	Radicado en CONICYT con el objetivo de fortalecer las capacidades científicas regionales.

Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica	2001	Destinado a funcionar entre 2001 - 2006 y que en 2003 pasó a llamarse Chile Innova. Este programa fue financiado por el Gobierno de Chile en conjunto con un préstamo del BID.
Programa Bicentenario de Ciencia y Tecnología	2004	Financiado por el Banco Mundial, permitió la creación de Centros Basales y Consorcios Tecnológicos.
Programa de Financiamiento Basal para Centros Científicos y Tecnológicos de Excelencia	2006	Otorga financiamiento de largo plazo a centros de I+D.
Programa de Clusters	2007	Liderado por CORFO a partir de un análisis realizado por <i>The Boston Consulting Group</i> , encargado por el CNID.
Creación de Becas Chile	2008	Política continuadora de las capacitaciones del Estado a profesionales altamente calificados en el extranjero.
Ley de Incentivo Tributario a la I+D	2008	Busca promover la realización de I+D en el sector privado. Se modificó en el año 2012.
Política de Atracción de Centros de Excelencia Internacional	2009	Política de atracción de instituciones de I+D implementada por CORFO. Entre 2012 y 2014 se realizaron tres nuevas convocatorias.
Startup Chile	2010	Programa de atracción de emprendedores mediante subsidios, capital físico y facilidades de visado.
Políticas estratégicas y sectoriales apoyadas por CORFO	2014-2016	Como los Programas Estratégicos de Especialización Inteligente, el Voucher de Innovación, Contratos Tecnológicos, los Centros de Extensionismo Tecnológico y el Laboratorio de Gobierno.

Desde la vuelta a la democracia (año 1990), los Programas han sido planteados desde un enfoque neutral (Tabla 13), representando el 70% del total del presupuesto público destinado a ciencia, tecnología e innovación en los últimos 10 años. Como se puede observar en la Figura 40, solo una parte del 30% restante de este presupuesto se utilizó con enfoque sectorial y estratégico (Tabla 14) [50], lo cual sugiere que el Estado no se ha hecho responsable directamente de que los objetivos planteados se traduzcan en resultados en el mercado, delegando la implementación de esta planificación a merced de la voluntad de los actores capacitados ya establecidos.

Tabla 13: Clasificación de las políticas y programas en ciencia, tecnología e innovación según enfoque [50].

Enfoque	Descripción
Neutral	Indica que el programa o instrumento no tiene foco alguno sectorial o temático al momento de realizar su convocatoria de asignación y quien solicita el instrumento es quien determina el área en que se ejecuta.
Sectorial	Incluye a los programas cuyos llamados o cuyos objetivos cuentan con un foco de actividad en particular, pero donde no se observa un objetivo particular a resolver problemas concretos o específicos. Por ejemplo, dentro de esta categoría están los programas relacionados con la astronomía, agricultura, IFOP, INFOR, etc.
Estratégico o por misión	Se refiere a programas que tienen como objetivo resolver problemas concretos o específicos definidos en un sector o área. Por ejemplo, el nuevo Programa en Minería Virtuosa, Inclusiva y Sostenida de CONICYT.



Figura 40: Presupuesto en ciencia, tecnología e innovación según enfoque entre el año 2008 y 2017 en Chile (en millones de pesos de 2017) [50].

Por otro lado, otro mecanismo que busca promover el desarrollo tecnológico en Chile es la Ley de Incentivo Tributario a la I+D (Ley 20.570), la cual determina que el 35% del monto invertido en actividades de I+D que estén certificadas por CORFO, pueden ser imputados como crédito tributario contra el Impuesto de Primera Categoría, con un tope máximo anual por proyecto de 15.000 UTM. Esto permite que las empresas puedan reducir el costo efectivo de un proyecto en alrededor de un 50%.

La cantidad de postulaciones aprobadas mediante este incentivo ha ido en aumento; entre los años 2012 y 2015, 43 de los 288 (15%) proyectos aprobados tienen relación con la biotecnología [51]. Sin embargo, la cantidad de empresas que declara realizar I+D hoy en Chile no supera el 12,1% (1 de cada 10 empresas aproximadamente) [52], debido principalmente a la incertidumbre respecto a la demanda por bienes o servicios innovados y que el mercado está dominado por las empresas establecidas, según el MINECON [53].

Hasta la fecha, ninguna institución pública ha realizado un seguimiento exhaustivo ni estandarizado respecto al uso de los presupuestos destinados a ciencia, tecnología e innovación, ni el gasto tributario proveniente de la Ley 20.570 [50]. Tampoco existe una fuente de información que analice en mayor detalle la evolución en el aporte en el PIB a partir de la industria biotecnológica, lo cual se podría explicar, en parte, considerando que el SIB se encuentra en un estado pre-comercial. En la misma línea, tampoco se han realizado estudios consistentes que permitan cuantificar la evolución del aporte en el PIB del uso de la biotecnología en otras industrias. Los datos que existen a partir de información de CORFO y otros están en la Tabla 14 [29], en donde se puede observar una tendencia creciente del dinero que generan las ventas anuales del sector biotecnológico hasta el año 2006. Sin embargo, los datos posteriores son contradictorios: por un lado, se reporta en informes de CIEChile [33] y AMCHAM Chile [38] una cantidad de 900 millones USD en ventas anuales, mientras que del IFIe de CORFO se reportan solamente 42.000 millones de pesos (63.765 USD) en ventas anuales. Probablemente esta discrepancia se debe a que se utilizaron métodos distintos para realizar el cálculo, abarcando también a los sectores

industriales que utilizan la biotecnología como herramienta o solamente considerando al SIB (en el caso del IFIE de CORFO). A modo de comparación, para ejemplificar la precaria situación de la industria biotecnológica nacional, en España, en donde su base empresarial de biotecnología también está compuesta principalmente por empresas de reciente creación (Pymes), el aporte de la biotecnología al PIB nacional aumentó de un 3% a un 10,35% entre el 2008 y el 2014 [54], gracias a una buena implementación de políticas públicas [8].

Tabla 14: Aproximación de las ventas anuales de la industria biotecnológica chilena según periodo (en millones USD)
[29][33][38][32].

1999	2002	2006	2015-2016	2018
7,33	7,07	9,20	900	0,063765

La regulación particular de la biotecnología se encuentra dispersa (Anexo II.2), a cargo de distintas instituciones del Estado (SERNAPESCA, futura AID, ISP y SAG). Aún existen desafíos en esta materia que no se han logrado concretar, y esto se debe, entre otras cosas, a que no se les ha dado la importancia necesaria y muy pocas personas conocen sobre la complejidad técnica detrás de la regulación de la biotecnología. A modo de ejemplo, la Resolución 1.523/2001 por parte del SAG que regula la importación, generación, evaluación y exportación de semillas transgénicas solo permite la producción de transgénicos para la exportación de semillas, pero no permite la comercialización dentro del territorio nacional, a pesar de que sí se permite importar productos transgénicos, como el maíz y la soya [55]. Además, está en proceso de regulación las nuevas técnicas de mejoramiento genético o New Breeding Techniques (NBT), lo cual, según ChileBio [56], no deben estar enfocadas en el proceso por el cual se modifican las plantas sino más bien del producto final, ya que muchas veces estos son indistinguibles de los producidos mediante métodos tradicionales. Por otro lado, la “Ley Ricarte Soto” o N° 20.850, la cual crea un sistema de protección para la ciudadanía de los altos costos de tratamientos médicos, es criticada por limitar la investigación clínica en el desarrollo de productos biomédicos [57]. También sería pertinente analizar la regulación de las Pymes en el país y verificar que sea favorable al desarrollo tecnológico de alto riesgo como es el caso de la biotecnología.

3.5.3 Resumen y conclusiones principales

Del análisis de las funciones anteriores que tienen relación con esta función, se sabe que el 57% de los actores empresariales de la biotecnología aún no logra generar ventas (-); que se han planteado objetivos nacionales para potenciar la aplicación de la biotecnología en coherencia con los sectores estratégicos y en biomedicina con perspectiva sostenible, lo cual ha venido acompañado de apoyo económico por medio de subsidios y la creación exitosa de consorcios (+); que la gran mayoría de actores se encuentra en la Región Metropolitana (-); y que a pesar de que existe una creciente cantidad de patentes biotecnológicas chilenas, estas se realizan más en el extranjero (un 80% entre los años 2005 y 2016) que en el país, lo cual sugiere que los mercados internacionales resultan ser más convenientes y/o que el sistema de patentes en Chile no es eficiente. Este último punto tiene un lado positivo ya que promueve las exportaciones, abre oportunidades de negocios y la creación de redes (+), pero negativo en el sentido de que el potencial del mercado biotecnológico nacional en los sectores estratégicos no está siendo aprovechado (-), lo cual también podría permitir abrir oportunidades de exportación. Por último,

se sabe que el país cuenta con la infraestructura (incubadoras y aceleradoras), condiciones de mercado (demanda), capacidades y nivel innovativo para contar con desarrollo más robusto del SIB (+), sin embargo, según el IFIe en Biotecnología de CORFO, aún faltan competencias en bionegocios y de escalamiento y validación de tecnologías, la incorporación de estándares en investigación aplicada, y una regulación más adecuada con las necesidades de innovación (-).

Además, el diagnóstico en cuanto a esta función también incluye lo siguiente:

1. (+) Hubo un aumento de la biomedicina dentro de la industria biotecnológica entre los años 2007 y 2018 (de 22% a 39%), en coherencia con el mercado internacionales.
2. (+) El emergente ecosistema empresarial ha logrado una mayor estabilidad en el último tiempo, aunque se debe tener en cuenta que el 44% de estas empresas tienen 5 o menos años de antigüedad.
3. (-) Existen buenas competencias científicas y tecnológicas, pero no sucede lo mismo en cuanto a bionegocios.
4. (+) Ha habido un leve crecimiento de empresas productoras de insumos y equipamiento para el desarrollo biotecnológico.
5. (+) En el último tiempo, se ha desarrollado infraestructura (aceleradoras e incubadoras) que ayudan a crear mejores modelos de negocios y abren vínculos en mercados de Estados Unidos.
6. (-) El Estado de Chile no genera condiciones coherentes con los altos riesgos y largos tiempos que requiere el desarrollo de productos biotecnológicos, limitando su apoyo solo a subsidios.
7. (-) La institucionalidad que promueve el desarrollo de ciencia, tecnología e innovación es aún débil y presenta una serie de deficiencias, (+) las cuales se podrían superar con la creación del nuevo ministerio.
8. (-) Menos del 30% de los Programas para promover el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación han sido con enfoque sectorial o estratégico, lo cual dificulta cumplir con la planificación estratégica con respecto a la biotecnología.
9. (+) La Ley de Incentivo Tributario a la I+D ha promovido la creación de proyectos que utilizan la biotecnología (un 15% de los proyectos aprobados entre los años 2012 y 2015).
10. (-) Sin embargo, queda mucho por avanzar en la materia a nivel general ya que solo un 12,1% de las empresas a nivel nacional declaran realizar I+D.
11. (-) Algunas razones más representativas por las cuales las empresas no innovan son la incertidumbre respecto a la demanda por bienes y servicios innovados y que el mercado está dominado por empresas establecidas (poca competencia).
12. (-) No existe un seguimiento exhaustivo ni estandarizado respecto al uso del presupuesto destinado a ciencia, tecnología e innovación (incluyendo la Ley 20.570). Además, no se han publicado estudios consistentes para conocer la totalidad del aporte de la industria biotecnológica, ni tampoco de la aplicación de la biotecnología en la industria estratégica nacional al PIB nacional.
13. (-) A pesar del éxito de los subsidios y creación de consorcios tecnológicos aplicados a sectores estratégicos nacionales, esto no se tradujo en la creación de nuevos actores empresariales ni en la diversificación de la economía nacional.

14. (-) La regulación en biotecnología está dispersa en distintas instituciones, las cuales no están vinculadas necesariamente entre sí, y la regulación existente es aún insuficiente para los requerimientos de la industria en diversos sentidos.

3.6 Movilización de recursos (F6)

Como se ha descrito en los análisis anteriores, los Programas orientados al desarrollo biotecnológico corresponden en gran parte a subsidios, principalmente mediante fondos concursables con enfoque neutral, por lo que en el análisis de esta función aborda la disponibilidad de recursos financieros y humanos que han servido para potenciar el desarrollo biotecnológico, teniendo en cuenta que la biotecnología requiere de inversión de alto riesgo y capacidades científicas y tecnológicas avanzadas.

En Chile, la inversión privada en ciencia, tecnología e innovación es baja en comparación a la inversión pública (Figura 41), situación que también se presenta en el ámbito de la biotecnología [32]. A pesar de que el dinero público destinado a I+D ha ido en aumento durante los últimos diez años (Figura 42), si se relaciona con el PIB nacional o el presupuesto del Gobierno Central, este gasto se ha mantenido prácticamente constante por debajo del 0,4% del PIB, y ha disminuido en el caso del segundo. (Figura 43).

Parte de la estrategia para aumentar el porcentaje en relación con el PIB es apostar por incentivar la inversión privada y con ello lograr llegar al 1% del PIB, esfuerzo que aún no ha permitido que el país esté dentro de los estándares internacionales (Figura 44).

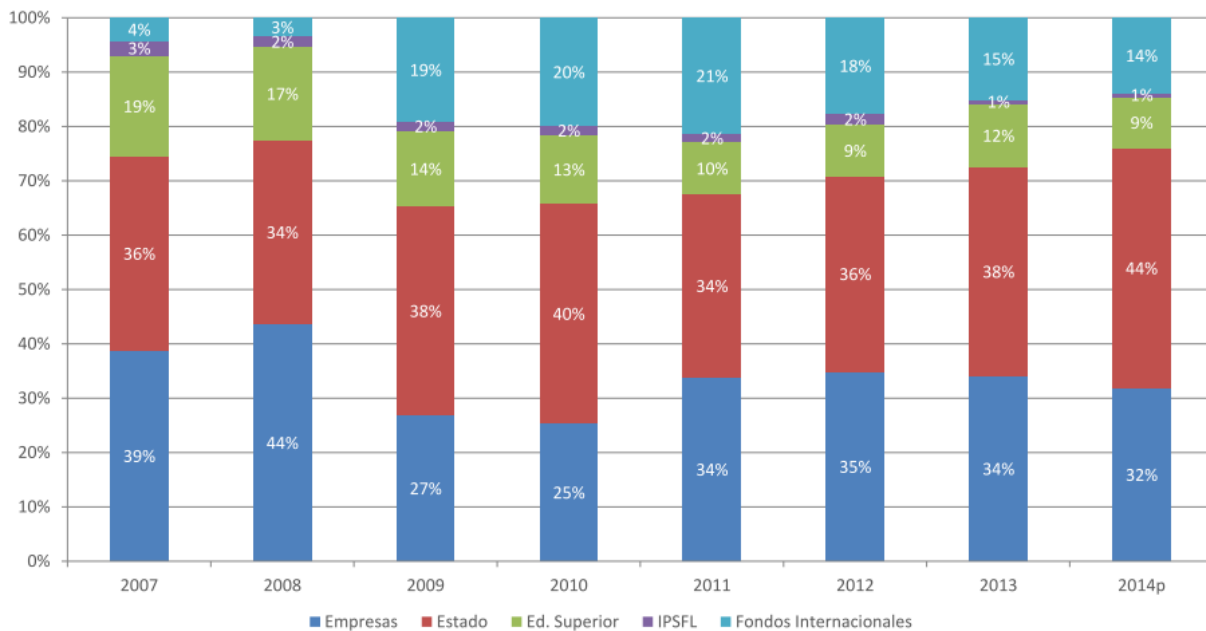


Figura 41: Gasto en I+D en Chile, según fuente de financiamiento [58].

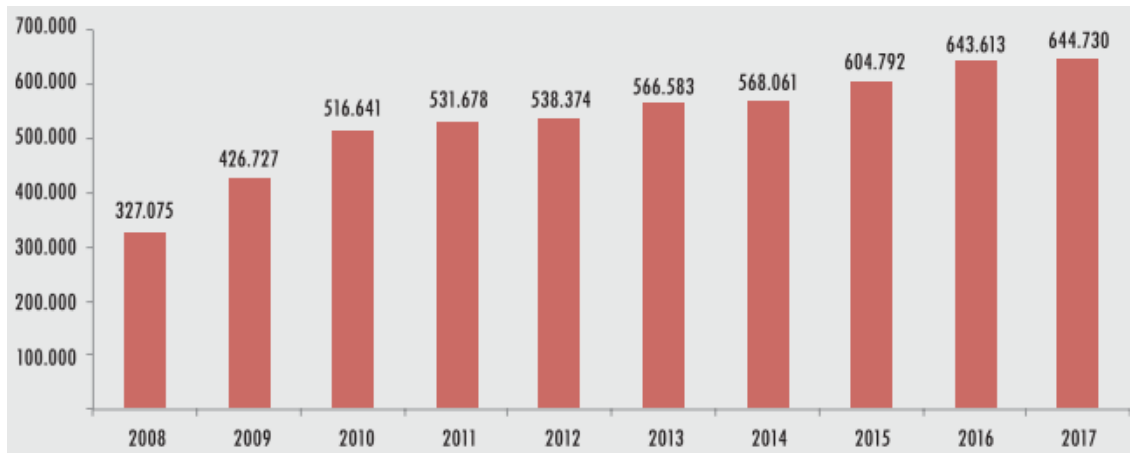


Figura 42: Presupuesto en ciencia, tecnología e innovación 2008-2017 en Chile (en millones de pesos del 2017) [50].

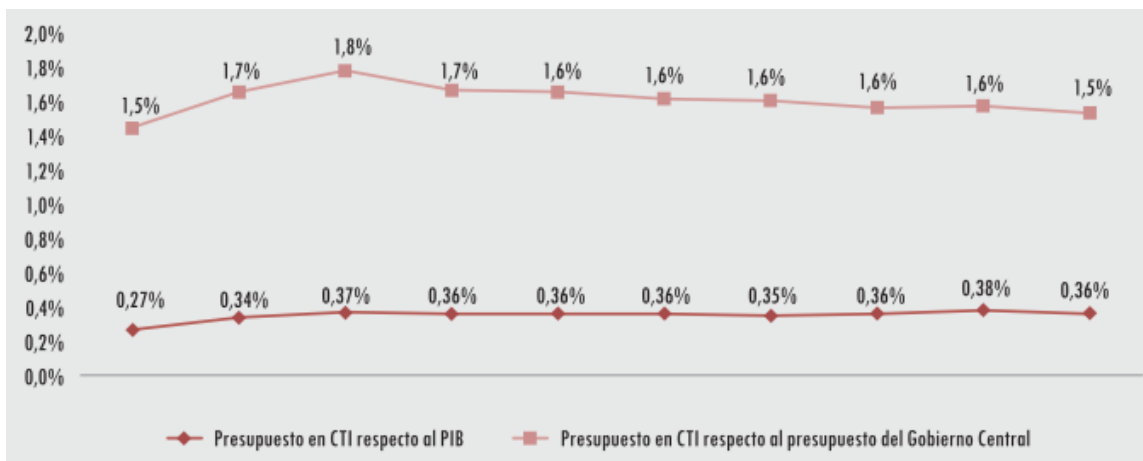


Figura 43: Presupuesto del Gobierno Central en ciencia, tecnología e innovación respecto al PIB y respecto al presupuesto total del Gobierno Central entre el 2008 y el 2017 en Chile, en moneda nacional [50].

Según un estudio del MINECON, las empresas que han buscado realizar I+D plantean que los principales obstáculos para innovar son los altos costos y la falta de personal calificado. En el mismo estudio también se plantea que un gran porcentaje de las empresas no conocen fuentes de apoyo de financiamiento [53]. La situación general de la disponibilidad de recursos para financiar el desarrollo de ciencia, tecnología e innovación está directamente relacionada con la disponibilidad de recursos para el desarrollo biotecnológico, por lo que, si mejora la situación general, también debería mejorar la situación para el SIB, sobre todo considerando que según CORFO, más del 50% de la inversión en I+D pública se basa en el desarrollo de productos, servicios o procesos asociados a la biotecnología [32]. En la misma línea, se diagnostica que las dificultades para acceder a fondos públicos dentro del SIB son los largos tiempos y recursos requeridos en el proceso de postulación, adjudicación y rendición de proyectos, junto con la poca flexibilidad para adecuar los gastos en el transcurso de este. Además, se plantea una crítica al lenguaje poco familiar que tienen los informes requeridos por CORFO, lo cual aumenta la posibilidad de que el proyecto sea rechazado o seleccionar líneas de financiamiento no adecuadas [31].

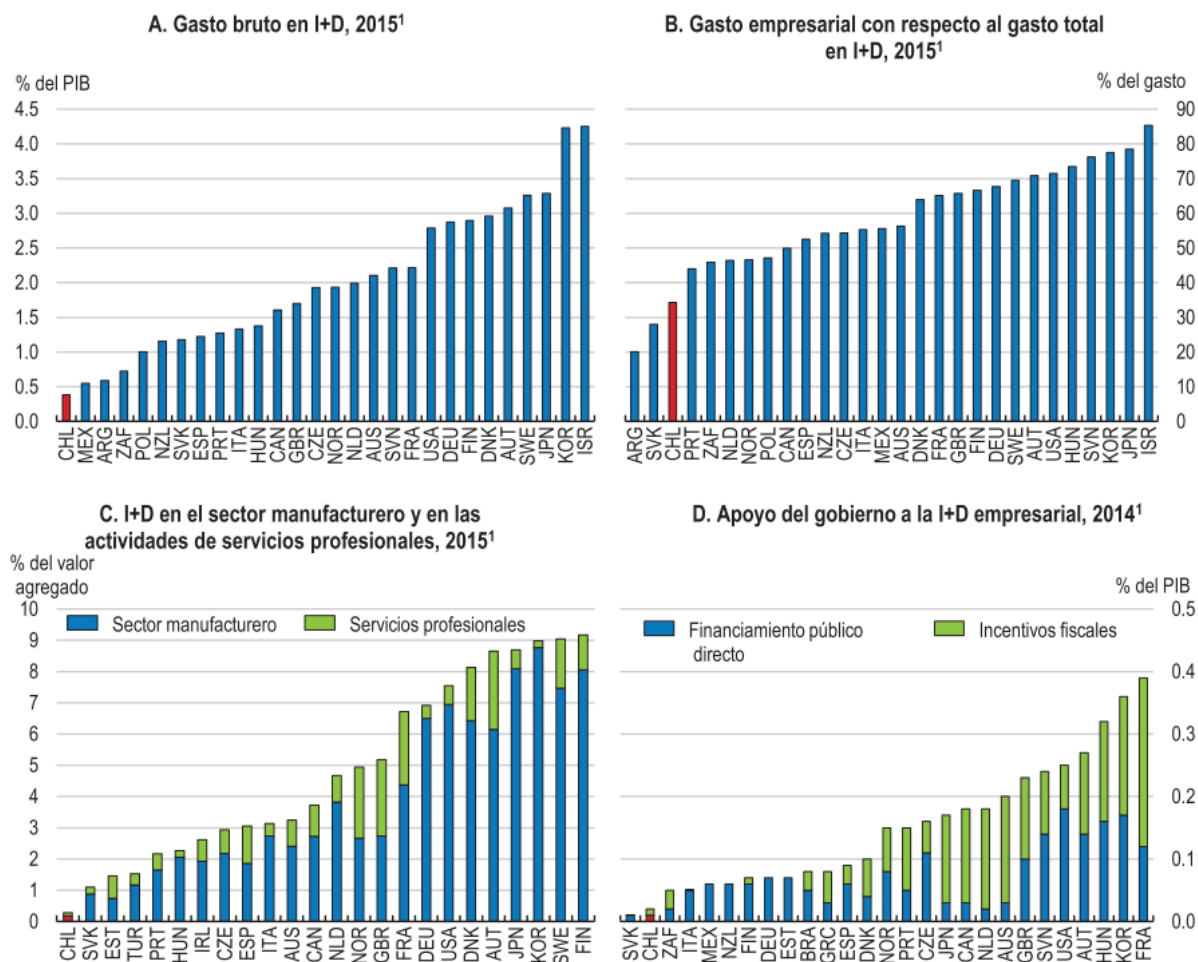


Figura 44: Gasto en I+D en Chile comparado con el resto de los países de la OCDE [59].

Un estudio publicado el año 2010 sobre el ecosistema biotecnológico, plantea que los subsidios del Estado para potenciar la I+D estaban en un orden de magnitud por sobre aquellos que buscan potenciar la transferencia, escalamiento y aplicación. Además, existía una incipiente industria de capital de riesgo [29]. Según los documentos del IFIe en Biotecnología de CORFO, este diagnóstico se mantiene en similares condiciones en la actualidad (2016-2018) [32][31].

Hay escasa información sobre la dimensión de la cantidad de inversión total que ha recibido el SIB a lo largo del tiempo. En un estudio se plantea que entre los años 2005 y 2009 se invirtieron más de 93 millones USD en Chile y más de 170 millones USD desde el extranjero [30]. CIEChile cita esta misma cantidad de inversión extranjera en un documento en el año 2015 [33], lo que reafirma la poca disponibilidad de información. Se sabe que entre el año 2001 y 2006 se financió el Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica (PDIT) con un financiamiento de 200 millones USD otorgado por el Banco Interamericano de Desarrollo (BID) y el Gobierno de Chile [30], en donde, como se dijo anteriormente, 3 de los 5 subprogramas son relacionados a la biotecnología. En general, la mayoría de las iniciativas descritas en las funciones anteriores cuentan con financiamiento mixto, en donde CORFO es el actor que más invierte en comparación al resto de los participantes. Durante el IFIe en Biotecnología de CORFO se realizaron esfuerzos para

identificar fondos de inversión privado que podrían estar interesados en invertir en el desarrollo tecnológico. Sus propuestas para el 2030 sigue en la línea de la implementación de fondos concursables, esta vez más adaptados a los requerimientos del SIB diagnosticados en la misma estrategia. Uno de ellos es un fondo de inversión mixto especializado en salud, que incluye acompañamiento estratégico, dividido en tres tipos: pre-semilla, semilla y desarrollo, dependiendo de la fase del emprendimiento. Otra arista es la creación de fondos nacionales sindicados con fondos internacionales especializados por área, lo cual permitirá adquirir experiencia por parte de los fondos nacionales. Finalmente, se propone un nuevo instrumento de CORFO llamado Subsidio Contingente Alta Tecnología, el cual compensa hasta el 70% de las pérdidas debido a la primera inversión de capital de riesgo, con tope de hasta 15.000 UF [32]. Si bien estos instrumentos mejoran las condiciones para acceder a financiamiento, se limitan a las atribuciones de CORFO, por lo que no se busca cambiar la distribución del dinero del país para fomentar la ciencia, tecnología e innovación.

Con respecto a los recursos humanos, en la Figura 45 se encuentra la cantidad de estudiantes en carreras de pregrado relacionadas con la biotecnología matriculados por año. Entre los años 2005 y 2011 la cantidad de matriculados aumentó considerablemente, mientras que después de ese periodo tuvo una disminución hasta un valor relativamente constante similar al alcanzado en el año 2008. También es posible notar que las carreras de ingeniería en biotecnología y bioquímica ocupan un porcentaje mucho mayor que aquellas relacionadas con bioprocesos. Por otro lado, la cantidad de matriculados como técnicos en biotecnología es considerablemente baja y decreciente en comparación a las carreras profesionales. Esto significa que actualmente existe una oferta constante de profesionales biotecnológicos, lo cual a su vez traduce en crecientes capacidades para innovar en biotecnología, así como también de asimilar la que proveniente de otros países. A pesar de esta importante cantidad de profesionales, la oferta laboral en el sector productivo o empresarial del SIB es aún escasa y con pocas condiciones de contratar a una gran cantidad de personas, por lo que es probable que un porcentaje importante de estos profesionales tendrán que trabajar en alguna otra industria relacionada, dedicarse a la academia o emigrar a otro país con mayores oportunidades laborales. También existe la posibilidad de emprender, lo cual resulta complejo en las condiciones actuales ya analizadas en otras funciones. No existe información con respecto a la cantidad total de trabajadores en el SIB actualmente.

Además, entre los años 2005 y 2018, según la base de datos del Consejo Nacional de Educación, se registran 9.924 matrículas en algún programa de magíster o doctorado relacionado con la biotecnología. En el año 2006, se encontraban trabajando 446 profesionales considerados capital humano avanzado en el sector biotecnológico [29], mientras que actualmente (año 2018) hay 1244 [32].

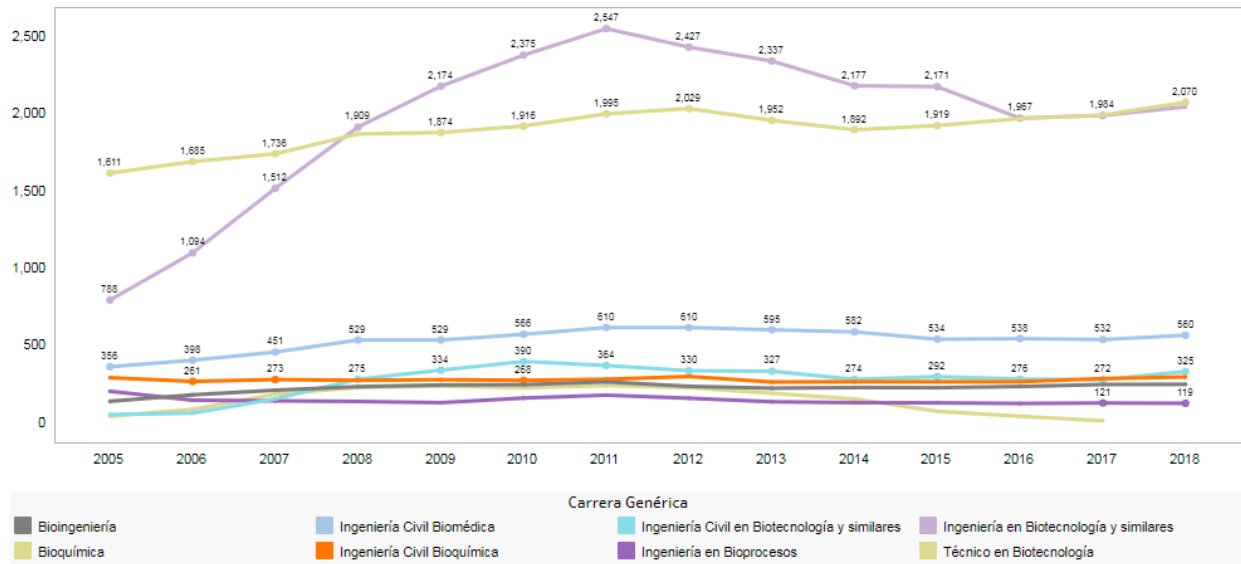


Figura 45: Estudiantes matriculados por año en carreras de pregrado relacionadas con la biotecnología en Chile. Fuente: elaborado utilizando la plataforma web que ordena la base de datos del Consejo Nacional de Educación [60].

Esto significa que desde el año 2006 ha incrementado la capacidad potencial en I+D con el aumento de 179% de capital humano avanzado trabajando en el SIB, así como también la capacidad potencial de asimilar conocimiento proveniente del exterior, ya que el aumento de investigadores se entiende como una condición necesaria para aumentar las capacidades de I+D e innovación; según la Comisión Presidencial de Ciencia para el Desarrollo de Chile: “... el incremento de investigadores es clave para expandir y fortalecer centros de excelencia, elevar la calidad de las universidades, modernizar el aparato público, así como aumentar la capacidad de absorción tecnológica y de innovación de las empresas” [9].

Sin embargo, en el año 2006 solo se contaba con 50 empleados considerados capital humano avanzado de un total de 420 que trabajaba en empresas relacionadas con la biotecnología, tendencia que no ha aumentado lo suficiente si se compara con la situación general en Chile. Según una Encuesta realizada por el MINECON y CONICYT, en el 2014 un 76% de los doctores en Chile trabajaba en una universidad (56% en una pública o tradicional y un 20% en una privada), y solo un 4% en empresas [53]. Este es un problema que ha sido abordado parcialmente por parte del Estado. En el año 2009 se creó el Programa de Atracción e Inserción de Investigadores (PAI), gestionado por CONICYT, que busca que investigadores con grado de doctor de reciente graduación sean contratados tanto en el sector académico (el cual tiene la mayor demanda de personal) como en el sector productivo. En el 2014, CORFO crea el Programa Capital Humano para la Innovación (CHI) con foco en las Pymes. Estos programas, según el informe final de evaluación de estos instrumentos, hasta esa fecha tuvo una cobertura de 102 beneficiarios, en donde 11 de ellos tienen relación con la biotecnología. Este número es significativamente bajo para superar esta problemática, sobre todo considerando que se estima que en el año 2014 ya residían entre 10.135 a 10.592 doctores en el país [61]. Por otro lado, en el país se han creado iniciativas como Becas Chile y otros programas que han buscado aumentar progresivamente la disponibilidad de capital humano avanzado (Figura 46). El informe de evaluación de los

instrumentos PAI y CHI afirma que las brechas en esta dimensión corresponden a problemas en la apropiabilidad del conocimiento, alta incertidumbre respecto a los resultados de las actividades de I+D y asimetrías de información entre la comunidad científica y la industria. Esto desincentiva la inversión en actividades relacionadas con I+D y dificultan la vinculación entre quienes generan conocimiento científico y los sectores productivos del país [61].

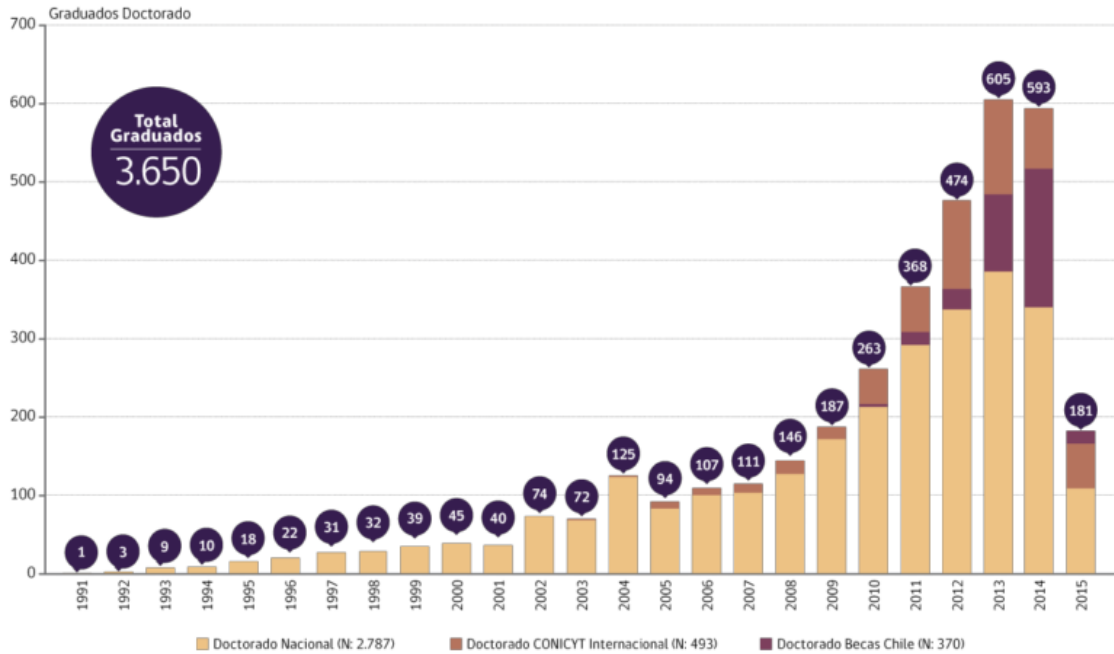


Figura 46: Total graduados de doctorado por año, CONICYT Nacional, CONICYT Internacional y Becas Chile (a junio de 2015) [61].

Con respecto a la empleabilidad, según el “Estudio de Inserción de Investigadores de Postgrado” de la Asociación Nacional de Investigadores de Postgrado (ANIP) en Chile existe un 12,9% de desempleo con respecto a capital humano avanzado, según el Informe Final de Evaluación en el Marco de la Evaluación de Programas Gubernamentales (EPG), Programas Becas Nacionales de Postgrado y Becas Chile (DIPRES) esta cifra es de 7,4%, y según la segunda Encuesta trayectoria profesional con grado de doctor residentes en Chile (MINECON) sería de 3,6% de desempleo. Esta discrepancia de datos no permite obtener conclusiones rigurosas, pero evidencia la incapacidad de contar con un buen mapeo del capital humano avanzado nacional, en donde las universidades podrían ocupar un rol fundamental realizando un buen seguimiento de sus egresados [62].

Si bien el análisis de la situación de los investigadores en Chile anteriormente descrito es propio del país más que de un sector en particular, tiene consecuencias directas en el desarrollo de conocimiento e innovación en biotecnología, siendo esta una disciplina que tiene una demanda intensiva de capital humano avanzado. A pesar de que el número de personas dedicadas a I+D en Chile aumentó desde 13.228 a 15.910 entre el año 2013 y el 2015 (lo que equivale a un aumento del 20,3%), en Chile se cuenta con un número significativamente bajo de personal dedicado a I+D en comparación a los niveles internacionales. Además, de estos empleados en I+D, el 45,87% (5.892) se desempeñaba como investigador, lo que alcanza a 1 por cada mil ocupados, comparado

con el promedio de la OECD de 7 para el año 2013. Solo un 32% de estos investigadores se empleaba en empresas, mientras que el promedio de la OCDE era 53% en el mismo año [61].

Por otro lado, como se vio en la función anterior, el porcentaje de empresas que realizan innovación tecnológica en Chile es del 12,1% del universo, lo que equivale a un total 1 de cada 10 empresas [52]. Esto significa que existe una desconexión entre quienes realizan investigación y la industria productiva nacional, lo que dificulta que el I+D realizado en Chile se traduzca en innovaciones concretas [61]. En términos comparativos, la Figura 47 muestra que el presupuesto público en I+D para investigación y formación de capital humano avanzado (CONICYT) ha sido históricamente superior que el destinado al fomento de la producción y conformación de mercados (CORFO) [63].

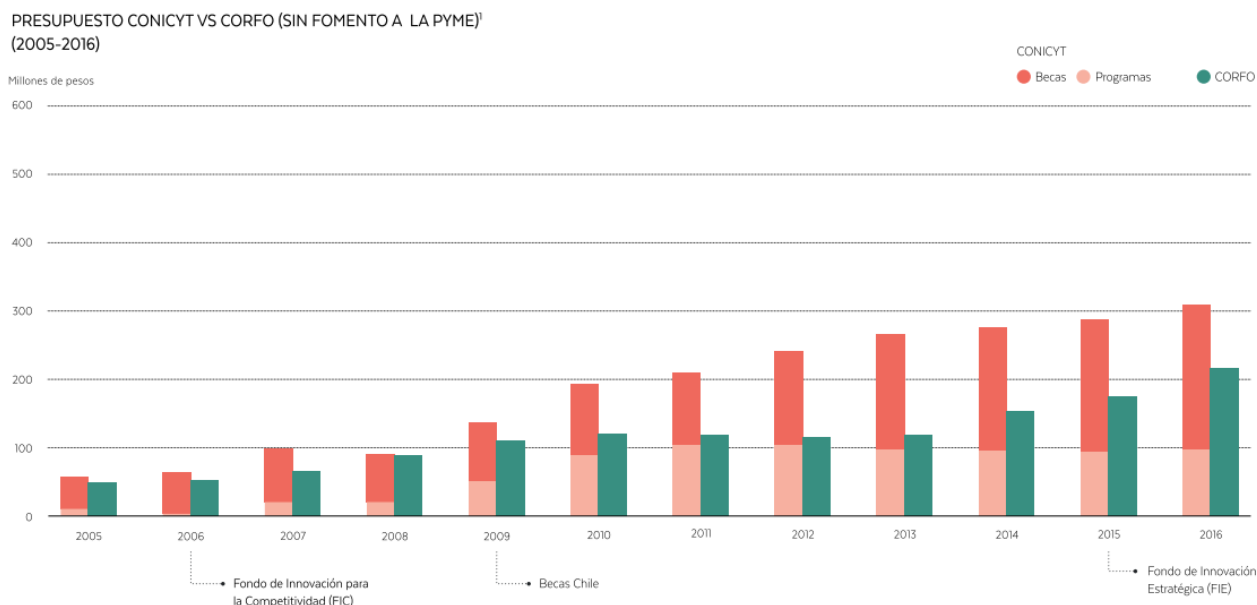


Figura 47: Presupuesto CONICYT en relación a CORFO (sin considerar fomento a la Pyme) entre los años 2005 y 2016, en millones de pesos [63].

3.6.1 Resumen y conclusiones principales

1. (+) El presupuesto en ciencia, tecnología e innovación ha aumentado en el país, (-) aunque sigue siendo superior a la inversión privada, tendencia que también aplica al desarrollo de la biotecnología nacional.
2. (-) La inversión en I+D en relación con el PIB y el presupuesto del Gobierno Central se ha mantenido prácticamente constante desde el año 2010, por lo que las medidas que se han propuesto para incentivar la inversión privada no han permitido estar a la altura de los estándares internacionales.
3. (-) Existe una gran cantidad de empresas que desconocen la existencia de fuentes de apoyo financiero para la innovación.
4. (+) El 50% de la inversión pública en I+D tiene relación con el desarrollo de biotecnología.
5. (-) Los instrumentos para acceder a fondos públicos no son adecuados para los requerimientos específicos del SIB, ya que implica mucho tiempo y recursos en el proceso de postulación, poca flexibilidad para realizar gastos e informes con un lenguaje excesivamente técnico.

6. (-) Los fondos aún no se enfocan en impulsar la transferencia, escalamiento y aplicación.
7. (+) Desde el IFIe de CORFO se proponen fondos que permiten mejorar las condiciones para acceder a financiamiento, minimizando el riesgo y abriendo puentes hacia la inversión extranjera, (-) pero se enfoca principalmente en salud y no necesariamente en los sectores estratégicos, y no involucra un aumento del presupuesto general.
8. (-) No existen estudios o una fuente de información que contenga la cantidad total que se ha invertido en el desarrollo biotecnológico hasta la fecha.
9. (+) El desarrollo de capital humano en universidades tiene una tendencia estable en el tiempo, con un leve crecimiento en la matrícula año a año, en donde destaca el año 2011 con el máximo número de matriculados.
10. (+) Entre los años 2005 y 2018 se matricularon 9.924 estudiantes en programas de capital humano avanzado relacionado con la biotecnología.
11. (+) Se han generado capacidades en cuanto a capital humano avanzado en biotecnología, abarcando diversas aplicaciones biotecnológicas.
12. (+) Entre los años 2006 y 2018 hubo un aumento del 179% en capital humano avanzado trabajando en el sector biotecnológico (de 446 a 1244).
13. (-) El SIB cuenta con escasa oferta laboral, lo cual significa incertidumbre para la creciente cantidad de profesionales en biotecnología del país.
14. (-) Hubo un aumento significativo de capital humano avanzado en el país, pero no existe una infraestructura robusta que realice un seguimiento coherente del estado laboral de postdoctorados, impidiendo conocer su nivel de desempleo y otros indicadores con exactitud.
15. (-) En Chile existe una desconexión entre la industria productiva y entre quienes realizan I+D, y existe una muy baja presencia de capital humano avanzado en las empresas.
16. (-) Los programas que ha realizado el Estado para superar la baja presencia de investigadores en empresas (programas PAI el 2009 y CHI el 2014) tuvieron una cobertura de solo 11 personas en el sector de biotecnología.

3.7 Creación de legitimidad (F7)

El lobby en Chile se regula mediante la Ley N 20.730 que fue publicada en el año 2014, la cual regula y transparenta las gestiones de intereses particulares ante las autoridades y funcionarios públicos. El Consejo para la Transparencia (CPLT) es una corporación autónoma de derecho público que es encargada de velar por la Ley de Transparencia de la Función Pública y de Acceso a la Información de la Administración del Estado, la cual generó una plataforma llamada InfoLobby en donde se puede encontrar información pública relacionada al lobby realizado en Chile [64]. Al realizar una búsqueda simple en la plataforma con el concepto de “biotecnología” es posible encontrar información sobre las distintas audiencias que han ocurrido desde el año 2014 entre actores privados y de la sociedad civil con actores del Estado, los cuales se analizan a continuación. En la Figura 48 se puede ver la cantidad de audiencias o reuniones relacionadas con la biotecnología, en donde se observa una tendencia creciente hasta el año 2017 (la información se obtuvo durante el año 2018 por lo que faltan audiencias de ese año). En total, se registraron 92 audiencias.

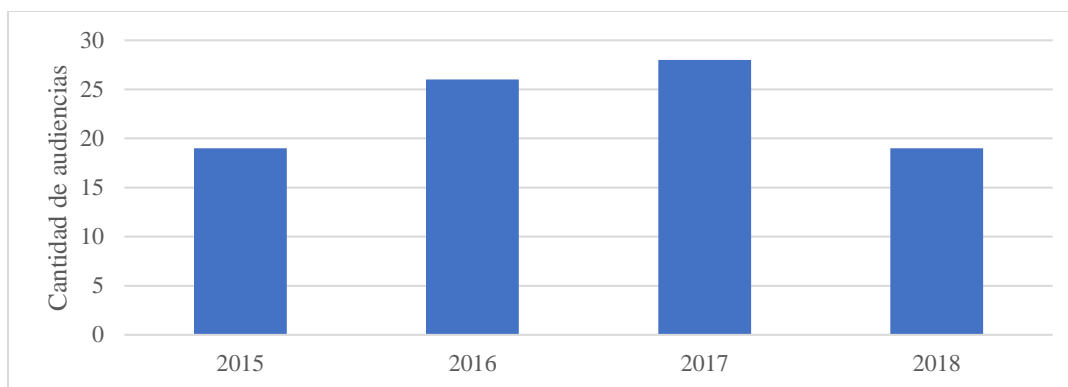


Figura 48: Cantidad de audiencias de lobby relacionadas con la biotecnología desde el año 2015 en Chile. Fuente: elaboración propia con datos de InfoLobby [64].

Analizando a las instituciones en donde se llevaron a cabo las audiencias, la gran mayoría de estas (más del 59%) tuvieron relación con la biomedicina (lo cual podría explicar en parte la orientación de la estrategia al 2030 del IFIe en Biotecnología), seguido de temáticas relacionadas al desarrollo industrial o empresarial (22%), las cuales se llevaron a cabo en Municipalidades y Gobiernos Regionales o CORFO. El sector de la agricultura tuvo una participación de alrededor del 13%, mientras que la acuicultura y el de medioambiente cerca del 2%. También existieron audiencias relacionadas a la búsqueda de financiamiento para proyectos o participación en actividades biotecnológicas.

Algunos actores destacados (por la cantidad de solicitudes) que realizaron audiencias son Roche Chile Ltda., Biotecnología Agropecuaria S.A., Cámara de la Innovación Farmacéutica de Chile, la Universidad de Concepción y otras universidades, entre otros. Si se compara con la totalidad de actores que componen el SIB, solo un bajo porcentaje de estos han realizado acciones de lobby (menos del 25%). Por lo tanto, existe poca presión por parte del SIB para que el Estado impulse su desarrollo en el país.

Los temas tratados, en general, tienen que ver con la presentación de proyectos de investigación, productos o empresas; condiciones regulatorias y de mercado para ciertos productos (a nivel nacional y regional), consultas sobre procedimientos, búsqueda de cooperación y en algunos casos proponen cambios en ciertas normativas. Es importante destacar que la gran mayoría de las audiencias se llevaron a cabo en la Región Metropolitana, seguida de la Región de Valparaíso y la del Biobío (Figura 49), reafirmando la tendencia centralizada del desarrollo del SIB.

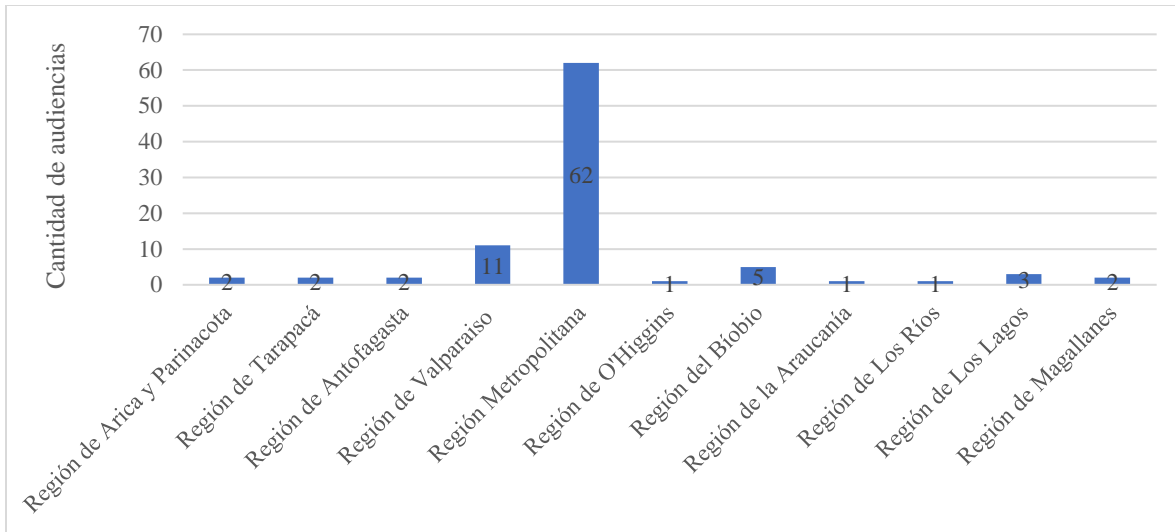


Figura 49: Cantidad de audiencias entre el 2015 y el 2018 por región. Fuente: elaboración propia con datos de InfoLobby [64].

3.7.1 Resumen y conclusiones principales

Considerando el análisis previo, se presentan las siguientes conclusiones, considerando que esta función busca dar a conocer las acciones que realizan los distintos actores para promover el desarrollo del SIB interactuando con distintos organismos del Estado.

1. (+) Desde el 2015, se observa una tendencia creciente de audiencias relacionadas con la biotecnología con distintas instituciones del Estado.
2. (+) Los actores de la biomedicina son los más proactivos en las acciones de lobby en Chile, representando más del 59% de las audiencias.
3. (-) Los actores relacionados con los sectores estratégicos y temas relacionados con el medioambiente tienen una baja actividad en acciones de lobby.
4. (-) Menos del 25% de los actores del SIB han realizado alguna actividad de lobby entre los años 2014 y 2018, lo cual significa que ha habido poca presión para que el Estado potencia su desarrollo.
5. (-) Las actividades de lobby se desarrollan principalmente en la Región Metropolitana, seguida de la de Valparaíso y la del Biobío.

3.8 Funciones externas al SIB

Al ser Chile un país en vías de desarrollo y contar con un SIB aún en formación, las condiciones externas a él tienden a tener una mayor influencia en su desarrollo en comparación con países desarrollados [24]. Ya se han descritos algunos factores externos en las funciones internas del SIB debido a la alta interrelación de estos factores. En esta sección, en cambio, se describe brevemente el panorama más general categorizado a partir de las 5 funciones externas propuestas en el marco teórico.

3.8.1 Crecimiento económico (F8)

La política económica en el Chile contemporáneo es de carácter abierto, orientado hacia la atracción de capitales extranjeros para el desarrollo de los sectores productivos estratégicos de la economía, basado principalmente en la exportación de recursos naturales (renovables y no

renovables) bajo el argumento de aprovechar las ventajas comparativas del país, en donde el cobre es la materia prima principal [5]. Esto hace que el crecimiento económico chileno sea altamente dependiente de los vaivenes de los mercados internacionales, en particular al de China y Estados Unidos (por la variación del precio de los “commodities”) [65]. En el caso ideal, mantener buenos niveles de crecimiento abre mayores posibilidades para que exista mayor disponibilidad de recursos para invertir y la generación de mercados.

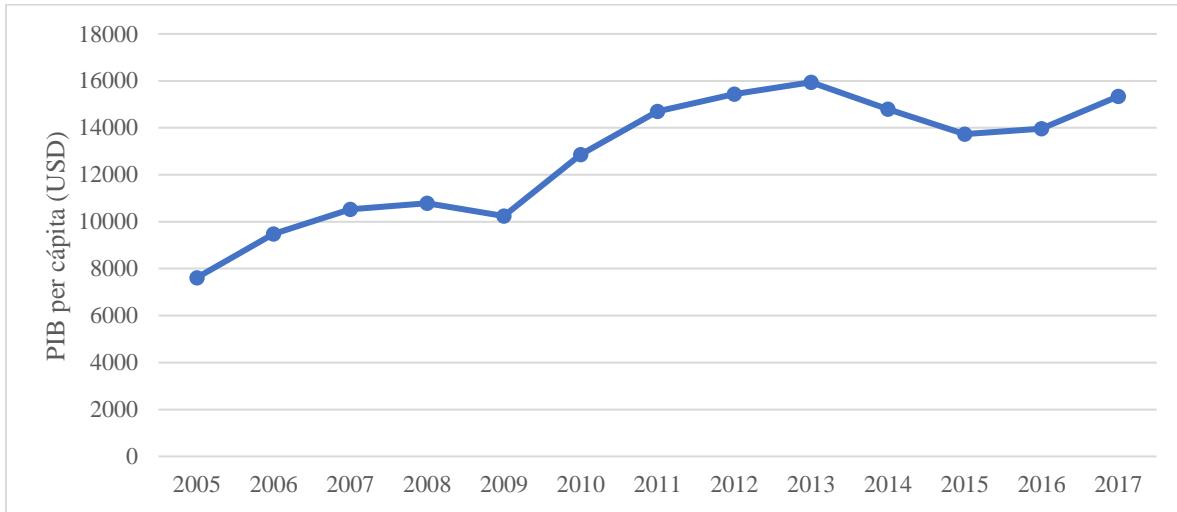


Figura 50: PIB per cápita en Chile desde el año 2005. Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial.

En la Figura 50 se puede observar una tendencia creciente del PIB per cápita en Chile. Sin embargo, este indicador no permite comprender la complejidad de la situación económica chilena completamente, considerando los altos niveles de desigualdad (Figura 51), aspecto que además podría tener un impacto negativo en el acceso a la educación [66].

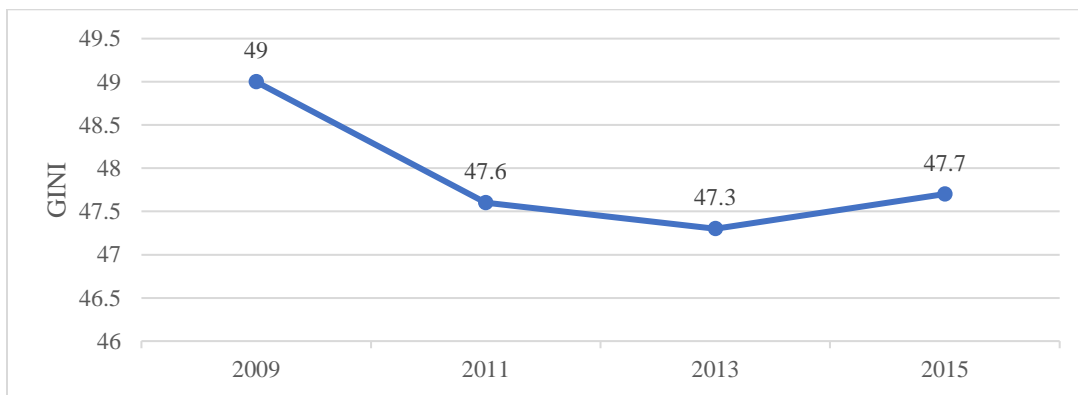


Figura 51: Índice de GINI para Chile desde el 2009. A mayor magnitud, mayor desigualdad. Fuente: elaboración propia con datos del Banco Mundial.

El problema de la desigualdad se puede observar de mejor manera utilizando el Índice de Palma, el cual consiste en una relación entre los ingresos del 10% más rico y el 40% más pobres, ya que se descubrió que el otro 50% (o los deciles intermedios en términos de ingreso) se mantiene homogéneo a lo largo de los años y las variaciones se dan en los extremos (Figura 52).

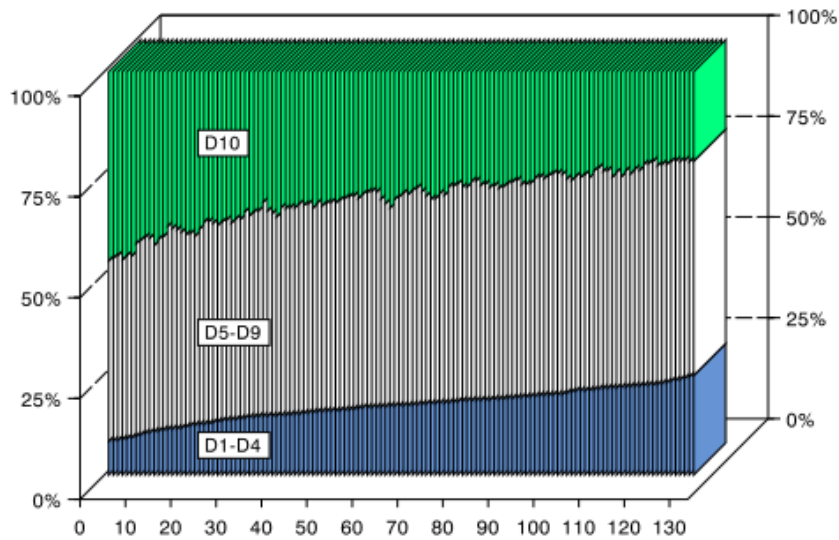


Figura 52: Distribución del ingreso promedio entre 129 países dividido en 10 deciles (D10 es el 10% más rico) [66].

En la Figura 53 se pueden observar los niveles de desigualdad en Chile desde 1957 según el Índice de Palma, información que complementa la entregada por el Índice de GINI, confirmando que la desigualdad ha sido y sigue siendo un problema en el país.

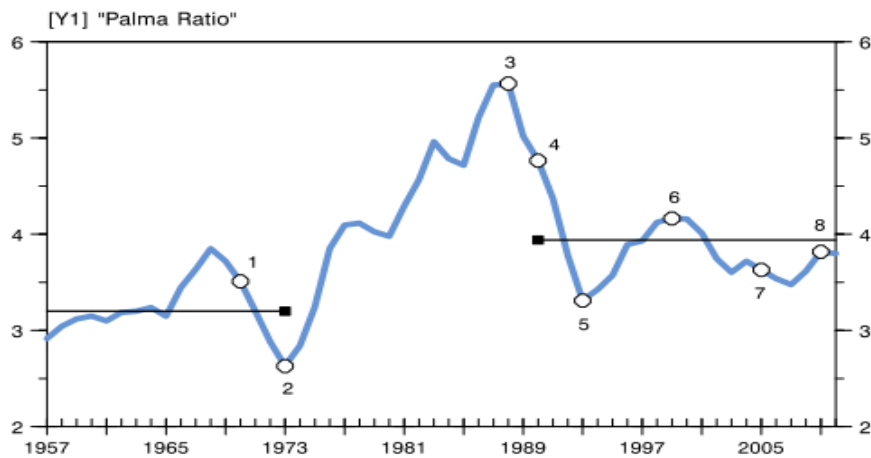


Figura 53: Índice de Palma en Chile desde 1957. A mayor magnitud, mayor desigualdad [66].

A nivel internacional, comparativamente Chile ha tenido una disminución en los rankings en distintos indicadores relacionados con el desarrollo económico y productivo (Figura 54). El índice global de innovación (GII) ha estado a la baja desde aproximadamente el año 2011, el índice de competitividad (GCI) se ha mantenido prácticamente constante desde el año 2013 y el índice de progreso social (SPI) también se ha mantenido constante y ha disminuido recientemente, el cual considera no solo la variable económica, sino que también la social y medioambiental. Por otro lado, el crecimiento tendencial de la productividad también ha ido en descenso en el último tiempo [59].

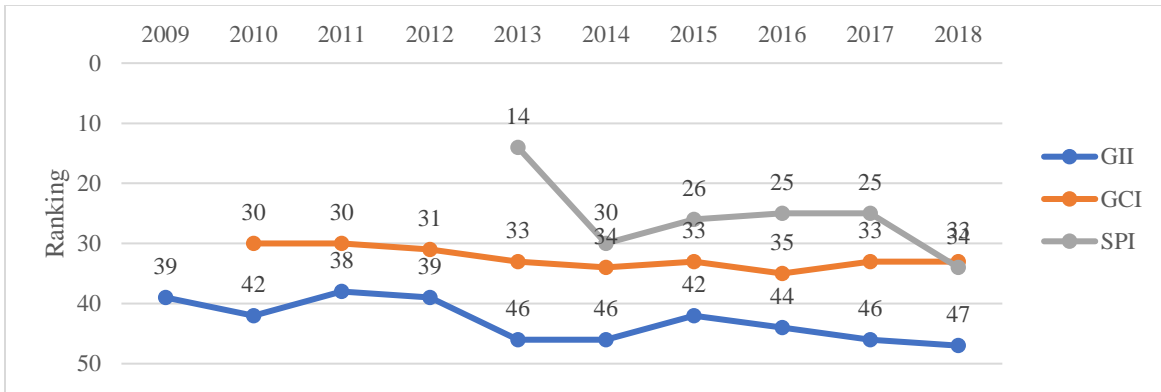


Figura 54: Indicadores internacionales con lo que se puede ver el ranking que ocupa Chile con respecto al resto de los países. Fuente: elaboración propia con datos del “World Economic Forum”, WIPO y “Social Progress Imperative”.

Según el economista chileno José Gabriel Palma, las lógicas y cambios promovidos en la economía chilena después del año 1973 y que aún se mantienen, tienen una parte de la responsabilidad en el estancamiento de los indicadores anteriormente descritos, estancamiento que también se refleja en términos de productividad relativa a la de Estados Unidos a modo de comparación (Figura 55). Estos cambios se pueden describir brevemente como una sustitución de la manufactura por la renta como motor de crecimiento económico, visión que se aplicó a lo largo de todo América Latina a pesar de que en ese tiempo el potencial manufacturero del continente era superior – con una tendencia creciente – en comparación con el asiático, la cual se revirtió completamente con el paso de los años (Figura 56). Esta visión de la economía es la que incentiva la venta de recursos naturales en bruto, sin manufactura y de muy bajo valor agregado, por lo que la fuente de ingresos nacionales proviene principalmente de la renta de estos recursos y el acceso a bienes más complejos es por medio de importaciones. Esto por supuesto se contradice con un modelo que prefiera la diversificación productiva con el uso de la ciencia, tecnología e innovación como motor principal [67].

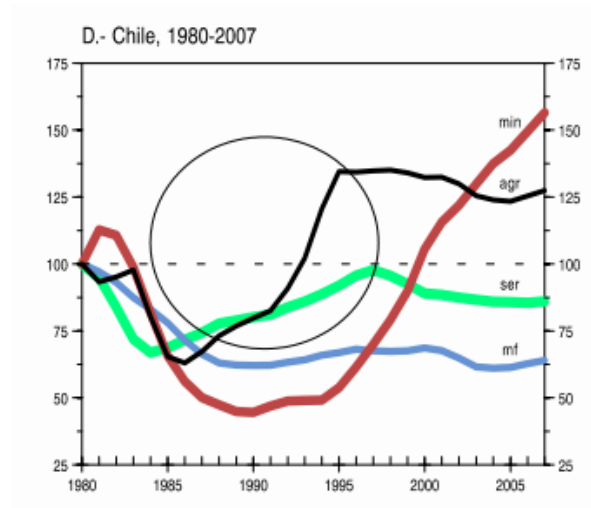


Figura 55: Niveles de productividad en Chile según sector con respecto a la productividad de Estados Unidos. Min: minería, agr: agricultura, silvicultura y pesca, ser: servicios y mf: manufactura [67].

También es importante analizar el carácter neutral u “horizontal” que se ha promovido para orientar la economía, enfoque que ha primado por sobre un enfoque selectivo o “vertical”, el cual defiende la idea que el Estado debería seleccionar y promover ciertos sectores de la economía con mayor potencial de crecimiento [68]. En la Figura 57 se pueden observar los programas en asuntos económicos creados por los distintos gobiernos desde el año 1990, categorizados según enfoque. La sobre ponderación del enfoque neutral es un factor que dificulta la implementación de objetivos estratégicos, necesarios para promover la I+D en la industria y con ello lograr una matriz productiva sofisticada, diversificada y sostenible. Esta distribución o ponderación de los distintos enfoques se explican por la reducción radical del Estado en materia económica y productiva.

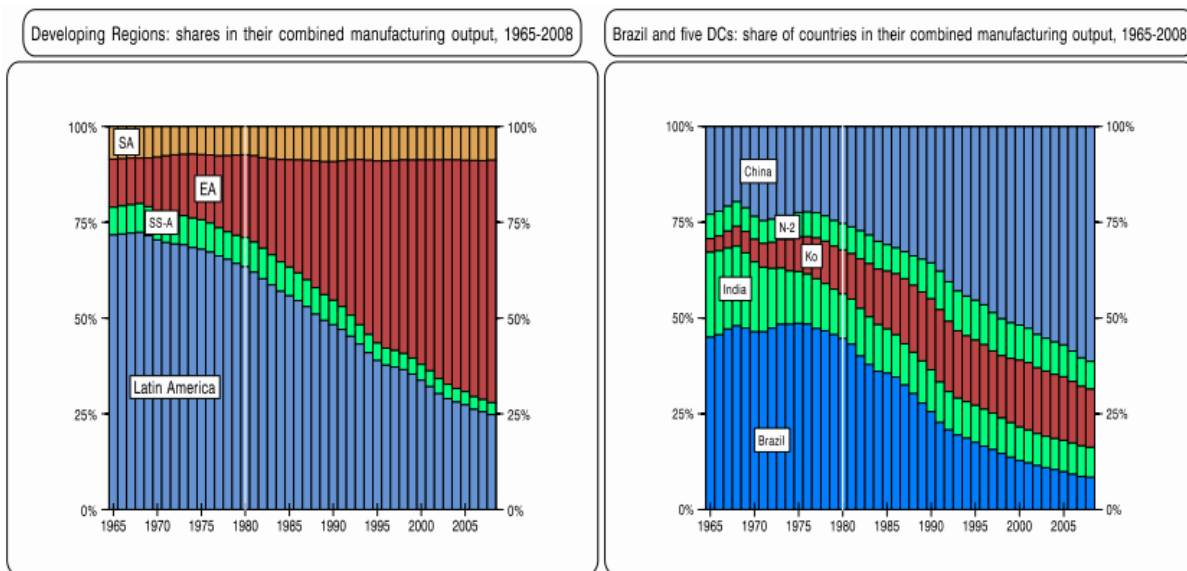


Figura 56: Ingresos debido a la manufactura a lo largo del tiempo entre América Latina, Asia y África. EA: Asia del este, SA: Asia del sur, SS-A: sectores de África [67].

	Aylwin (1990–1994)	Frei (1994–2000)	Lagos (2000–2006)	Bachelet (2006–2010)	Piñera (2010–2014)
Horizontal	Proyectos de Fomento (PROFO) Fondo de Asistencia Técnica (FAT) FOCAL PDP Programa de Ciencia y Tecnología (PCT) Fondos de Desarrollo Tecnológico (FONTEC/FONDEF)	Fondo de Garantías Pequeña Empresa (FOGAPE) Fondo de Desarrollo Regional (FDR) Programa de Fomento a la Microempresa (PFME) Fondo de Desarrollo e Innovación (FDI) Programa de Innovación Tecnológica (PIT) Fondo de Capital de Riesgo	InnovaChile Capital Semilla Programa de Desarrollo de Inversiones (PDI) Programa Chile Emprende Programa Nacional de Incubadoras Programa de Desarrollo de Proveedores (PDP) Programas Territoriales Integrados (PTI)	Incentivo I + D Programa Redes de Inversionistas ángeles	Startup Chile Programa Global Connection Programa capital abeja Programa Red de Centros de Emprendimiento
Vertical	–	–	Programa de Atracción de Inversiones de Alta Tecnología (InvestChile) Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica	Consejo Nacional y Fondo de Innovación para la Competitividad (CNIC/FIC)	–

Figura 57: Principales programas para el fomento de la industria desde el año 1990 en Chile [68].

En Chile es ampliamente aceptado que la alta dependencia del crecimiento económico chileno de los mercados internacionales representa una desventaja. Sin embargo, y a pesar de que se proyecte un aumento del PIB per cápita hacia el futuro, otros indicadores, como la desigualdad, el nivel de innovación, competitividad, productividad o el índice de progreso social no han tenido un buen rendimiento histórico. Esto significa que no se han realizado los esfuerzos necesarios para lograr sofisticar y diversificar la matriz productiva chilena. Si esta tendencia no se rectifica, el SIB no estará en las mejores condiciones para su desarrollo, ya sea por falta de recursos o por la poca voluntad para implementar objetivos estratégicos, elementos necesarios para que la creciente capacidad innovativa nacional logre tener resultados en el mercado.

3.8.2 Conciencia medioambiental y cambio climático (F9 y F10)

Desde el año 2014, el Ministerio del Medio Ambiente ha realizado encuestas nacionales para analizar la percepción de la población [69]. En general es un tema reconocido por las personas y la mayoría considera que están tomando acciones para mejorar el medioambiente (por ejemplo, hay una gran mayoría que está de acuerdo con prohibir el uso de bolsas plásticas), pero es considerado el aspecto menos importante en comparación con la salud, educación, delincuencia y crecimiento económico. Los principales problemas sentidos por las personas son la contaminación del aire y la basura. Las personas consideran que el reciclaje es la mejor forma de mejorar el medioambiente, aunque muchas no lo hacen debido principalmente a no tienen donde reciclar o por falta de costumbre. Entre los años 2016 y 2018 el tema ha ido tomando mayor relevancia, ya que hubo un aumento en las personas que eligen candidatos políticos en base a sus propuestas medioambientales. La mayoría de las personas están dispuestas a tomar acción para solucionar los problemas ambientales, incluso dispuestas a perder algunas libertades individuales, y piensan que la economía puede crecer de manera sustentable y que el uso de tecnología es un aporte a la solución.

La conciencia medioambiental también se puede medir cuantificando los conflictos socioambientales que han comenzado en el país a lo largo del tiempo, cuya incidencia se redujo a partir del 2010 (Figura 58). Sin embargo, 62 de estos conflictos están aún activos y 30 latentes. Además, de todos los conflictos registrados en Chile, el 38% está relacionado al sector energético, seguido por minería con un 31%. En la Figura 59 se encuentra la distribución regional de estos conflictos [70].

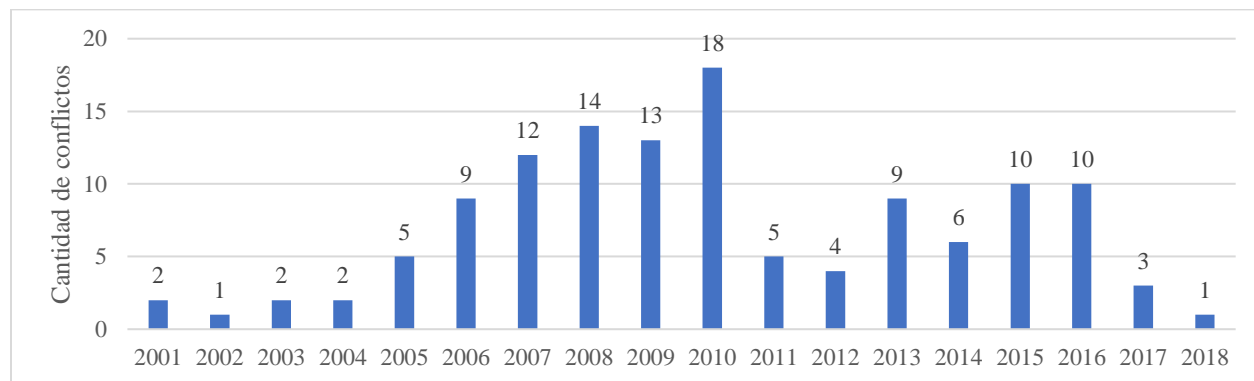


Figura 58: Cantidad de conflictos socioambientales ordenados por el año en que comenzaron en Chile (no se agregaron los 21 conflictos iniciados antes del año 2001). Fuente: elaboración propia con datos del Mapa de Conflictos Socioambientales en Chile de la INDH [70].

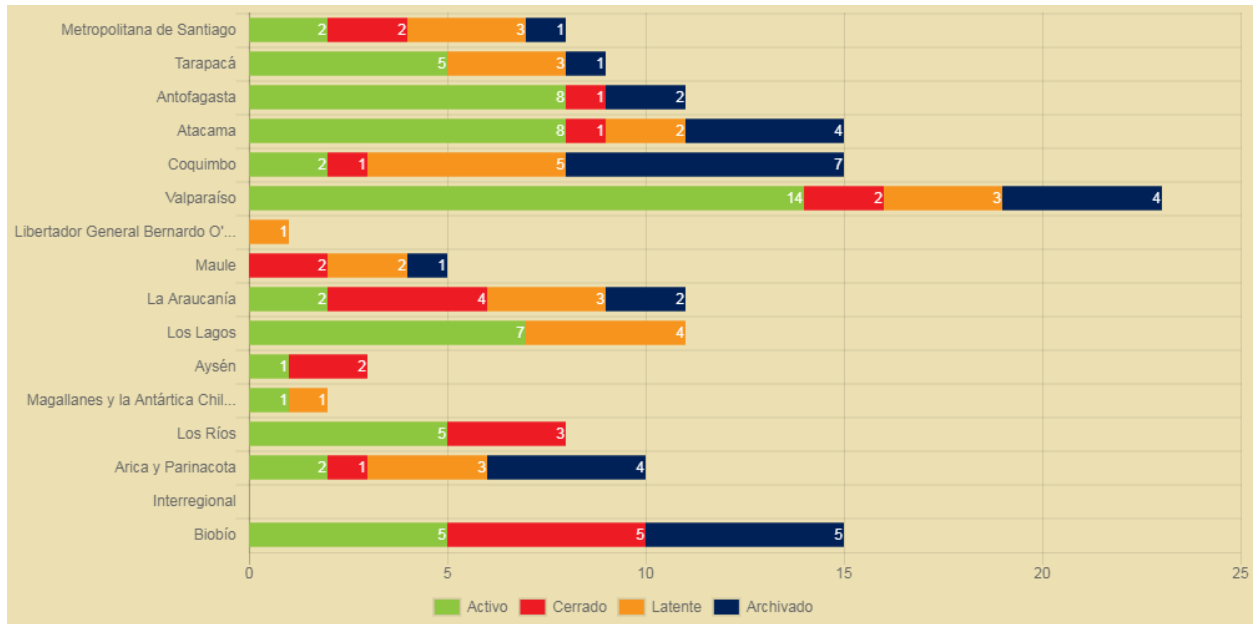


Figura 59: Distribución regional de los conflictos socioambientales en Chile, según su nivel de actividad. Fuente: Mapa de Conflictos Socioambientales en Chile de la INDH [70].

En Chile, recién en el año 2010, se creó el Ministerio de Medio Ambiente y otros organismos relacionados, incluyendo instituciones fiscalizadoras. Esto significa que las lógicas de desarrollo descritas en la función anterior y la incidencia de conflictos socioambientales – en donde se evidenció una creciente presión sobre los recursos naturales, deteriorando el patrimonio natural – no han sido rigurosamente monitoreados, planificados o fiscalizados desde el punto de vista de la sustentabilidad debido a la incipiente institucionalidad [5] [4]. La situación es aún más grave considerando el bajo presupuesto que ha recibido este Ministerio, evidentemente insuficiente para lograr fiscalizar a las miles de empresas ubicadas a lo largo de todo el país (Figura 60).

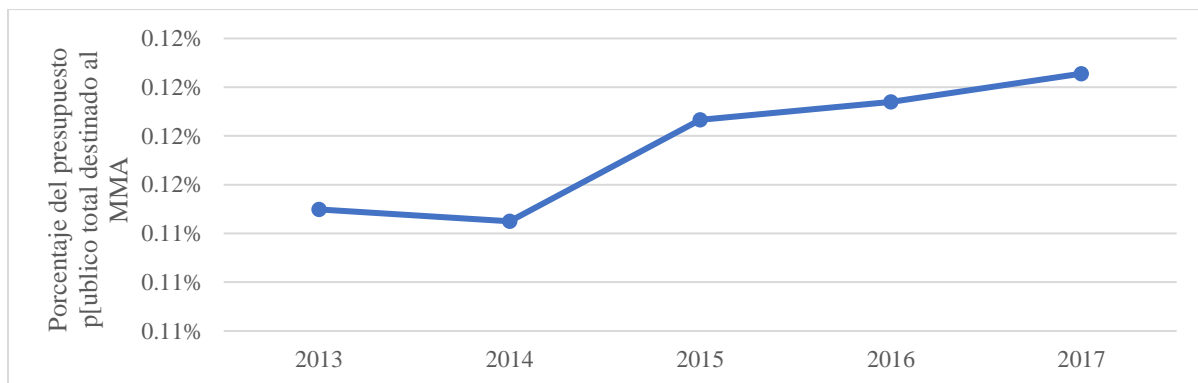


Figura 60: Porcentaje del presupuesto público total destinado al Ministerio del Medio Ambiente (MMA) de Chile. Fuente: elaboración propia con datos de la DIPRES.

Con respecto al cambio climático, en las encuestas del Ministerio del Medio Ambiente se plantea que la mayoría de las personas dice estar consciente del problema del cambio climático y lo considera un tema importante [69]. Los gases de efecto invernadero (GEI) aumentaron en un 23% entre los años 2000 y 2010, y se proyecta que seguirán en aumento en relación con el crecimiento

económico y el aumento de la demanda energética. En el año 2015, Chile se comprometió en el Acuerdo de París a reducir la intensidad de las emisiones en un 30% si se mantienen los niveles de crecimiento económico, y hasta el 45% si se recibe asistencia financiera internacional, para el año 2030 (en relación con los niveles registrados el año 2007). Chile es un país que tiene vulnerabilidades con respecto a los efectos del cambio climático, por ejemplo, un posible aumento de riesgo de inundaciones, menor disponibilidad de agua, alteraciones en la producción agrícola, etc. Para enfrentar estas vulnerabilidades y las demás consecuencias del cambio climático, es necesario fomentar el trabajo conjunto entre el sector público, privado y de la sociedad civil para diseñar e implementar medidas de mitigación y adaptación [4].

El progresivo deterioro del medioambiente en Chile, la débil institucionalidad ambiental, la creciente conciencia y preocupación por estos problemas por parte de la población y los problemas relacionados al cambio climático, representan una oportunidad para que se decida impulsar el desarrollo biotecnológico en Chile; pues permite sofisticar la matriz productiva y con ello transformarla en una más sustentable, y diversificar la economía, permitiendo generar nuevas fuentes de ingreso lo cual podría reducir la dependencia de la explotación de recursos naturales. Sin embargo, si no se adoptan las medidas adecuadas, existe la amenaza de que los recursos humanos y financieros se orienten en reducir las consecuencias de un medioambiente más deteriorado aún y no en potenciar la innovación tecnológica.

3.8.3 Corrupción (F11)

La corrupción se puede entender como el abuso del poder público para obtener beneficio propio, lo cual sucede con distintos niveles de intensidad en todos los países del mundo. Algunos ejemplos son la malversación de fondos, la captura del Estado, el soborno o el nepotismo. La corrupción puede afectar negativamente en la confianza de la ciudadanía, en la disponibilidad de recursos públicos, al crecimiento económico [24] e incluso a la capacidad de combatir el cambio climático [71] y el acceso a la educación [72]. Desde el punto de vista internacional, según la Organización para la Transparencia Internacional, Chile ha mantenido un índice de corrupción relativamente constante, y comparativamente (ranking) ha mejorado su posición (Figura 61) [73]. Sin embargo, dentro de Latinoamérica, Chile es el segundo país después de Venezuela en donde un 80% de la población percibe que el nivel de corrupción ha aumentado en el último tiempo y el 68% piensa que los gobiernos están enfrentando este problema de manera deficiente [74].

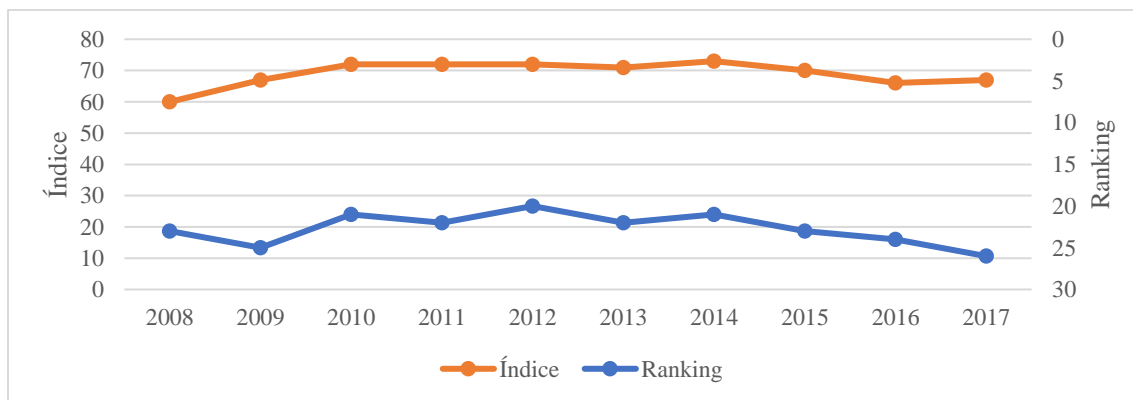


Figura 61: Índice y ranking de corrupción en Chile. A mayor índice, mayor corrupción. A menor ranking, mayor corrupción. Fuente: elaboración propia con los datos de la Organización para la Transparencia Internacional [73].

Según el Estudio Nacional de Transparencia del año 2017 del Consejo para la Transparencia, la percepción de la corrupción en organismos públicos alcanzó un máximo histórico de 7,2 (Figura 62). No existe información con respecto a la totalidad de fugas de dineros públicos debido a la corrupción en Chile, por lo que sería útil realizar tal estudio para conocer de manera precisa las consecuencias de la corrupción en el SIB. No es el objetivo de esta investigación profundizar en detalles en este aspecto, pero se dejan algunas referencias para ejemplificar [75] [76].

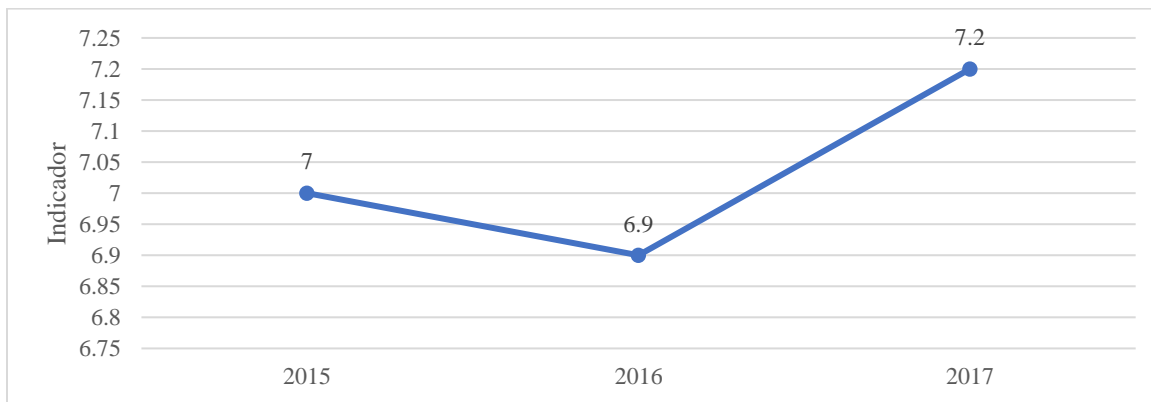


Figura 62: Nivel de percepción de corrupción en organismos públicos en Chile, en una escala entre 1 a 10, de nada a mucho nivel de corrupción. Fuente: elaboración propia con datos del Consejo de Transparencia [77].

Sin duda la corrupción es un problema que impacta negativamente a muchas de las funciones analizadas en este estudio y el país aún no logra estabilizar la situación. Sin embargo, es un problema ya diagnosticado y sentido por la población, por lo que existen condiciones para mejorar y con ello las condiciones de desarrollo del SIB.

3.8.4 Acceso desigual a la educación (F12)

Contar con un sistema educativo robusto es esencial para el desarrollo de los países, y es un factor importante que influye en el desempeño de distintas funciones, como la conciencia medioambiental, la creación de conocimiento, la experimentación, la disponibilidad de recursos humanos [24] e incluso en la generación de expectativas, debido a la dificultad de comprender el potencial de la biotecnología.

A modo introductorio, es importante tener en consideración los preocupantes resultados comparativos del Programa para la Evaluación Internacional de Competencias para Adultos (PIAAC) de la OCDE, en donde miden las competencias necesarias para una adecuada inserción a la sociedad y al mundo laboral, que evidencian la precaria condición educativa del país en el año 2015 (Figura 63), situación que tiene directa relación con el acceso o evolución en los distintos niveles del sistema educativo chileno (Figura 64), por lo que para mejorar estos indicadores es necesario promover aún más el acceso a estudios superiores (Figura 65).

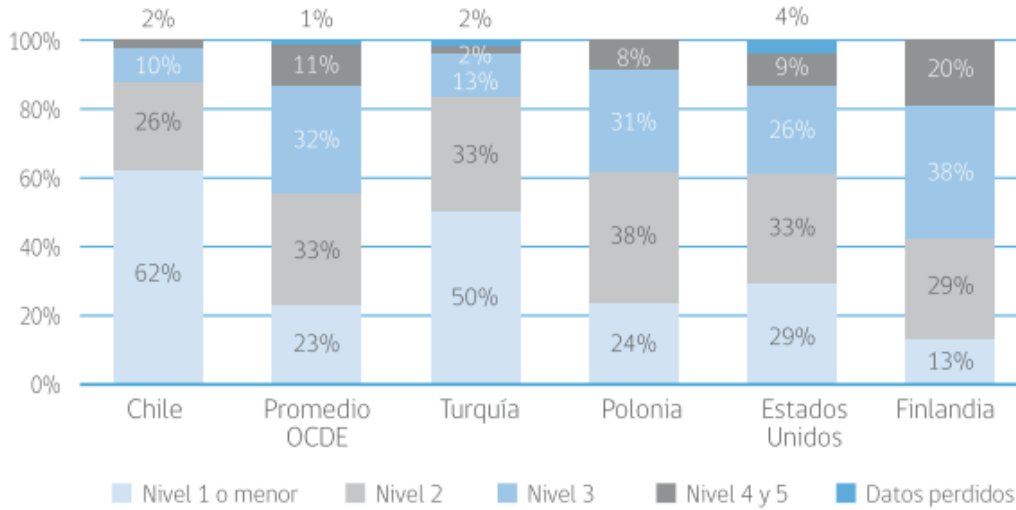


Figura 63: Resultados de la evaluación PIAAC en razonamiento matemático en adultos chilenos entre 25 y 64 años en el año 2015 [78].

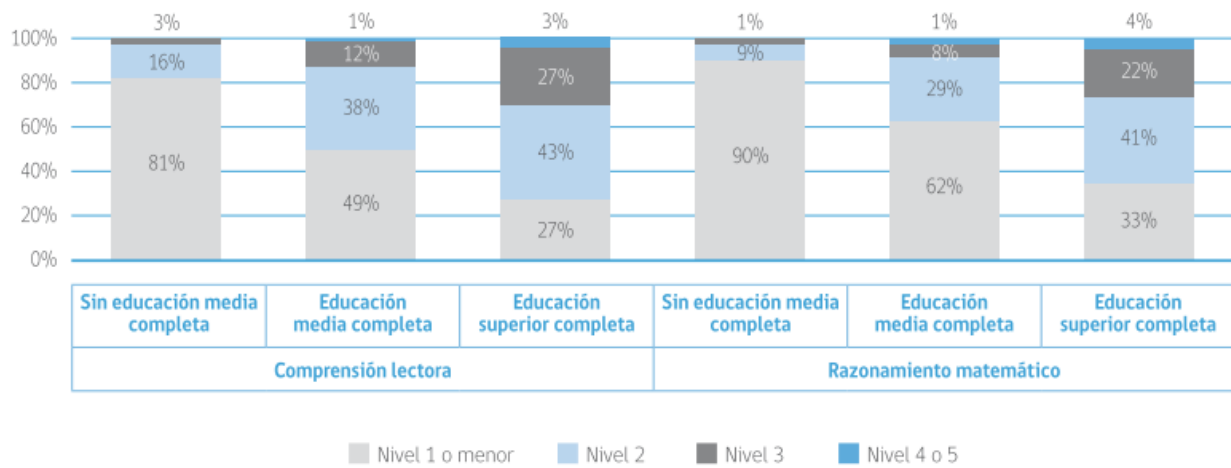


Figura 64: Porcentaje de adultos en cada nivel de desempeño por logro educacional según la evaluación del PIAAC en el año 2015 en Chile [78].

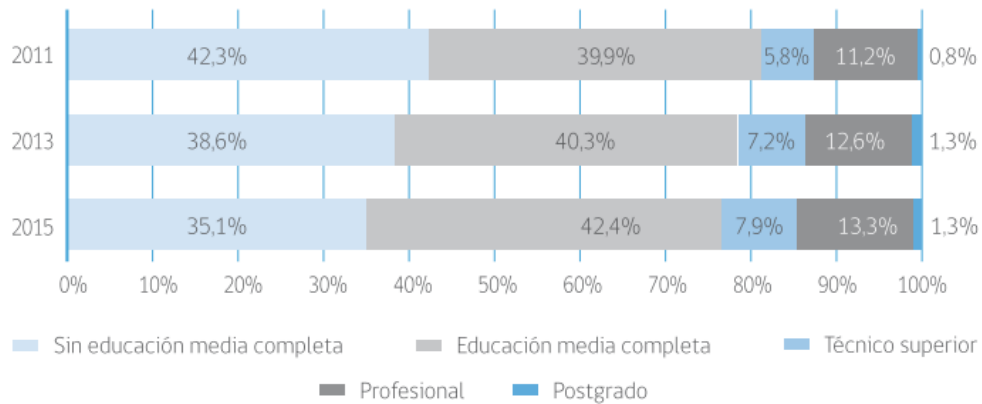


Figura 65: Nivel educacional máximo alcanzado por la población entre los años 2010 y 2015 en Chile [78].

Se evidencia una disminución en la cantidad de establecimientos educativos entre los años 2010 y 2016 (Tabla 15). La composición de la educación escolar es principalmente pública y particular subvencionada, mientras que en el nivel superior cerca del 90% corresponden a instituciones privadas, las cuales concentran cerca del 70% del total de la matrícula [78].

Tabla 15: Cantidad de establecimientos educativos separados por nivel entre el 2010 y el 2016 en Chile. Fuente: elaboración propia con datos del informe de Indicadores de la Educación en Chile 2010-2016 del MINEDUC [78].

Nivel	2010	2016
Básica	8.804	8.334
Media	2.717	2.947
Superior	175	152
Total	11.696	11.433

La matrícula en educación ha aumentado desde el 2010, sobre todo en educación superior, y las tasas de aprobación en general han aumentado. En cuanto a calidad, en educación superior se encuentra una mayor tasa de acreditación en las universidades del CRUCH en comparación con las demás universidades privadas y el aumento de publicaciones científicas es mucho mayor (cerca del 90%) [78].

En los últimos años, el presupuesto público destinado a educación ha aumentado paulatinamente (Figura 66), teniendo en cuenta la reciente implementación de la gratuidad en educación superior.

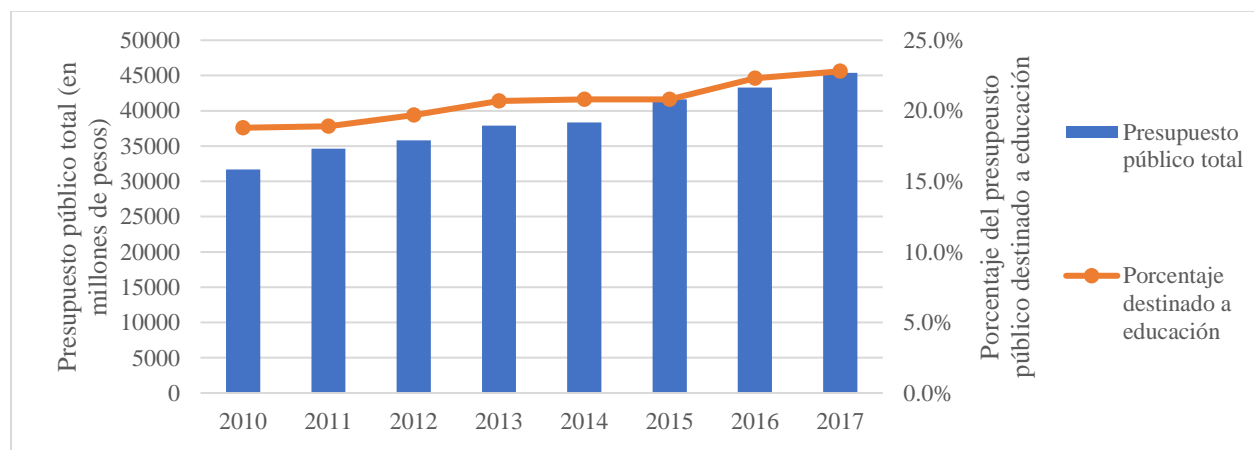


Figura 66: Evolución del presupuesto público total y el porcentaje destinado a educación. Fuente: elaboración propia con datos del informe de Indicadores de la Educación en Chile 2010-2016 del MINEDUC [78].

El 87,4% de las instituciones de educación básica y el 62,5% de las de educación media son gratuitas, asegurando un buen nivel de acceso y cobertura a la educación en estos niveles. Sin embargo, y a pesar de que el gasto en educación con respecto al PIB en Chile es superior comparativamente en relación con otros países, la gran mayoría del financiamiento de la educación superior proviene desde las familias y hogares, situación alejada del promedio de la OCDE [79]. Considerando los altos niveles de desigualdad en Chile, diagnosticados en la función de crecimiento económico, esta situación representa un problema de acceso a la educación superior. En efecto, según la Encuesta CASEN, entre los años 2011 y 2015, la principal razón (más del 50%) por la cual los jóvenes no ingresan a la educación superior es por razones económicas [78]. Los

principales instrumentos para garantizar el acceso a la educación superior utilizados en Chile son las becas y créditos, en donde destaca el Crédito con Aval del Estado por la gran cobertura e impacto que ha generado. Sin embargo, los 2.543.374 CAE aprobados hasta el año 2016, equivalente a 4,1 billones en créditos de los cuales el 90% fue transferido a instituciones privadas, generó que al 2011, la relación deuda/ingreso anual de los beneficiarios era de un 174%, realidad alejada a la de países de la OCDE (Alemania 14%, Estados Unidos 57% y Colombia 94%) [80]. Estas desigualdades han sido motor de distintas manifestaciones a nivel nacional desde el año 2011, las cuales promovieron la creación de una reforma al sistema educativo que busca alcanzar la gratuidad universal a la educación eventualmente.

Lograr contar con una población más educada por medio de garantizar el acceso a una educación de calidad, facilitaría el desarrollo del SIB y los objetivos de la tesis, ya que habría una mayor disponibilidad de personas en condiciones para sofisticar y diversificar la matriz productiva de manera sostenible. Los niveles de educación actuales en Chile son bajos, lo cual dificulta la comprensión de la biotecnología y con ello la generación de expectativas y la construcción de legitimidad. Además, los altos niveles de endeudamiento de los estudiantes dificultan su capacidad de emprender o experimentar con la biotecnología pues deben preocuparse además de pagar sus deudas.

4. Propuesta para el desarrollo SIB

Con el análisis individual de las funciones es posible comprender en mayor profundidad las fortalezas y debilidades de cada una y la evolución de los componentes del SIB, complementando así las conclusiones preliminares del Capítulo 2.5. Sin embargo, para poder generar líneas de acción que promuevan el desarrollo del SIB en base a los objetivos de la investigación, es necesario analizar la interrelación entre las funciones y cómo éstas se impactan la una a la otra, incluyendo también el impacto de las funciones que describen el contexto. Además, el análisis individual de cada función entrega información adicional sobre las demás.

Primero se obtiene un mapa relacional entre las funciones, el cual representa el desarrollo del SIB hasta la actualidad. Este mapa relacional es la base para identificar ciclos de retroalimentación positiva y negativa, los cuales se utilizarán para generar una propuesta de priorización de líneas de acción que permitan el desarrollo exitoso del SIB.

4.1 Desarrollo del SIB en base a la interrelación entre las funciones

Analizando los elementos de diagnóstico de cada función, de manera de identificar aquellos que han generado más impacto en las demás, se pueden conocer aquellas funciones que han sido más beneficiadas o más perjudicadas por las relaciones internas y externas del SIB. El fundamento de esta valoración lo entrega el marco teórico junto al análisis de las secciones 3 y 4, la cual se cuantifica en esquemas de influencia en una escala de -3 a 3, en donde, por ejemplo 1 representa un leve impacto positivo y -3 un alto impacto negativo. Estos niveles se simbolizan como (+) o (- - -), según corresponda. Cuando existan elementos positivos y negativos entre un mismo par de funciones, se valora de manera de obtener un promedio que sintetice el total.

F1 – Actividades de experimentación emprendedora

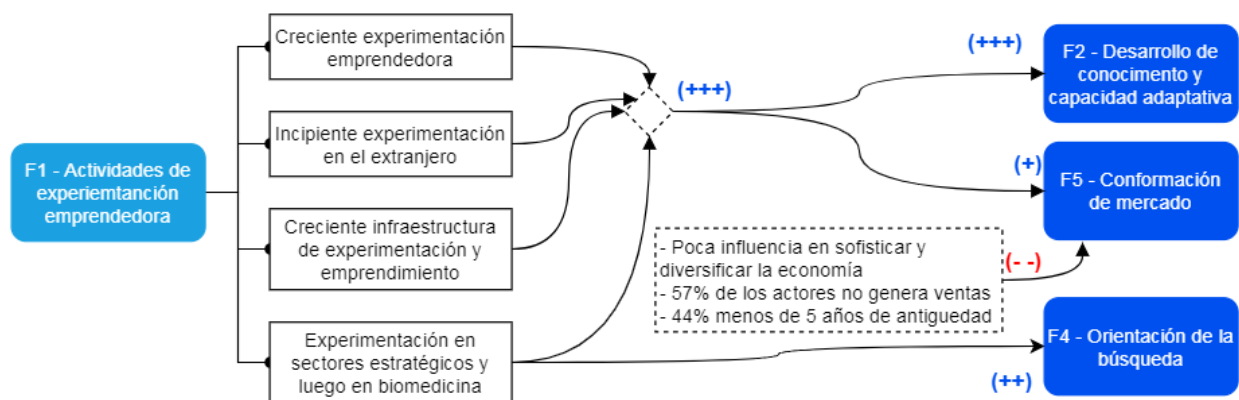


Figura 67: Esquema de influencia de la función 1.

La creciente disponibilidad de infraestructura de emprendimiento y la cantidad de experimentación y de emprendimientos biotecnológicos, los cuales también han logrado llegar al extranjero de manera incipiente, han permitido fortalecer las funciones 2 y 5. Sin embargo, esta experimentación aún no ha logrado aportar significativamente en sofisticar y diversificar la matriz productiva chilena, lo cual debilita su impacto positivo en torno a los objetivos del estudio. Además, se sabe que actualmente solo el 57% de las empresas del SIB no genera ventas y el 44% se crearon hace

menos de 5 años, por lo que se encuentra aún en un estado experimental, debilitando su aporte al mercado (F5). Por otro lado, la experimentación exitosa mediante la creación de consorcios también formó parte de los aprendizajes en el país para utilizar la biotecnología en los sectores estratégicos. La experimentación se fue enfocando cada vez más hacia la biomedicina, lo cual influyó en el planteamiento de los últimos objetivos nacionales sobre biotecnología (F4), los cuales son aún muy recientes como para analizar su resultado. En síntesis, se puede afirmar que esta función ha aportado de manera positiva al desarrollo biotecnológico nacional.

F2 – Desarrollo de conocimiento y capacidad adaptativa

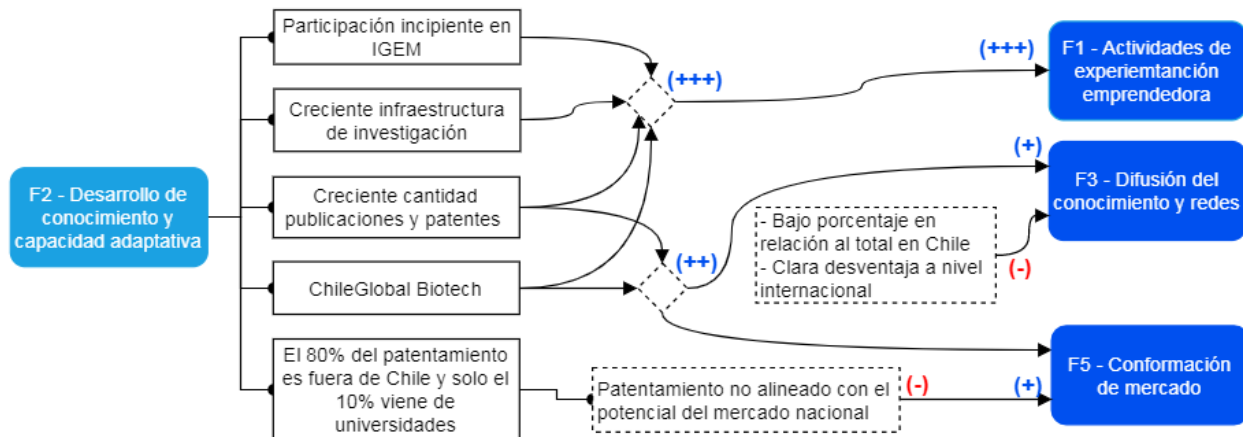


Figura 68: Esquema de influencia de la función 2.

En Chile se genera cada vez más conocimiento biotecnológico, principalmente en universidades o centros de investigación, cuya infraestructura también ha tenido una tendencia creciente. Esto ha favorecido la experimentación en biotecnología (F1). Se destaca la creación de ChileGlobal Biotec, lo cual ha permitido crear relaciones embrionarias con espacios de desarrollo biotecnológico en Estados Unidos, lo cual también ha servido para adaptar los conocimientos extranjeros sobre el tema. Además, esta iniciativa también ha generado algunas redes y espacios de diálogo para la difusión del conocimiento biotecnológico (F3).

Por otro lado, la cantidad de patentes chilenas y las publicadas en el país han aumentado en el tiempo. Sin embargo, el 80% del patentamiento chileno se publica fuera del país, con mayor preponderancia en Estados Unidos, lo cual también tiene relación con la iniciativa de ChileGlobal Biotec. Este 80% de patentamiento chileno fuera de Chile evidencia que el potencial del mercado nacional en biotecnología no ha sido promovido ni aprovechado de la mejor manera, afectando a la generación de mercado biotecnológico en Chile en base a los objetivos de este estudio (F5). Finalmente, si se compara el crecimiento del patentamiento y las publicaciones científicas con otros países, Chile está aún en desventaja. Por lo tanto, es posible concluir que esta función ha sido un aporte para el desarrollo del SIB.

F3 – Difusión del conocimiento y redes

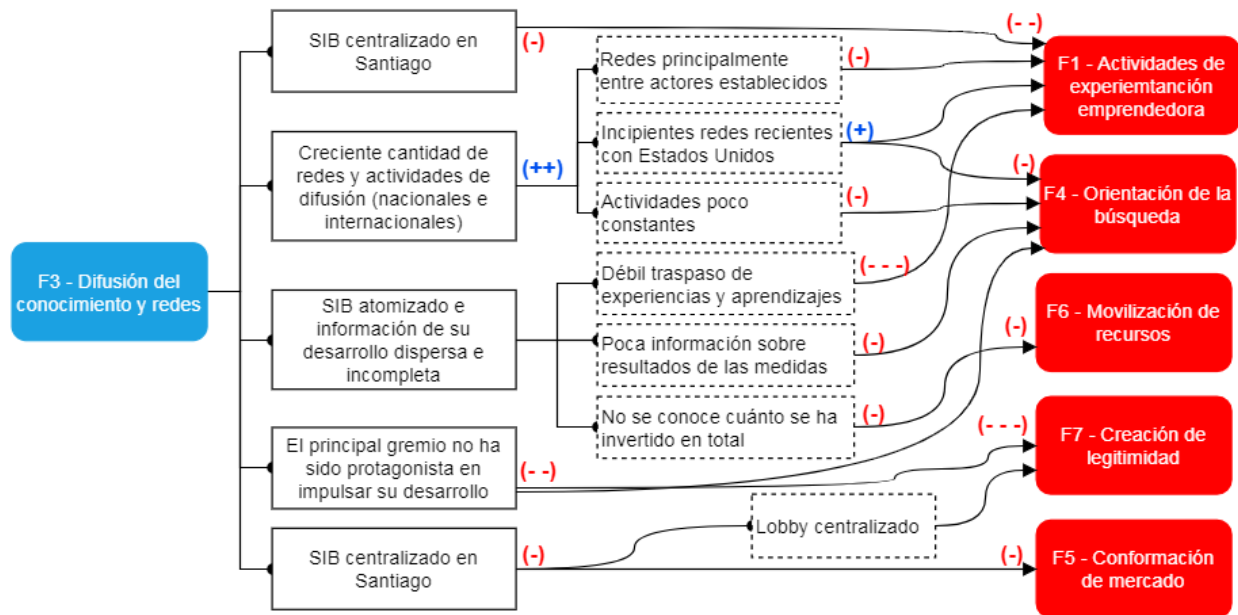


Figura 69: Esquema de influencia de la función 3.

La centralización del SIB ha dificultado la creación de redes y la difusión de la biotecnológica desarrollada en el país. Esto se ha reflejado en la experimentación, en donde el traspaso de experiencias permite fortalecer los emprendimientos (F1), y también en la conformación de mercado (F5), la cual se encuentra principalmente en la Región Metropolitana y no en las regiones que es en donde se desarrollan los sectores estratégicos de la economía chilena. Por otro lado, la atomización y la dispersión de información sobre la biotecnología en Chile también han afectado negativamente en el intercambio de experiencias y aprendizajes (F1), en el planteamiento de mejoras o correcciones a los objetivos nacionales en cuanto a biotecnología (F4) y en decisiones de presupuesto (F6). A pesar de esto, la cantidad de redes nacionales e internacionales en torno a la biotecnología junto a las actividades de difusión han aumentado en el país, sobre todo con Estados Unidos, lo cual ha permitido aportar en la experimentación biotecnológica principalmente (F1). Sin embargo, estas redes por lo general se componen o participan los actores ya establecidos y la mayoría de las actividades de difusión no se realizan de manera periódica, dificultando así en mejorar el alto nivel de atomización del SIB. Finalmente, el principal gremio del SIB, ASEMBIO, no ha sido un actor relevante en el desarrollo del SIB ni en el cumplimiento de los objetivos nacionales (F4), lo cual perjudica el desempeño de la construcción de legitimidad de la biotecnología, función que además se ha visto perjudicada por la centralización del SIB (F7). Este esquema de influencia indica que el desempeño deficiente de esta función ha perjudicado el desarrollo del SIB.

F4 – Orientación de la búsqueda

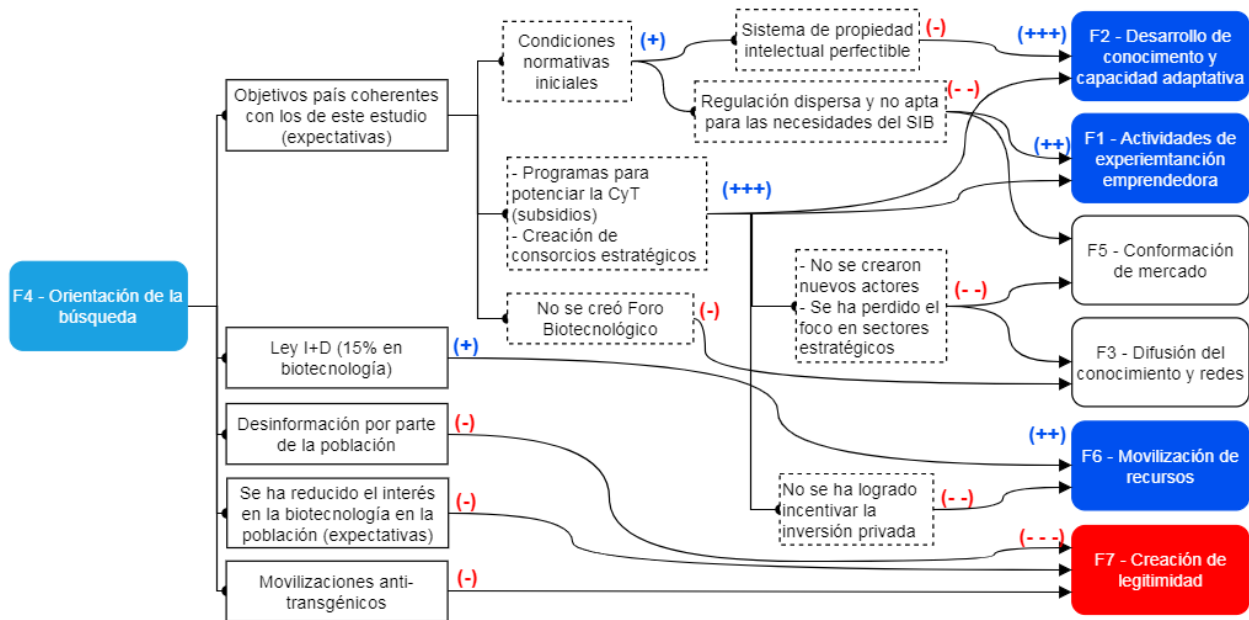


Figura 70: Esquema de influencia de la función 4.

Han existido 2 momentos en donde se han planteado objetivos nacionales para impulsar el desarrollo biotecnológico en el país. El primero fue la Política Nacional en Biotecnología del año 2003, en donde se propusieron objetivos ambiciosos coherentes con los objetivos de este estudio, los cuales no se implementaron por completo, pero si lograron crear un entorno normativo inicial para la biotecnología. Estas normativas no han sido relevantes para el desarrollo biotecnológico en cuanto a la experimentación y creación de conocimiento (F1 y F2), dado que el sistema de propiedad intelectual es aún débil, y porque la regulación biotecnológica se encuentra dispersa en distintas instituciones y no es adecuada para las necesidades del SIB. El segundo momento fue la creación de la Estrategia en Biotecnología al 2030 que se publicó en el año 2018 (15 años después) con la realización del IFIe en Biotecnología de CORFO y AMCHAM, el cual aún no se ha implementado. La primera propuesta para el desarrollo biotecnológico nacional impulsó la creación de programas y consorcios tecnológicos, los cuales si han aportado de manera relevante en la experimentación y desarrollo de conocimiento (F1 y F2), pero no así en la conformación de mercado (F5) o en la difusión de la biotecnología nacional (F3) ya que no se promovió la creación de nuevos actores empresariales y no se persistió en sofisticar y diversificar los sectores estratégicos de la economía chilena. Además, tampoco se creó el Foro Biotecnológico, espacio que habría permitido suplir el rol que no logró realizar ASEMBIO (F3). Lo anterior hace que la influencia de esta función sobre F5 y F3 no sea relevante. La Política Nacional en Biotecnología del 2003 también significó un aumento de recursos financieros y humanos (con la generación de expectativas) para el SIB, a pesar de que no se ha logrado fomentar la inversión privada (F6). Otro factor que ha aportado en la movilización de recursos para el desarrollo biotecnológico es la Ley I+D, en donde el 15% de quienes han utilizado este incentivo tributario han desarrollado biotecnología (F6). Por otra parte, la desinformación o poca educación de la población sobre ciencia y tecnología (y por tanto sobre biotecnología), la reducción del interés sobre el tema a lo

largo de los años y las movilizaciones anti-transgénicos que han generado desconfianza y desinformación, han perjudicado la legitimidad de la biotecnología en el país (F7). Se concluye entonces que esta función ha tenido un impacto positivo en el desarrollo del SIB, aunque existen bastantes debilidades que han limitado su influencia.

F5 – Conformación de mercado

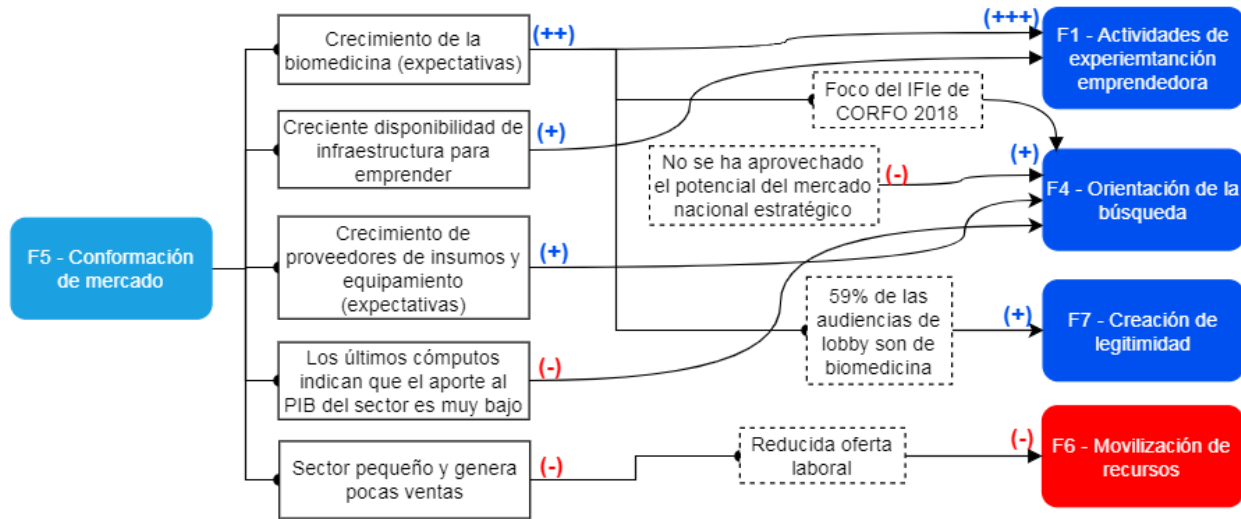


Figura 71: Esquema de influencia de la función 5.

El crecimiento de la biomedicina en el mercado chileno ha permitido potenciar tanto la experimentación (F1), la creación de legitimidad (F7) (el 59% de las audiencias de lobby en biotecnología son en biomedicina) y también en la orientación de la búsqueda ocupando el foco principal en el IFIe 2018 de CORFO, a pesar de que no se ha aprovechado el potencial del mercado biotecnológico en los sectores estratégicos (F4). También existe cada vez más disponibilidad de infraestructura para emprendimientos (F1) y el desarrollo del SIB en el mercado también ha implicado un pequeño aumento de empresas de insumos y equipamiento biotecnológico, lo cual también genera expectativas (F4). Sin embargo, los últimos cálculos sobre las ventas del SIB indican un muy bajo aporte al PIB nacional, lo cual reduce el interés en la biotecnología y perjudica la generación de expectativas (F4). Por otro lado, el hecho de que el SIB sea tan pequeño, aunque vaya en crecimiento, ha significado una oferta laboral reducida para la creciente cantidad de profesionales del sector (F6). Por tanto, es posible concluir que esta es una función que ha tenido una influencia positiva en el desarrollo del SIB, pero aún muy reducida.

F6 – Movilización de recursos

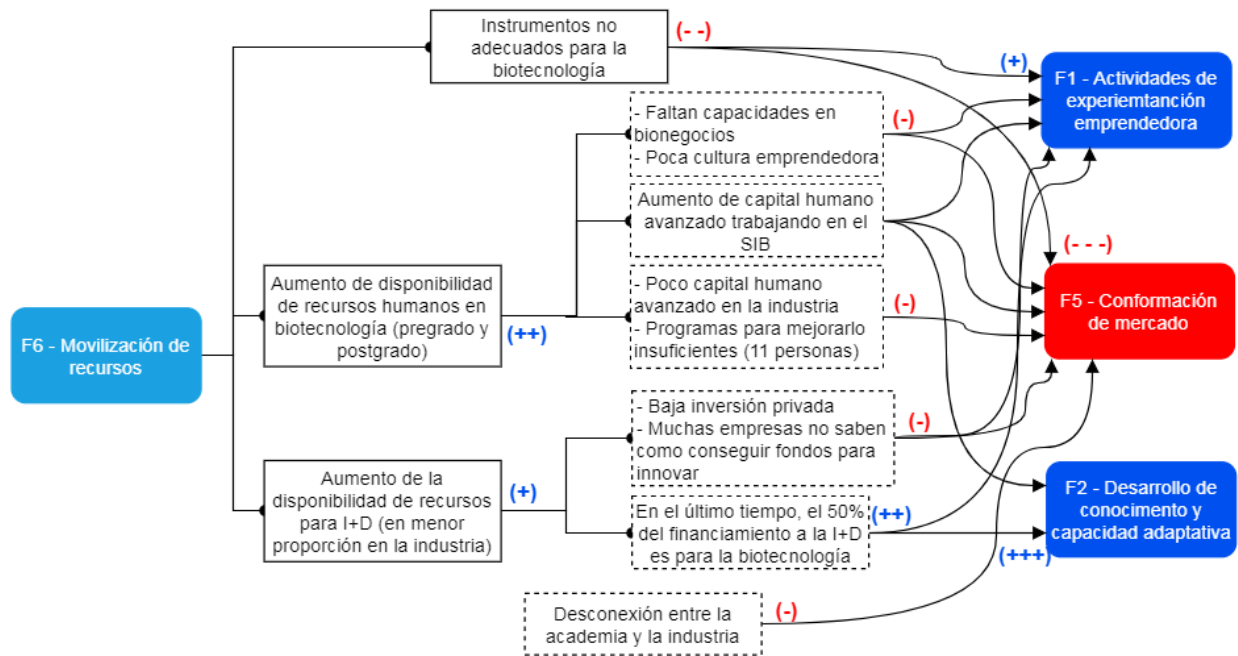


Figura 72: Esquema de influencia de la función 6.

Los instrumentos que existen para el desarrollo de la ciencia y tecnología no son adecuados para los exigentes requerimientos del desarrollo biotecnológico, lo cual ha afectado negativamente en la experimentación (F1) y en la conformación de mercado (F5). Por otro lado, el SIB ha contado con una creciente disponibilidad de recursos humanos en biotecnología junto a un aumento de la cantidad de trabajadores en el SIB en el último tiempo, tanto a nivel de pregrado como postgrado, lo cual ha impactado positivamente en la experimentación (F1), desarrollo de conocimiento (F2) y conformación de mercado (F5). Sin embargo, se ha evidenciado una falta de competencias en bionegocios y poca cultura emprendedora en Chile, es decir, existen pocas capacidades para traducir invenciones biotecnológicas en resultados exitosos en el mercado (F1). Otra debilidad de la industria chilena y también del SIB es la poca presencia de capital humano avanzado trabajando en la industria, y los programas que se han implementado han entregado resultados de poco impacto (solamente 11 personas en el sector biotecnológico). Estos puntos, además de la desconexión que existe entre la industria y la academia han perjudicado la conformación de mercado biotecnológico (F5).

Por otro lado, ha aumentado la disponibilidad de recursos financieros para el desarrollo de ciencia y tecnología y con ello también para el desarrollo del SIB (según CORFO, el 50% de estos fondos han sido utilizados en aplicaciones biotecnológicas), lo cual ha beneficiado la experimentación y desarrollo de conocimiento (F1 y F2). Esta creciente disponibilidad de recursos no ha tenido el mismo impacto en la conformación de mercado, en donde la inversión privada sigue estando muy por debajo de los estándares internacionales y aún muchas empresas no saben cómo conseguir fondos para innovar (F5). En síntesis, esta es una función de gran influencia, pero con deficiencias que no permiten que genere los beneficios esperados.

F7 – Creación de legitimidad

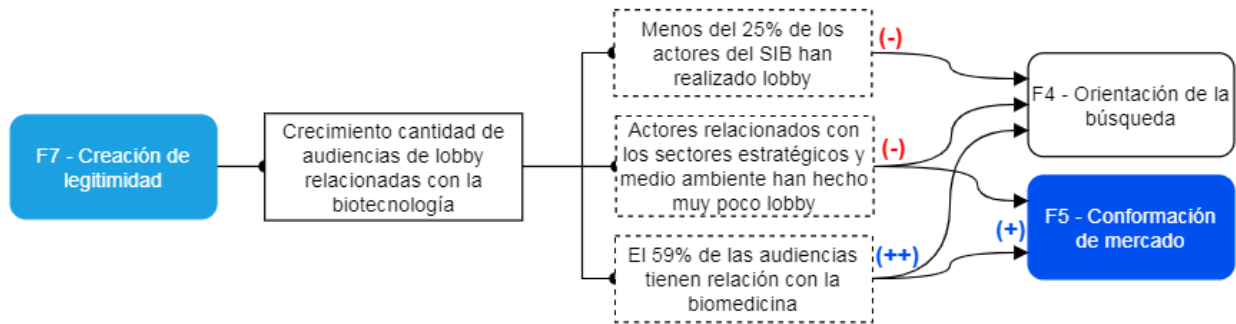


Figura 73: Esquema de influencia de la función 7.

Desde el año 2014, han aumentado las audiencias de lobby relacionado con la biotecnología. Sin embargo, menos del 25% de los actores del SIB han realizado audiencias de lobby. Además, existen pocos actores biotecnológicos relacionados a los sectores estratégicos y al medioambiente que hayan realizado lobby. Esto ha dificultado el desempeño de la función de orientación de la búsqueda (F4) y perjudicado la conformación de mercados relacionados a los objetivos de este estudio (F5). Sin embargo, el 59% de las audiencias fueron en biomedicina, lo cual ha beneficiado a ambas funciones. Por lo tanto, esta función ha tenido muy poco impacto en el desarrollo del SIB en Chile.

F8 – Crecimiento económico

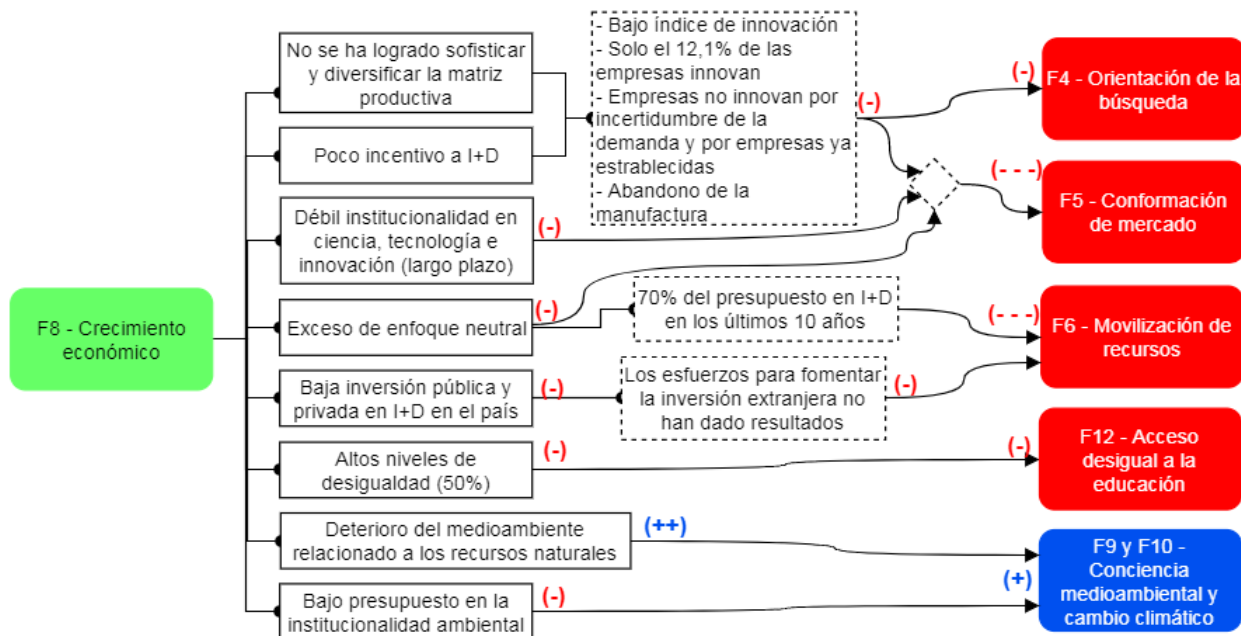


Figura 74: Esquema de influencia de la función 8.

El abandono de la manufactura y la preponderancia de la extracción de recursos naturales sin valor agregado es la forma en que ha crecido la economía chilena, la cual no ha incentivado la sofisticación y diversificación de la matriz productiva del país. Existe una débil cultura de

innovación y solo el 12,1% de las empresas realizan I+D, lo cual también se ve reflejado en la disminución del índice internacional en innovación. Por otro lado, recién en el año 2018 se comenzó a crear un Ministerio de ciencia, tecnología e innovación. Esto ha perjudicado el desempeño de la orientación de la búsqueda (F4) y la conformación de mercado (F5), ya que la biotecnología es por esencia una disciplina que demanda altos niveles de conocimiento científico y tecnológico. Además, el enfoque neutral con el que se ha fomentado el desarrollo de la tecnología en la industria chilena es excesivo, ya que limita la disponibilidad de recursos económicos (F6) para el desarrollo estratégico de largo plazo que requiere la innovación (F5). En la misma línea, la inversión pública y privada en I+D es muy baja en comparación a los países de la OCDE y la idea de fomentar la inversión extranjera no ha entregado resultados exitosos en materia de innovación (F6).

Por otro lado, la economía chilena es bastante desigual, lo cual impacta negativamente en el acceso a la educación. Además, la sobreexplotación de recursos naturales ha generado daños medioambientales a lo largo de todo el país, lo cual ha promovido la existencia de conflictos socioambientales que han aportado en concientizar a la población sobre la importancia de la sustentabilidad. Sin embargo, la reciente y débil institucional ambiental del país no cuenta con el presupuesto necesario para promover el desarrollo sustentable (F9 y F10). Se puede concluir que esta es una de las funciones que más influencia tiene en el SIB, y que su precario desempeño en base a los objetivos del estudio hacen que tenga un impacto principalmente negativo.

F9 y F10 – Conciencia medioambiental y cambio climático

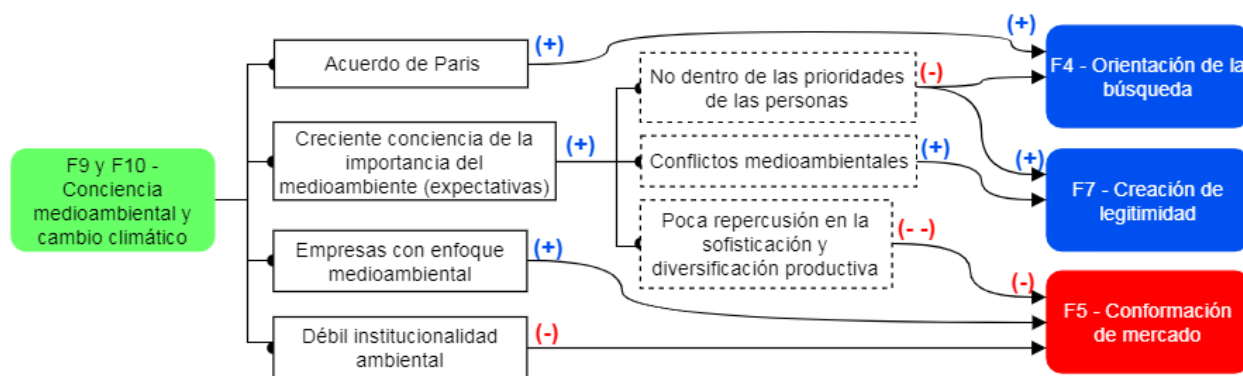


Figura 75: Esquema de influencia de las funciones F9 y F10.

Chile firmó el Acuerdo de Paris, en donde se propuso aportar en la disminución de GEI para combatir el cambio climático, lo cual ha permitido generar conciencia sobre la importancia del desarrollo sustentable y por lo tanto generar expectativas (F4). La sociedad chilena es cada vez más consiente de la importancia del medioambiente, aunque no dentro de sus prioridades, lo cual repercute en la orientación de la búsqueda (F4) y en la creación de legitimidad (F7). También impacta en legitimidad, la creciente cantidad de conflictos socioambientales que han ocurrido y siguen ocurriendo en el país, aunque estos no han impulsado con fuerza la necesidad de la sofisticación y diversificación productiva (F5). Además, existen cada vez más empresas con enfoque medioambiental, incluyendo empresas biotecnológicas. Sin embargo, la débil institucionalidad ambiental es un síntoma de la alta dificultad para la generación de incentivos

para el desarrollo sustentable en el mercado (F5). Esta función, por lo tanto, es débil en cuando a su impacto en el SIB, lo cual perjudica a uno de los objetivos de este estudio.

F11 – Corrupción

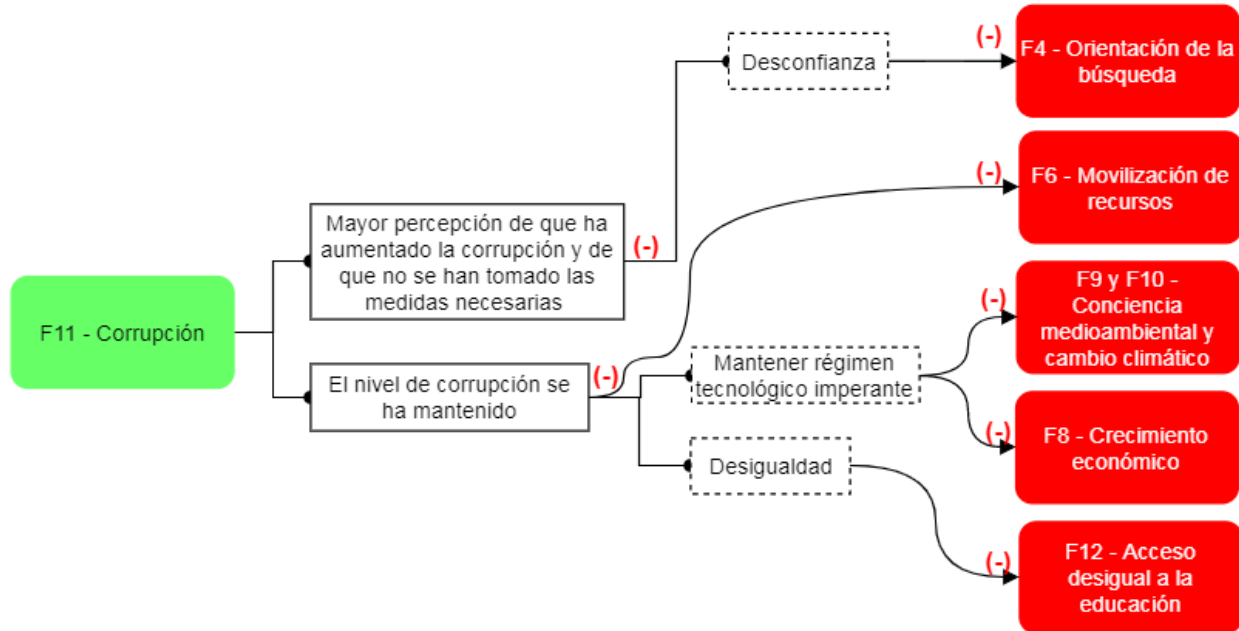


Figura 76: Esquema de influencia de la función 11.

Según indicadores oficiales, el nivel de corrupción en Chile se ha mantenido estable. Sin embargo, ha aumentado la percepción por parte de la población de que existe mayor corrupción y que no se han tomado las medidas necesarias para combatirla. No se profundizó en detalle cómo la corrupción ha impactado en el desarrollo específico del SIB, por lo que a partir de la información general encontrada se concluye un impacto negativo en las funciones de la Figura 75 de acuerdo con lo indicado en el marco teórico sobre esta función, el cual por supuesto tiene un impacto negativo.

F12 – Acceso desigual a la educación

En Chile, la mayoría de las instituciones de educación superior, y en donde se concentra la gran mayoría de la matrícula, es en instituciones privadas. Estas por lo general tienen una mala calidad en cuanto a cantidad de publicaciones científicas, lo cual impacta negativamente en el desarrollo de conocimiento (F2). Además, a pesar de que el presupuesto en educación ha aumentado (F6), el alto porcentaje de deuda con el que egresan los estudiantes, sobre todo desde instituciones privadas, dificultan la posibilidad de desarrollar conocimiento biotecnológico (F2) y la experimentación (F1), ya sea por falta de tiempo o recursos. Sobre todo, considerando que la gran mayoría del financiamiento de la educación proviene de las familias (F6). Por otro lado, el nivel educativo de la población chilena es bajo en comparación con otros países, y aunque está mejorando, dificulta la comprensión de los beneficios de la biotecnología (F4) y del desarrollo sustentable (F9 y F10).

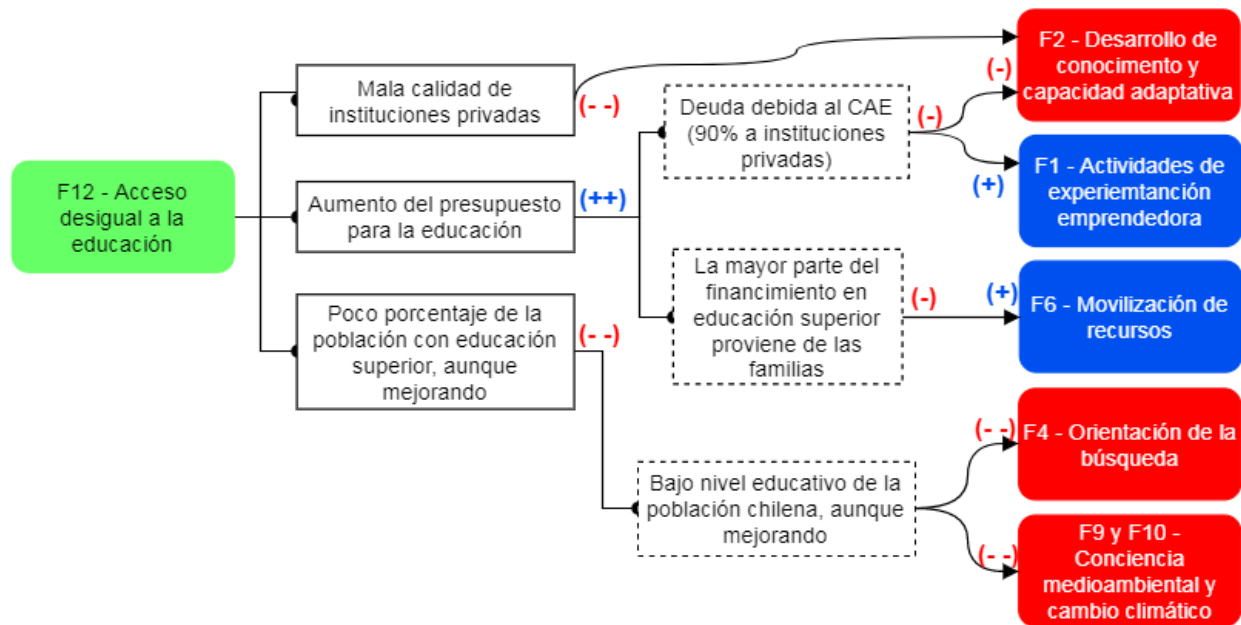


Figura 77: Esquema de influencia de la función 12.

Mapa relacional entre funciones

A partir de los esquemas de influencia se obtiene la matriz de la Tabla 16, en donde es posible conocer de manera cuantitativa el nivel de influencia de cada función junto el estado resultante de cada una de ellas.

Tabla 16: Matriz relacional entre las funciones internas y externas. El nivel corresponde a la influencia total de cada función, independiente de la valoración, y el valor es la suma de cada influencia de acuerdo con su influencia positiva o negativa. SIB corresponde al estado de cada función con respecto a las relaciones internas, Contexto representa el estado de cada función con respecto a las relaciones externas, y Total es la suma de ambos valores.

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9-F10	F11	F12	Nivel	Valor
F1		(+++)		(++)	(+)							6	6
F2	(+++)		(+)		(+)							5	5
F3	(--)			(-)	(-)	(-)	(---)					8	-8
F4	(++)	(+++)				(++)	(---)					10	4
F5	(+++)			(+)		(-)	(+)					6	4
F6	(+)	(+++)			(--)							7	1
F7					(+)							1	1
F8				(-)	(---)	(---)			(+)		(-)	9	-7
F9-F10				(+)	(-)		(+)					3	1
F11				(-)		(-)		(-)	(-)		(-)	5	-5
F12	(+)	(-)		(--)		(+)	(-)		(--)			8	-4
SIB	7	9	1	2	-1	0	-5						
Contexto	1	-1	0	-3	-4	-3	0	-1	-2	0	-2		
Total	8	8	1	-1	-5	-3	-5						

Se puede apreciar que las funciones relacionadas con la experimentación (F1) y creación de conocimiento (F2) han sido al mismo tiempo las más beneficiadas por el resto y las que más han influenciado al SIB de manera positiva. Estas funciones son la base que sostiene al ecosistema y

es en donde existe la mayor cantidad de actores desarrollando biotecnología, considerando que la mayoría de este trabajo no ha logrado aún ingresar al mercado de manera relevante.

La función relacionada con la difusión del conocimiento y creación de redes (F3) es la que más ha influenciado negativamente al SIB. Esto se debe, en parte, a que el resto de las funciones prácticamente no han tenido un impacto relevante en su desarrollo, ya sea de manera positiva o negativa, por lo que ha sido el aspecto al que se le ha dado menos relevancia.

La orientación de la búsqueda (F4) es la función que mayor influencia ha tenido en el SIB, mientras que el resto de las funciones internas no la han influenciado de manera determinante. Sin embargo, ha presentado deficiencias que no le han permitido explotar todo su potencial, lo cual en parte se debe a la influencia negativa que las funciones del contexto han tenido sobre ella.

La conformación de mercado (F5) es una de las funciones que ha sido más afectada negativamente por el SIB, especialmente de parte de las funciones externas. A pesar de esto, es una función que ha aportado positivamente al desarrollo del SIB, por lo que es una función que tiene mucho potencial.

La movilización de recursos (F6) también ha sido un pilar fundamental para el desarrollo del SIB. Sin embargo, su aporte se vio limitado principalmente por la influencia negativa de las funciones del contexto, minimizando su potencial.

La creación de legitimidad (F7) es la otra función más perjudicada por el resto de las funciones del SIB, y por tanto es la que menos ha influido en el desarrollo del ecosistema, siendo una función cuyo potencial no se ha explorado.

Las funciones del contexto, por otro lado, en promedio han tenido una influencia negativa en el SIB, sobre todo la función de crecimiento económico (F8) en donde se ha mantenido la matriz productiva basada en la exportación de recursos naturales sin valor agregado. Las funciones relacionadas con el aspecto medioambiental (F9 y F10) no han tenido mayor relevancia, lo cual ha perjudicado el desarrollo del SIB dentro de los objetivos de este estudio. Por otro lado, el nivel educacional (F12) de la población chilena también resulta ser un factor determinante en el correcto desarrollo del SIB y hasta ahora ha tenido un impacto negativo.

Con la información de la Tabla 16 se obtiene un mapa que representa las relaciones de mayor nivel de influencia (2 y 3) entre las funciones, lo cual permite identificar y analizar los ciclos de retroalimentación (Figura 78). Del mapa relacional se puede desprender un ciclo de retroalimentación positiva, determinado por el buen desempeño de la creciente experimentación y emprendimiento biotecnológico, con experiencia en los sectores económicos asociados a recursos naturales y más recientemente en biomedicina (F1), se ha retroalimentado de manera positiva con la creciente capacidad y conocimiento biotecnológico desarrollado en el país (F2), en donde ambos aspectos muchas veces son realizados incluso por los mismos actores y en la misma infraestructura.

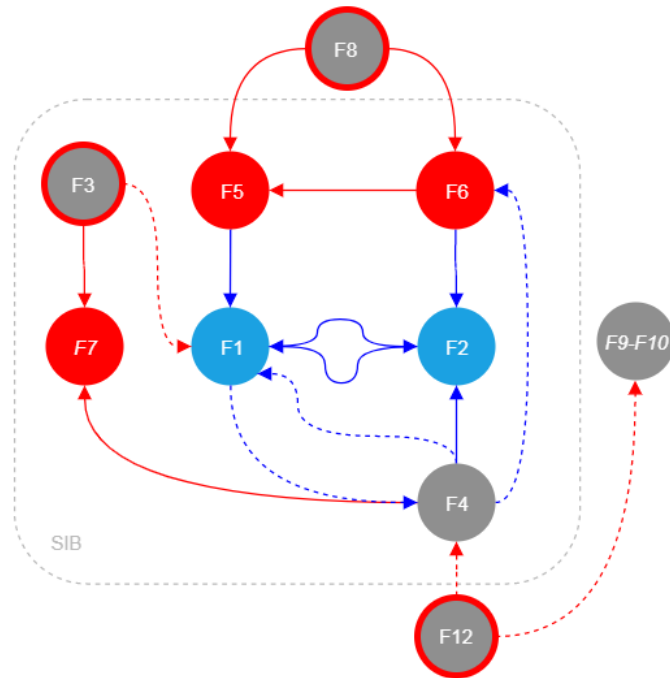


Figura 78: Mapa relacional entre funciones de mayor nivel de influencia. Las funciones de color celeste son las funciones más beneficiadas del SIB y las rojas las más perjudicadas. Las funciones con bordes rojos son aquellas que más perjudican al SIB. Las flechas continuas representan un nivel 3 de influencia y las intermitentes nivel 2. Las flechas azules representan influencia positiva y las rojas una influencia negativa.

Esta retroalimentación ha sido posible principalmente gracias a los esfuerzos realizados por el Estado desde poco antes del año 2003, que permitieron la creación de un marco normativo inicial, programas científicos y tecnológicos y la creación de consorcios estratégicos (F4). Además, este impulso aumentó la disponibilidad de recursos financieros y humanos (F6), los cuales han sido necesarios para sostener el desarrollo de conocimiento (F2). Complementariamente, el aumento de la relevancia de la biomedicina en el mercado de la biotecnológica junto a la creciente disponibilidad de infraestructura para emprender (F5), han influido en el crecimiento de la experimentación relacionada a la biomedicina (F1), lo cual a su vez también ha influido en la generación de expectativas y motivado la orientación de la búsqueda (F4) para desarrollar su potencial.

Según el mapa relacional, las actividades del SIB hasta la fecha no han generado ciclos de retroalimentación negativa, sino que más bien existen funciones cuyo desempeño (o nula presencia) ha impuesto dificultades para el desarrollo del SIB. Para analizar este fenómeno se debe notar que las funciones más afectadas por las relaciones funcionales son la conformación de mercado (F5) y creación de legitimidad (F7), seguidas de la movilización de recursos (F6).

Internamente, la difusión de conocimiento y la creación de redes (F3) es la función que más perjudica al SIB. A pesar de que ha existido una creciente cantidad de eventos biotecnológicos nacionales e internacionales y actores que han trabajado por una mayor interacción del ecosistema, las redes que han existido han estado enfocadas más hacia los actores ya establecidos que a los nuevos, aspecto que si se le suma la alta centralización y atomización del SIB, no han permitido el correcto traspaso de experiencias y aprendizajes necesarias para desarrollar de mejor manera la

experimentación emprendedora (F1), retrasando a su vez la conformación de mercados (F5). Por otro lado, el centralismo y atomización del SIB, lo cual se potencia por la inexistencia de un gremio u organismo representativo con la capacidad de articular al SIB, dificulta la creación de legitimidad (F7); aspecto necesario para generar expectativas sobre el potencial de la biotecnología y así promover la orientación la búsqueda (F4), la capacidad de hacer lobby para una mayor disponibilidad de recursos (F6) o para promover mejores condiciones que incentiven la conformación de mercado (F5). Por lo tanto, la difusión de conocimiento y la creación de redes es un aspecto prioritario que fortalecer para el desarrollo exitoso del SIB.

Externamente, en el crecimiento económico chileno ha predominado el carácter basado en la explotación y exportación de recursos naturales, perjudicando la posibilidad de una industrialización basada en el desarrollo de la ciencia y la tecnología de manera de lograr agregar valor mediante la sofisticación y diversificación de la matriz productiva de manera sostenible (F5). Nótese que la poca inversión pública y privada en I+D (tanto nacional como extranjera) junto a la excesiva aplicación de un enfoque neutral para la asignación de recursos (F6), resulta en una baja disponibilidad de recursos basales con perspectiva estratégica; requerimiento indispensable para la conformación de mercados altamente demandantes de tecnología como es el caso de la biotecnología (F5). Por otro lado, las condiciones actuales de acceso a la educación y su calidad han aportado, en parte, al bajo nivel educativo de la población chilena. Esto ha impedido alcanzar mayores niveles de conciencia sobre la importancia del desarrollo sostenible (F9 y F10) y comprender la importancia de la aplicación de la ciencia y tecnología en la industria nacional (F4), lo cual a su vez ha influido en la desinformación y reducción del interés con respecto a la biotecnología, perjudicando la creación de legitimidad (F7).

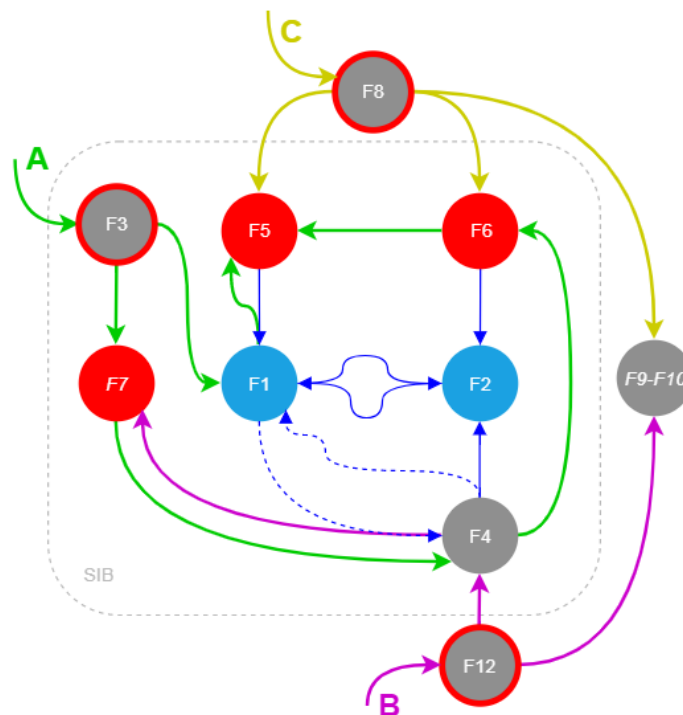


Figura 79: Mapa relacional de las funciones y los ciclos de retroalimentación positiva que se busca promover con la propuesta de medidas.

Por lo tanto, la propuesta de líneas de acción se debería enfocar de manera prioritaria en el fortalecimiento de la difusión del conocimiento y la creación de redes (F3) (Figura 79, A), lo cual no solo logrará fortalecer el ciclo ya existente con los beneficios hacia la experimentación emprendedora (F1), sino que además crear un nuevo ciclo de retroalimentación positiva potenciando la creación de legitimidad (F7), la cual promoverá a su vez aprovechar el potencial de la orientación de la búsqueda (F4) y la movilización de recursos (F6), con lo que se asegura contar con las condiciones adecuadas para la conformación de mercados biotecnológicos de mayor relevancia (F5). Las líneas de acción que den vida a este nuevo ciclo deberían también apuntar a mejorar el desempeño de las funciones externas, en particular la del crecimiento económico (F8) (Figura 79, C) y el acceso a la educación (F12) (Figura 79, B), con lo cual no solo se fortalecen F7, F5 y F6, sino que también la perspectiva sostenible para desarrollo en el país (F9 y F10).

4.2 Líneas de acción

A continuación, se enumeran una serie de líneas de acción que buscan generar los ciclos de retroalimentación positiva representados como A, B y C en la Figura 79.

1 (A). Crear un espacio de encuentro, vinculado con CORFO, que sea capaz de coordinar, articular y representar a la totalidad del SIB y sus necesidades de desarrollo ante el sector público, privado y la sociedad civil (F7). Este rol debiese ser ocupado por el Centro Traslacional en Biotecnología propuesto recientemente en la Estrategia en Biotecnología al 2030, en donde actores como el Centro de Biotecnología y Bioingeniería (CeBiB) podrían cumplir un rol articulador protagónico por su presencia en universidades prestigiosas ubicadas en distintas regiones del país. De no ser posible crear un nuevo espacio u coordinación, el Estado debe ampliar las atribuciones de CORFO para que pueda realizar sus funciones mientras se configura un nuevo actor. A continuación, se enumeran los desafíos de los cuales este espacio de coordinación se debe hacer responsable de implementar:

- i. Visibilizar y defender, a lo largo de todo Chile, el desafío de potenciar el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación – teniendo como prioridad la biotecnología – para lograr sofisticar y diversificar la matriz productiva nacional de manera sostenible, agregando valor a la industria de los recursos naturales, además de la biomedicina.
- ii. Trabajar por la correcta implementación de objetivos nacionales estratégicos relacionados con la biotecnología (F4).
- iii. Potenciar las redes y actividades de difusión e intercambio de aprendizajes, experiencias y conocimiento biotecnológico ya existentes, promoviendo su periodicidad y continuidad en el tiempo. El foco de esta difusión e intercambio deben ser los mismos actores del SIB (F1) y la población chilena en general (F4 y F7).
- iv. Incentivar la creación y consolidación de nuevos actores y redes en el SIB, al mismo tiempo de motivar la participación de la mayor cantidad posible de actores en el espacio.
- v. Realizar seguimiento continuo de la experimentación y emprendimiento biotecnológico del país, con el objetivo de que los distintos actores puedan evaluar su desempeño y poder transmitir aprendizajes, aportando así a reducir la duplicación de esfuerzos (F1 y F5).
- vi. Promover activamente la descentralización del SIB y sus labores para maximizar el potencial biotecnológico nacional (F1, F5 y F7).

- vii. Obtener, registrar, gestionar, analizar y difundir toda la información relacionada con el desarrollo histórico del SIB en Chile; de manera de contar con indicadores que permitan conocer en mayor profundidad el estado de sus distintos ámbitos de desarrollo para poder proponer mejoras (F1, F4 y F6).
- viii. Ser la principal fuente de información sobre la biotecnología nacional.
- ix. Aportar a superar las brechas que limitan la capacidad del SIB de traducir el conocimiento y experimentación biotecnológica en resultados exitosos en el mercado, con foco no solo en la biomedicina, sino que también en la industria asociada a recursos naturales (F1 y F5). Esto incluye:
 - a. Apoyar en la creación de estándares de investigación aplicada, de una mejor regulación e instrumentos de financiamiento adecuados para el desarrollo de productos y servicios biotecnológicos, y de políticas públicas que fomenten el desarrollo exitoso del SIB.
 - b. Fortalecer las competencias de los actores del SIB en cuanto a escalamiento y validación de tecnologías, en levantamiento de capital privado, en bionegocios (F6) y en la Ley de Lobby (F7).
 - c. Apoyar la creación de la Red de biobancos, la Plataforma de recursos genéticos endémicos y el Observatorio Regulatorio propuestos en el IFIe en Biotecnología.

2 (A). Incorporar en los planes de estudio relacionados con la biotecnología competencias que permitan contar con profesionales capaces de aprovechar la Ley del Lobby, y así tener más actores comunicando proactivamente la importancia del desarrollo biotecnológico a las autoridades (F4, F5 y F6).

3 (A). Crear campañas educativas o iniciativas similares que permitan informar a las personas sobre ciencia, tecnología e innovación – teniendo como prioridad a la biotecnología – con el fin de generar interés en la población con respecto a la importancia del desarrollo biotecnológico sostenible para el país y el mundo (F4, F9 y F10).

4 (A). Generar mecanismos institucionales que generen condiciones económicamente favorables que compensen las desventajas del mercado de la innovación, para de esta forma asegurar la correcta implementación de los objetivos estratégicos relacionados con la biotecnología

- i. Ampliar las atribuciones y participación del Estado en el fomento estratégico de la ciencia, tecnología e innovación para el desarrollo industrial, generando alianzas público-privadas más consistentes con los países desarrollados, superando la lógica puramente subsidiaria (F5, F6 y F8).
- ii. Promover una política industrial que priorice aquellos sectores económicos estratégicos relacionados con los recursos naturales y la biomedicina para el desarrollo biotecnológico (F6 y F8).
- iii. Los instrumentos de fomento a la producción deben velar por diversificar el espectro de actores empresariales biotecnológicos (F3 y F5).
- iv. Modernizar el sistema de propiedad intelectual chileno para incentivar que el conocimiento biotecnológico llegue al mercado (F2).

- v. Crear un marco regulatorio que se adecúe a las necesidades del desarrollo biotecnológico, considerando el alto riesgo y que se requiere de una perspectiva de largo plazo. Esta regulación debería estar a cargo del nuevo MINCTCI para reducir la dispersión de la regulación (F1, F2 y F5).
- vi. Promover el uso de biotecnología para lograr los objetivos internacionales relacionados con el desarrollo sostenible, como el Acuerdo de Paris (F9 y F10).

5 (A y C). Para lograr implementar los objetivos estratégicos nacionales se requiere movilizar recursos humanos y financieros de manera consistente con las necesidades del desarrollo biotecnológico en la industria:

- i. Incrementar el presupuesto en ciencia, tecnología e innovación para alcanzar al menos el 1% del PIB (F8).
- ii. Aumentar la distribución del presupuesto público con enfoque estratégico para el fomento de la innovación en la industria, de esta manera se incentiva y orienta la conformación de mercados biotecnológicos hacia la industrialización de los recursos naturales y la biomedicina, lo cual además entrega mayor seguridad con respecto a la demanda para incentivar la inversión privada nacional y extranjera (F1, F2, F5 y F8).
- iii. Generar campañas educativas de alto alcance para informar sobre mecanismos de financiamiento para la innovación en la industria y así promover el desarrollo biotecnológico (F5).
- iv. Modernizar los instrumentos de financiamiento para se adapten a las necesidades del desarrollo biotecnológico (F1 F5), tomando como referencia las propuestas recientes de la Estrategia de Biotecnología al 2030.
- v. Incorporar en los planes de estudio relacionados con la biotecnología en la educación superior, los conocimientos necesarios para generar profesionales competentes en bionegocios y potenciar aquellos relacionados a bioprocesos (F5).
- vi. Crear un programa más ambicioso para incentivar la participación de capital humano avanzado en la industria, que vaya acompañado con la creación de instrumentos que fortalezcan el vínculo entre la academia y la industria mediante la transferencia tecnológica y extensión universitaria (F1, F2 y F5).
- vii. Promover que las instituciones de educación superior tengan un seguimiento ordenado y permanente de sus egresados en el mundo laboral.

6 (C). Crear condiciones que incentiven el crecimiento del mercado biotecnológico nacional, con el objetivo de sofisticar y diversificar los sectores estratégicos relacionados a los recursos naturales y potenciar el desarrollo de la biomedicina, siempre con perspectiva de promoción de las exportaciones:

- i. Fortalecer la institucionalidad en ciencia, tecnología e innovación en el país (F8).
- ii. Ampliar la cobertura del incentivo tributario para la I+D, además de crear nuevos incentivos con enfoque estratégico, por sobre el neutral, para la biotecnología nacional, junto a un mayor acompañamiento del Estado para superar las brechas de incertidumbre y alto riesgo (F8).

7 (B). Garantizar el acceso a la educación en el país, especialmente a la educación superior (F4, F7, F9 y F10):

- i. Darle mayor relevancia a la formación en ciencia, tecnología e innovación y su relación con el desarrollo sostenible en todos los niveles educativos, lo cual debe venir de la mano de un mejoramiento de la calidad educativa del país.
- ii. Crear mejores mecanismos para financiar la educación superior con el objetivo de reducir la carga sobre las familias y el endeudamiento.

8 (C). Implementar de manera urgente medidas que permitan al país avanzar hacia un modelo de desarrollo sostenible, con el objetivo de incentivar la aplicación de la biotecnología en la industria nacional (F5):

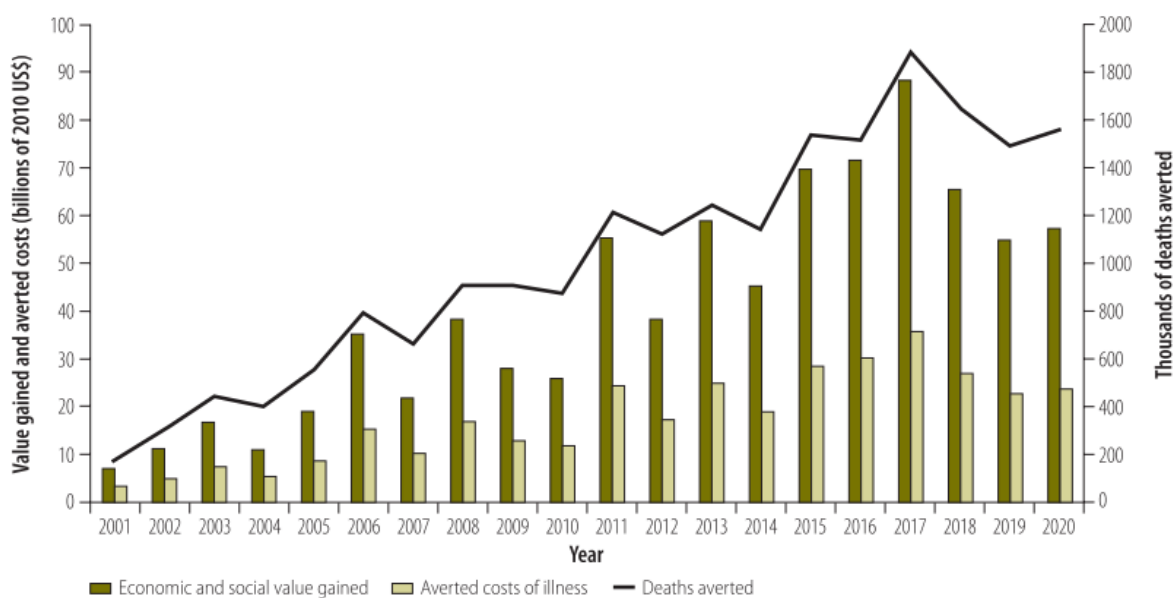
- i. Robustecer la institucionalidad ambiental con el fin de disponer de más herramientas y recursos para asegurar la fiscalización y transparencia en la industria en términos medioambientales.
- ii. Aumentar el presupuesto del MMA, de manera de potenciar su influencia en el desarrollo productivo.
- iii. Crear una normativa industrial más estricta e incentivos que hagan que la industria sea más sostenible.

5. Análisis de caso: producción de vacunas en Chile

Los diagnósticos y la propuesta de líneas de acción permiten tener una comprensión más detallada del desarrollo SIB chileno, lo cual se busca ejemplificar en esta sección analizando el caso de producción de vacunas en Chile. Esto, con el objetivo de evaluar comparativamente el nivel de factibilidad en el escenario actual del SIB con el escenario supuesto que incluye la propuesta de líneas de acción ya implementada. Primero se describen algunos antecedentes.

5.1 El caso de producción de vacunas en Chile

Los programas de vacunación son reconocidos por ser una de las mejores intervenciones de salud pública en el mundo en términos de costo-beneficio. Un estudio reciente estima que, por cada dólar americano invertido en vacunas y programas de vacunación en países pobres o medianamente pobres, entre el año 2011 y el 2020, se obtendrían 16 USD de utilidades [81]. Otro estudio similar afirma que programas de vacunación en este mismo tipo de países, entre el año 2001 y 2020, permitirían evitar 20 millones de muertes y ahorrar 350 mil de millones USD. El beneficio económico y social de estos programas se estima en 820 mil de millones USD, incluyendo la incorporación de nuevas vacunas (Figura 80) [82].



US\$: United States dollars.

Figura 80: Comparación anual entre el valor económico y social obtenido con programas de vacunación, el costo en que se habría incurrido si las enfermedades no habrían sido prevenidas y la cantidad de muertes evitadas. Estos cálculos fueron estimados a partir de vacunaciones para 10 enfermedades dentro de 73 países apoyados por la alianza GAVI [83] entre el año 2001 y el 2020 [82]

26 años después de la creación de la Organización Mundial de la Salud, la Asamblea Mundial de la Salud (AMS) pidió a todos sus países establecer un Programa Ampliado de Inmunizaciones (PNI) (1974) con el fin de controlar, eliminar y erradicar enfermedades prevenibles por vacunas alrededor del mundo [84]. En el contexto latinoamericano este proceso es apoyado por la Organización Panamericana de Salud (OPS). Además de la cooperación internacional, la OPS administra fondos destinados a facilitar la transacción de suministros médicos entre países y

proveedores. Uno de ellos es el Fondo Rotatorio de Vacunas, creado en el año 1977 con el objetivo de mejorar el acceso a vacunas y productos relacionados al menor precio posible. En el año 1999 se creó el Fondo Estratégico, que tiene el objetivo de mejorar el acceso y la disponibilidad de suministros estratégicos para el desarrollo de la salud pública en general [85]. En el año 2011, la AMS decidió crear un Plan de Acción Mundial sobre vacunas hasta el 2020, en donde algunos objetivos son la erradicación de la poliomielitis, avances tecnológicos, ampliar la cobertura, entre otros [86].

En Chile, durante el año 1890 se decretó la obligatoriedad de la vacunación. Recién en el año 1950 se crearon campañas y vacunaciones sistemáticas y en el año 1978 se comenzó con el Programa Ampliado de Inmunizaciones (PNI). Estos esfuerzos permitieron erradicar la Viruela (año 1950), la Poliomielitis (año 1975) y la eliminación del Sarampión (año 1992). En el año 1896 se creó el Instituto de Vacuna Animal y fue la primera institución en preparar y administrar este tipo de vacunas. En el año 1929 se creó el Instituto Bacteriológico, el cual estaba a cargo de la elaboración y distribución de vacunas. Una vacuna de carácter nacional e internacionalmente conocida fue la vacuna antirrábica *Fuenzalida-Palacios*, preparada en cerebro de ratón lactante inactivada por luz ultravioleta. Esta preparación era entre 50 a 100 veces más eficiente que la vacuna tradicional existente hasta entonces y comenzó su implementación internacional en humanos a partir del año 1963. En este periodo, el Instituto Bacteriológico era un órgano de carácter estatal a cargo de la producción de toda la línea de sueros y vacunas. El aspecto productivo del Instituto llega a su fin desde el año 1973 con el inicio de la dictadura militar. En el año 1979 se crea el Instituto de Salud Pública (ISP) con un rol principalmente orientado a la fiscalización, reemplazando al Instituto Bacteriológico [87] [88].

En los últimos años, científicos chilenos han desarrollado vacunas 100% nacionales, desde quienes ha nacido la iniciativa de retomar la producción de vacunas en Chile mediante un Centro Nacional de Vacunas debido a los potenciales beneficios económicos, científicos, y sociales que significa la producción local [89]. Algunas vacunas en desarrollo involucran terapias contra ciertos tipos de cáncer, en contra del virus Metapneumovirus Humano [90], Hanta [91] y Sincicial, en distintas fases de desarrollo [92]. En la actualidad, el PNI es responsabilidad del Departamento de Vacunas e Inmunizaciones quien se encarga del abastecimiento y distribución de vacunas, así como también de educar e informar en torno al tema [93]. La licitación, gestión de compra y distribución de los productos necesarios para la ejecución del PNI está a cargo de la Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud (CENABAST) [94], mientras que la fiscalización está a cargo del ISP. Entre el año 2012 y el año 2016 se gastaron en promedio \$26.843 millones de pesos en el PNI [95], en donde el Fondo Rotatorio de la OPS es uno de sus principales proveedores [96].

5.2 Aspectos técnicos de la producción de vacunas

La vacunación consiste principalmente en la administración de agentes infecciosos para provocar una respuesta inmune efectiva frente a un patógeno específico, previniendo así la enfermedad. Existen 3 generaciones de vacunas. Las primeras consisten en un patógeno vivo atenuado o inactivado, las cuales tienen la ventaja de estimular la inmunidad durante un largo periodo de tiempo, son de fácil producción y a costos reducidos. Sin embargo, tienen la posibilidad de inducir la enfermedad en el paciente. Las de segunda generación buscan solucionar los problemas de la

primera con la producción de distintas moléculas derivadas de distintas especies y cepas de patógenos. Dentro de esta generación se pueden producir vacunas de subunidades, las cuales pueden estar compuestas por la toxina principal del patógeno inactivo o por una cápsula de polisacáridos; vacunas conjugadas, en donde se agrega una proteína a los antígenos de polisacáridos para mejorar su respuesta inmune; y las vacunas recombinantes, las que son creadas a partir de la secuencia genética del antígeno principal con la cual se producen de manera sintética mediante la tecnología de ADN recombinante. Las vacunas de tercera generación consisten en un plásmido que contiene los genes para codificar los antígenos requeridos, los cuales se expresan en el mismo paciente con la ayuda de un promotor específico que causa la inducción del sistema inmune. Esta generación de vacunas, a las cuales se les llama vacunas de ADN o ARN, presenta importantes ventajas, pero su utilización en seres humanos está aún en una fase de investigación debido a los posibles efectos negativos como la eventual inducción de tumores o de enfermedades autoinmunes [97].

Para seleccionar la metodología de producción de vacunas es necesario conocer la cobertura necesaria para prevenir la enfermedad en cuestión; el tipo de vacuna; los requerimientos de crecimiento, expresión y niveles de degradación del antígeno; el tipo de célula y sus requerimientos de crecimiento, etc. Desde los años 40 del siglo pasado la producción de vacunas se ha realizado utilizando huevos de gallina, uno de los métodos más utilizados en la actualidad, el cual tiene importantes limitaciones de producción. Una alternativa que ha dado resultados y representa una serie de ventajas es la producción de vacunas utilizando cultivos celulares en bioreactores, en donde es posible alcanzar más seguridad y mejores condiciones de escalamiento [98]. Un método ya en aplicación es el de *Sistemas de Vectores de Expresión de Baculovirus (BEVS)*, que consiste en la utilización de células de insecto Sf9 y baculovirus como vector que codifica las subunidades de proteínas recombinantes del antígeno. El BEVS involucra 3 etapas principales: (i) crecimiento de células de insecto, (ii) infectar el cultivo celular con un baculovirus recombinante que contenga el gen que codifica la proteína de interés y (iii) la expresión y cosecha del producto recombinante (Figura 81) [99].

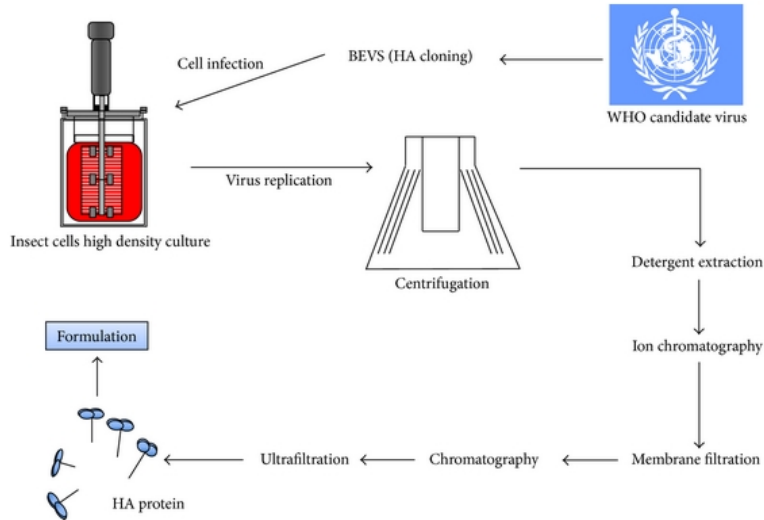


Figura 81: Esquema general del proceso de producción de vacunas de subunidades rHA para combatir el virus de la influenza [100].

La producción de una vacuna para ser comercializadas involucra (i) identificar y producir antígenos, (ii) realizar ensayos en modelos animales y (iii) estudios clínicos (Figura 82).

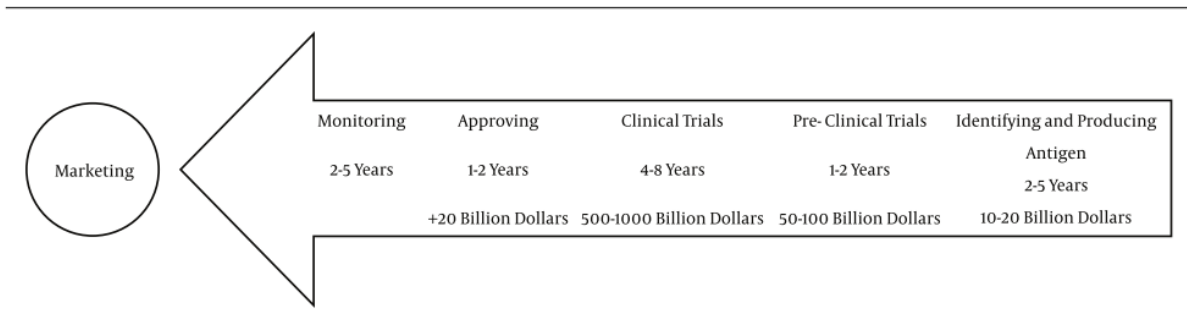


Figura 82: Fases de desarrollo general de la producción de vacunas [97].

Las distintas fases de ensayos clínicos miden el nivel de seguridad y tolerancia de la vacuna, determinan la dosis adecuada y el grado de inmunogenicidad del ingrediente activo en la población destinataria. Luego, se procede a obtener una licencia y se evalúa la eficacia de la vacuna a gran escala. Superando estas etapas, se trabaja por obtener las autorizaciones para su comercialización masiva. Este proceso puede llegar a demorar hasta 16 años y con costos que pueden llegar a los miles de millones USD. La estabilidad de las vacunas debe confirmarse con estudios de largo plazo, aunque ya estén autorizadas. Para esto, varios lotes de producción se someten a pruebas anuales de estabilidad para asegurar que cualquier cambio en el proceso realizado no tuvo un efecto perjudicial [97] [101]. De manera complementaría, también es importante tener en considerar los costos de inversión e puesta en marcha de una planta de producción, considerando que el país no cuenta con una infraestructura industrial robusta. Según un análisis de factibilidad técnico-económica de una planta productora de eritropoyetina recombinante – una proteína que se puede utilizar en tratamientos de anemia crónica – la inversión inicial para una planta con capacidad de

18 gramos anuales es de 1.553.021 USD, considerando un terreno de 600 metros cuadrados [102]. Sin embargo, estos costos son bajos en comparación a las fases de validación descritas en la Figura 82.

5.3 Discusión sobre los escenarios de factibilidad

El ciclo de retroalimentación positiva del desarrollo del SIB hasta la fecha también es favorable para la posibilidad de la producción de vacunas. En efecto, la mayoría de los actores del SIB (39%) se dedican de alguna manera al desarrollo biomédico, y es el sector en donde el mercado biotecnológico ha crecido de manera más prominente a nivel nacional e internacional (F5), razón por la cual los objetivos planteados en la Estrategia en Biotecnología al 2030 le dan un énfasis particular (F4). Estas condiciones tienden a favorecer la apuesta de invertir en la producción local de vacunas a pesar de las debilidades que ha tenido el desarrollo del SIB, además de los altos beneficios económicos, sociales y científicos que significaría para el país. En la misma línea, se sabe que en Chile existen recursos financieros e instituciones con experiencia en el abastecimiento y distribución de vacunas, además de contar con equipos con las capacidades necesarias para inventar y producir vacunas a escala de laboratorio, e incluso con la voluntad de producir a nivel local (F1 y F2).

Por otro lado, el alto grado de atomización y centralización del SIB dificulta la capacidad de crear redes de colaboración y la trasmisión de aprendizajes entre los distintos actores vinculados a la creación de vacunas (F3), aspecto necesario actualmente para enfrentar la carencia de capacidades en bionegocios (F6), el trabajo de lobby (F7) o el escalamiento de la producción utilizando procesos más avanzados y seguros. Además, la poca disponibilidad de regulaciones e instrumentos adecuados para el desarrollo biotecnológico, los altos riesgos, costos de inversión y los largos tiempos que toma el desarrollo de vacunas, dificultan la posibilidad de obtener resultados exitosos en el mercado (F5).

La perseverancia del régimen tecnológico imperante en el modelo de desarrollo chileno hasta la fecha, junto con el estancamiento en innovación, competitividad o tasa de productividad y la falta de experiencia de la industria nacional en cuanto a manufactura, significan una mayor resistencia a la posibilidad de la producción local de vacunas (recordar que el abandono de la manufactura afectó directamente en la producción chilena de vacunas). El mismo impacto negativo genera la débil institucionalidad en ciencia, tecnología e innovación, y los bajos presupuestos destinados a proyectos estratégicos. En términos regulatorios, la Ley Ricarte Soto presenta limitaciones a la realización de ensayos clínicos en el país, lo cual obliga a realizarlos en el extranjero, aumentando los costos. Por otro lado, la excesiva preponderancia del enfoque neutral para la asignación de programas o subsidios representa una oposición a la idea de que el Estado tome un rol más protagónico en la producción de vacunas, por lo que sería más práctico realizarlo desde el sector privado, lo cual es complejo dada la reducida inversión privada en I+D. Además, solamente los grandes actores empresariales tendrían la capacidad para asumir una inversión de esta envergadura, lo cual no motivaría la creación de nuevos actores empresariales (F5 y F8). Finalmente, el bajo nivel educativo de la población, mezclado con la ya reducida idea “anti-vacuna” que promueve desinformación, también son desafíos que este emprendimiento debe saber superar (F12).

Tomando en cuenta el escenario que se caracteriza por tener la propuesta de líneas de acción ya implementada, debería ser posible potenciar el ciclo de retroalimentación positiva en el caso de la producción de vacunas superando las debilidades detectadas. En efecto, la existencia de un espacio de encuentro que promueve la colaboración entre actores para el desarrollo estratégico de la biotecnología (lineamiento 1) permitiría el acceso a redes con actores relevantes para acceder a financiamiento y para adquirir los conocimientos necesarios para lograr resultados en el mercado. Esto se complementa con la existencia de mejores instrumentos, estándares de investigación y regulaciones para el desarrollo de productos y servicios biomédicos, además de un mayor número de actores con experiencia en bionegocios (líneas de acción 1, 4 y 5).

Complementariamente, las líneas de acción 1, 2, 3 y 7 permiten contar con actores capaces de transmitir experiencias a nivel nacional e internacional, con mejores condiciones para presionar a las autoridades por mejores condiciones regulatorias y de producción. También permiten contar con una población más educada, lo cual favorece la legitimidad de la producción local de vacunas. Finalmente, con las líneas de acción 4, 5 y 6 es posible contar con un Estado capaz de impulsar objetivos de largo plazo al contar con mayores atribuciones para el desarrollo económico y con una mayor disponibilidad de recursos financieros, aspectos esenciales para mitigar las consecuencias negativas del alto riesgo, inversión y largos tiempos requeridos para el desarrollo de vacunas. Además, también se abre la posibilidad de crear una alianza público-privada que fomente la creación de nuevos actores empresariales.

Por lo tanto, este breve análisis descriptivo logra ser completamente coherente con el diagnóstico identificado del SIB y la propuesta de líneas de acción para mejorar su desarrollo. Permite proyectar la posibilidad de contar nuevamente con producción local de vacunas originales de Chile, las cuales no solo permitirían generar beneficios económicos y sociales en el territorio nacional, sino que también aportar en la erradicación de enfermedades a nivel mundial mediante exportaciones.

6. Conclusiones

El marco teórico utilizado, el cual se basa en procesos de transición tecnológica comprendido mediante funciones dinámicas, demostró ser una herramienta efectiva para analizar en profundidad el desarrollo de la biotecnología en el país hasta la actualidad, complementando e incluso ampliando la visión de estudios realizados previamente con objetivos similares. La búsqueda bibliográfica y la realización de una entrevista permitió determinar el Sistema de Innovación Biotecnológico (SIB) identificando a sus principales instituciones, actores y aplicaciones a nivel nacional, y además conocer las actividades realizadas por el SIB a lo largo del tiempo, las cuales fueron clasificadas de acuerdo con la selección de funciones. Esta última permitió estructurar la información disponible clasificando las distintas decisiones, acciones y eventos relevantes realizados por el SIB a lo largo del tiempo, con lo cual fue posible analizar de manera empírica y cuantitativa las principales fortalezas y debilidades de cada función en relación con los objetivos de la investigación. Además, el incluir una selección de funciones que describieran la influencia del contexto en el SIB permitió conocer aspectos que han impactado fuertemente en el desempeño del desarrollo biotecnológico nacional, los cuales no habían sido considerados en estudios similares. El análisis posterior, en donde se estudiaron las relaciones entre funciones por medio de la cuantificación de la valorización del impacto que cada función tuvo sobre las demás, fue el que permitió conocer las principales brechas que han limitado el desarrollo del SIB, lo cual se determinó identificando el ciclo de retroalimentación positiva que ha sostenido al ecosistema y aquellas funciones que más han perjudicado su desarrollo.

Se logró describir en detalle el SIB, el cual se compone una creciente cantidad de entidades que actualmente llega a las 256 entidades aproximadamente, en donde se pueden encontrar empresas (en su mayoría startups), centros de investigación y consorcios tecnológicos, incubadoras y aceleradoras, universidades, entre otras. Además, se cuenta con 8 instituciones públicas con competencias que impactan el desarrollo del SIB, a cargo de 5 ministerios. La gran mayoría concentra sus actividades en la Región Metropolitana, seguida por las regiones de Valparaíso y del Biobío. El 39% de las entidades del SIB se dedican actualmente a la biomedicina, mientras el 34% y el 26% se dedican a los sectores estratégicos relacionados con los recursos naturales y a su aplicación industrial, respectivamente. Sin embargo, el 57% de los actores empresariales no ha logrado generar ventas. Las actividades de experimentación y emprendimiento y el desarrollo de conocimiento han sido los aspectos más importantes para mantener el desarrollo biotecnológico nacional, las cuales fueron posible gracias a las decisiones y acciones dentro de los aspectos de orientación de la búsqueda y la movilización de recursos principalmente. Los aspectos relacionados con la difusión del conocimiento y creación de redes, el crecimiento económico (inversión en I+D menor al 0,4% del PIB) y el acceso desigual a la educación son los que más han perjudicado el desempeño del SIB, por lo que fueron el foco principal para estructurar las prioridades dentro de las líneas de acción propuestos, los cuales buscan generar nuevos ciclos de retroalimentación positiva que potencian el ya existente.

Las líneas de acción se pueden resumir en: la creación de un espacio de articulación representativo del SIB que a través de la colaboración y coordinación de sus actores logre superar sus propias debilidades junto con las del contexto, incorporar competencias carentes en los planes de estudio de carreras que forman profesionales de la biotecnología, implementación de campañas educativas

de alto alcance, ampliar las atribuciones del Estado en materia de fomento a la producción utilizando la ciencia, tecnología e innovación, crear condiciones de mercado y regulatorias favorables, aumentar los recursos públicos destinados al desarrollo biotecnológico y crear instrumentos coherentes con sus requerimientos de crecimiento, darle mayor relevancia a la formación científico tecnológica en el sistema educativo junto a mejores condiciones de financiamiento y robustecer la institucionalidad ambiental. Cabe destacar que dentro de las líneas de acción propuestas se incluyen las medidas que se generaron durante el IFIe en Biotecnología de CORFO ya que se hacen cargo de necesidades concretas del ecosistema, como la capacidad de generar resultados en el mercado. Sin embargo, este programa tiene limitaciones ya que se enmarca dentro de las atribuciones de CORFO, institución que se adapta a las necesidades de mercado más que aportar con una proyección estratégica, de largo plazo, para el desarrollo biotecnológico nacional; es decir, persiste el enfoque neutral para el fomento de la producción.

Las líneas de acción propuestas no buscan abordar el detalle de su implementación, ni tampoco las entidades responsables ni los plazos, sino más bien se deben comprender como una guía que oriente las decisiones y acciones del SIB. Por lo tanto, para lograr darle una bajada concreta a la propuesta, es necesario profundizar técnicamente en cada una de ellas utilizando como base la información empírica y descrita analíticamente en el cuerpo de este documento, buscando también la contribución de otras disciplinas. Además, es importante notar que gran parte de las líneas de acción requieren de participación del sector público para poder ser implementadas con éxito, factor que fue abordado con la propuesta de crear un espacio de articulación y representación del SIB con el cual poder dar mayor legitimidad y preponderancia a la aplicación de la biotecnología en el desarrollo estratégico del país.

El diagnóstico obtenido y las líneas de acción fueron evaluados mediante un breve análisis descriptivo sobre la posibilidad de retomar la producción local de vacunas. La información recopilada y analizada sobre este emprendimiento en particular resultó ser completamente coherente y complementario con la estructura planteada, lo cual sirve como punto de partida para ratificar la efectividad del modelo y los resultados encontrados. Es razonable, por lo tanto, utilizar los hallazgos de esta investigación como una guía para la creación de políticas públicas que permitan orientar el desarrollo del país hacia una matriz productiva sofisticada, diversificada y sostenible con la utilización de la ciencia, tecnología e innovación, especialmente de la biotecnología.

Según los antecedentes obtenidos, esta es la segunda investigación que utiliza este marco teórico y metodología para analizar transiciones tecnológicas en el país, por lo que se recomienda promover su aplicación en otros sistemas de innovación tecnológica y así contar con mayor conocimiento útil para el desarrollo productivo nacional. Esto también permitiría analizar la influencia que ha tenido la relación histórica entre el desarrollo del SIB con el de otros Sistemas de Innovación Tecnológica.

Glosario

- AID: Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo
- AMS: Asamblea Mundial de la Salud
- ANEIB: Asociación Nacional de Estudiantes de Ingeniería en Biotecnología
- ANIO: Asociación Nacional de Investigadores de Postgrado
- ASOEX: Asociación de Exportadores de Frutas de Chile
- BEVS: Sistemas de Vectores de Expresión de Baculovirus
- BID: Banco Interamericano de Desarrollo
- BMRC: Biomedical Research Consortium-Chile
- CEFOR: Centro Experimental Forestal
- CENABAST: Central de Abastecimiento del Sistema Nacional de Servicios de Salud
- CHI: Programa Capital Humano para la Innovación
- CNID: Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo
- CONEIB: Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería en Biotecnología
- CONICYT: Comisión Nacional de Investigación Científica y Tecnológica
- CORFO: Corporación de Fomento de la Producción
- CPLT: Consejo para la Transparencia
- CTIE: Observatorio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Emprendimiento
- DIPRES: Programas Becas Nacionales de Postgrado y Becas Chile
- FIA: Fundación para la Innovación Agraria
- FONDECYT: Fondo Nacional de Desarrollo Científico y Tecnológico
- FONDEF: Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico
- FONTEC: Fondo Nacional de Desarrollo Tecnológico y Productivo
- GCI: Global Competitiveness Index
- GEI: Gases de Efecto Invernadero
- GII: Global Innovation Index
- IFIe: Iniciativa de Fomento Integrada Estratégica en Biotecnología
- INACH: Instituto Chileno Antártico
- INAPI: Instituto Nacional de Propiedad Industrial
- ISP: Instituto de Salud Pública
- MINAGRI: Ministerio de Agricultura
- MINCTCI: Ministerio de Ciencia, Tecnología Conocimiento e Innovación
- MINECON: Ministerio de Economía, Fomento y Turismo
- MINREL: Ministerio de Relaciones Exteriores
- MINSAL: Ministerio de Salud
- MMA: Ministerio de Medio Ambiente
- NBT: New Breeding Techniques
- OCDE: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos
- OMPI: Organización Mundial de Propiedad Intelectual
- OPS: Organización Panamericana de Salud

- PAI: Programa de Atracción e Inserción de Investigadores
- PDIT: Programa de Desarrollo e Innovación Tecnológica
- PIAAC: Evaluación Internacional de Competencias para Adultos
- PMG: Programas de Mejoramiento Genético
- PNI: Programa Ampliado de Inmunizaciones
- SAG: Servicio Agrícola Ganadero
- SERNAPESCA: Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura
- SIB: Sistema de Innovación Biotecnológico
- SIT: Sistema de Innovación Tecnológica
- SPI: Social Progress Index
- WIPO: World Intellectual Property Organization

Bibliografía

- [1] CONSEJO NACIONAL DE INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO. 2017. Ciencias, tecnologías e innovación para un nuevo pacto de desarrollo sostenible e inclusivo. : 218.
- [2] OECD. 2018. Production Transformation Policy Review of Chile [en línea]. 10.1787/9789264288379-en
- [3] CAMUS, Pablo y HAJEK, Ernst. 1998. Historia Ambiental de Chile [en línea]. 138 p. ISBN 9562880915. <http://www.ecolyma.cl/documentos/hist_amb_chile_v1.pdf>
- [4] CEPAL Y OCDE. 2016. Evaluaciones del desempeño ambiental: Chile 2016. ISBN 9789211219173.
- [5] CASTRO, CONSUELO y BRIGNARDELLO, LUIGI. 2016. El Estado Del Medio Ambiente En Chile. 139-155 p. ISBN 9789561909946.
- [6] BISANG, Roberto, CAMPI, Mercedes y CESA, Verónica. 2009. Biotecnología y desarrollo. : 107.
- [7] OECD. 2011. Industrial Biotechnology and Climate Change. Oecd [en línea]. (Enero): 1–38. <www.oecd.org/sti/biotechnology%0Ahttps://www.oecd.org/sti/biotech/49024032.pdf>
- [8] DÍAZ, Cristóbal. 2016. Caracterización de entidades biotecnológicas con enfoque en exportaciones. : 70.
- [9] COMISIÓN PRESIDENCIAL CIENCIA PARA EL DESARROLLO DE CHILE. 2015. Un Sueño Compartido Para El Futuro De Chile. Informe a la Presidenta de la República, Michelle Bachelet. : 158.
- [10] BENNER, Steven A y SISMOUR, A Michael. 2009. Synthetic Biology. Nature Reviews Genetics [en línea]. 6(7): 533–43. ISSN 14710056. 10.1007/978-90-481-2678-1
- [11] BIOTECHNOLOGY, Tartu y AS, Park. 2014. Implementation Plan of Technology Transfer in Biotechnology.
- [12] QUEZADA, FS. 2005. Biotecnología para el uso sostenible de la biodiversidad Capacidades locales y mercados potenciales [en línea]. ISBN 9806810031. <<http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Biotechnología+para+el+uso+sostenible+de+la+biodiversidad+Capacidades+locales+y+mercados+potenciales#0>>
- [13] PROMÉXICO. 2016. Biotecnología. Diagnostico Sectorial. Unidad de Inteligencia de Negocios [en línea]. <<http://www.promexico.gob.mx/documentos/diagnosticos-sectoriales/biotechnologia.pdf>>
- [14] CORFO. 2006. Biotechnology in Chile: Partnering Business Opportunities.
- [15] SUBDIRECCIÓN DE PROGRAMAS EN BIOTECNOLOGÍA DE INNOVA CHILE. 2007. Biotecnología para su empresa: Directorio de capacidades de investigación en Chile. 492 p. ISBN 9789568652005.

- [16] SUBDIRECCIÓN DE PROGRAMAS EN BIOTECNOLOGÍA DE INNOVA CHILE. 2006. Biomedicina en Chile: Tendencias y Oportunidades.
- [17] WEBER, K. Matthias y TRUFFER, Bernhard. 2017. Moving innovation systems research to the next level: Towards an integrative agenda. *Oxford Review of Economic Policy* [en línea]. 33(1): 101–121. ISSN 14602121. 10.1093/oxrep/grx002
- [18] BERGEK, Anna, HEKKERT, Marko, JACOBSSON, Staffan, MARKARD, Jochen, SANDVÉN, Björn y TRUFFER, Bernhard. 2015. Technological innovation systems in contexts: Conceptualizing contextual structures and interaction dynamics. *Environmental Innovation and Societal Transitions* [en línea]. 16: 51–64. ISSN 22104224. 10.1016/j.eist.2015.07.003
- [19] BERGEK, Anna, JACOBSSON, Staffan, HEKKERT, Marko y SMITH, Keith. 2006. Functionality of Innovation Systems as a Rationale for and Guide to Innovation Policy. *The Theory and Practice of Innovation Policy* [en línea]. (84426). 10.4337/9781849804424.00013
- [20] MEELEN, Toon y FARLA, Jacco. 2013. Towards an integrated framework for analysing sustainable innovation policy. *Technology Analysis & Strategic Management* [en línea]. 25(8): 957–970. ISSN 0953-7325. 10.1080/09537325.2013.823146
- [21] HEKKERT, Marko, SUURS, R. A. A., NEGRO, Simona, KUHLMANN, S y SMITS, Ruud. 2007. Functions of innovation systems: A new approach for analysing technological change. *Technological Forecasting and Social Change* [en línea]. 74(4): 413–432. ISSN 00401625. 10.1016/j.techfore.2006.03.002
- [22] MARKARD, Jochen, HEKKERT, Marko y JACOBSSON, Staffan. 2015. The technological innovation systems framework: Response to six criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions* [en línea]. 16: 76–86. ISSN 22104224. 10.1016/j.eist.2015.07.006
- [23] PLANKO, Julia, CRAMER, Jacqueline, HEKKERT, Marko P. y CHAPPIN, Maryse M.H. H. 2016. Combining the technological innovation systems framework with the entrepreneurs' perspective on innovation. *Technology Analysis & Strategic Management* [en línea]. 29(6): 1–12. ISSN 0953-7325. 10.1080/09537325.2016.1220515
- [24] EDSAND, Hans Erik. 2016. Technological Innovation Systems and the wider context: A framework for developing countries. *UNU-MERIT working papers* [en línea]. (17): 38. <<http://www.merit.unu.edu/publications/working-papers/abstract/?id=5999>>
- [25] MARDONES, Francisco Ruiz. 2013. ANÁLISIS DE LA DINÁMICA FUNCIONAL DEL SISTEMA DE INNOVACIÓN TECNOLÓGICA EN CHILE PARA EL DESARROLLO DE LA ENERGÍA EÓLICA.
- [26] 2003. CHILE : LA BIOTECNOLOGÍA COMO HERRAMIENTA PARA EL DESARROLLO Y EL BIENESTAR Política Nacional para el Desarrollo de la Biotecnología Tabla de Contenidos.
- [27] GUSTAVO, Rodriguez, SANDOVAL BRIONES, Claudio y MANRÍQUEZ NOVOA, Paula. 2003. Análisis de experiencias en formación de clusters biotecnológicos y la

- factibilidad de ser creados en la zona central de Chile. Universidad de Talca (Chile). Escuela de Agronomía [en línea]. <<http://dspace.utalca.cl/handle/1950/934%0A>>
- [28] BIOTECHNOLOGIES, Interlink. 2008. Biotechnology assessment and strategic recommendations. : 58.
- [29] SANTIBÁÑEZ, Edgardo. 2010. Desarrollo competitivo de un clúster biotecnológico : El Biopolo de Santiago [en línea]. : 99. <http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/3775/2/S2009310_es.pdf>
- [30] GUAÑA, Gabriela. 2011. Biotecnología como factor de desarrollo económico en Chile Marco general chileno y revisión de casos. : 105.
- [31] INFORMACI, Levantamiento D E, BASE, N E A, ESTRAT, Plan, IFI, Gico, HABILITANTE, Como y LA, Para. 2016. SOFISTICACIÓN Y DIVERSIFICACIÓN PRODUCTIVA ” INFORME FINAL Fase Estratégica.
- [32] IFIE EN BIOTECNOLOGÍA, CORFO. 2018. Propuesta Estrategia de Biotecnología al 2030.
- [33] CIECHILE. 2015. Invest in Chile opportunities for Biotechnology. CIM Magazine. 3(7): 30–31. ISSN 17184177.
- [34] GILLET, José y OLATE, Camila. 2010. La crisis del salmón y el desempleo en la Décima Región. : 122.
- [35] ESPINOZA, Patricio. 2018. Ejes Estructurantes de la Futura Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo.
- [36] 2018. Informe del Consejo de CONICYT 2015-2018.
- [37] EDSAND, Hans Erik. 2017. Identifying barriers to wind energy diffusion in Colombia: A function analysis of the technological innovation system and the wider context. Technology in Society [en línea]. 49: 1–15. ISSN 0160791X. 10.1016/j.techsoc.2017.01.002
- [38] AMCHAM CHILE. 2016. Look North Biotech, Boston Biotech Ecosystem & Funding Strategies. : 1–7.
- [39] Senado - Tramitación de proyectos [en línea]. <http://www.senado.cl/appsenado/templates/tramitacion/index.php?boletin_ini=6355-01> [consulta: 23 septiembre 2018].
- [40] 2016. Encuesta nacional de percepción social de la ciencia y la tecnología en Chile 2016.
- [41] FONDEF. Genoma Chile [en línea]. <<http://www.conicyt.cl/fondef/lineas-de-programa/instrumentos-pasados/genoma-chile/>> [consulta: 25 julio 2018].
- [42] ASOEX. 2017. Consorcio Tecnológico de la Fruta S.A.
- [43] 2012. Programa Genoma en Recursos Naturales Renovables Una década de avances y aprendizajes Genome Program on Programa Genoma en Recursos Naturales Renovables. ISBN 9789567524150.

- [44] THE, Know, BIOLOGY, Synthetic, AMERICAN, Latin y IN, Teams. 2017. First iGEM Latin American.
- [45] SJR - About Us [en línea]. <<https://www.scimagojr.com/aboutus.php>> [consulta: 6 agosto 2018].
- [46] CONICYT. 2015. Principales indicadores cuantitativos de la actividad científica chilena 2013. Informe 2015 [en línea]. 340 p. ISBN 9788416668137. 10.1017/CBO9781107415324.004
- [47] WORLD INTELLECTUAL PROPERTY ORGANIZATION (WIPO). Centro de datos estadísticos de la OMPI sobre propiedad intelectual [en línea]. <<https://www3.wipo.int/ipstats/index.htm?lang=es>> [consulta: 11 agosto 2018].
- [48] ROMERO, Carmen Contreras. 2018. Personal and business networks within Chilean biotech. Industry and Innovation [en línea]. 2716: 1–33. ISSN 1366-2716. 10.1080/13662716.2018.1441013
- [49] INNOVACIÓN.CL. Markus Schreyer: “Se debe combinar de manera sólida ingeniería, economía y ciencia” | Innovación al día. 2018 [en línea]. <<http://www.innovacion.cl/entrevista/markus-schreyer-se-debe-combinar-de-manera-solida-ingenieria-economia-y-ciencia/>> [consulta: 25 septiembre 2018].
- [50] BALBONTÍN, Rodrigo, ROESCHMANN, Juan Andrés y ZÄHLER, Andrés. 2018. Ciencia, Tecnología e Innovación en Chile: un análisis presupuestario. ISBN 9789569931154.
- [51] FACULTAD DE ECONOMÍA Y NEGOCIOS, Universidad de Chile. 2017. ESTUDIO DE EVALUACIÓN DE LA LEY DE INCENTIVO TRIBUTARIO A LA INVERSIÓN EN I+D.
- [52] MINISTERIO DE ECONOMÍA FOMENTO Y TURISMO. 2017. Investigación y Desarrollo en las empresas chilenas [en línea]. <http://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2017/07/ELE4_Boletín-ID_final.pdf>
- [53] ECONOMÍA, Ministerio De y TURISMO, Fomento. 2017. Principales resultados año 2016.
- [54] JORDI MARTÍ, presidente de ASEBI. La biotecnología ya supone el 10% del PIB español | Innovadores | EL MUNDO [en línea]. <<http://www.elmundo.es/economia/2016/07/05/577bd151468aeb720c8b463f.html>> [consulta: 25 septiembre 2018].
- [55] PATRICIO SAAVEDRA. El atraso de Chile en la discusión de la Biotecnología Agrícola – Reportaje Digital [en línea]. <<http://www.magisterenperiodismo.com/productostransgenicosenchile/2017/12/19/elatrasoenbiotecnologia/>> [consulta: 23 septiembre 2018].
- [56] MISI, L A, INFORMAR, D E Chilebio E S, BIOTECNOLOG, Educar Sobre, BELLET, Antonio y TEL, Santiago. sin fecha. Regulación de las variedades vegetales obtenidas a través de las nuevas técnicas biotecnológicas de mejoramiento genético (NBTs , New Breeding Techniques).

- [57] JOAQUÍN ARAOS. Ley Ricarte Soto: Un Modelo Confrontacional | Portal BioMedicina UC [en línea]. <<http://portalbiomedicina.uc.cl/ley-ricarte-soto-un-modelo-confrontacional/>> [consulta: 23 septiembre 2018].
- [58] MINECON. 2016. Proyecciones I+D: ¿Cuándo y cómo llegamos al 1%?
- [59] OCDE. 2018. Estudios Económicos de la OCDE. Estudios Económicos de la OCDE [en línea]. 1: 72. <<http://www.oecd.org/eco/surveys/Chile-2018-OECD-economic-survey-Spanish.pdf>>
- [60] INDICES Educación Superior | Consejo Nacional de Educación [en línea]. <<https://www.cned.cl/indices-educacion-superior>> [consulta: 11 agosto 2018].
- [61] VERDE. 2016. EVALUACIÓN DE INSTRUMENTOS DE INSERCIÓN DE INVESTIGADORES EN LA INDUSTRIA [en línea]. (56 2): 1–6. <http://www.senado.gob.mx/telecom_radiodifusion/>
- [62] NATALIA MUÑOZ, Claudio Pérez. ¿Desempleo masivo de doctorados en Chile? Lo que dicen los datos – CIPER Chile [en línea]. <<https://ciperchile.cl/2018/09/03/desempleo-masivo-de-doctorados-en-chile-lo-que-dicen-los-datos/>> [consulta: 6 septiembre 2018].
- [63] CNID. Consejo Nacional de Innovación para el Desarrollo [en línea]. <<http://www.cnid.cl/el-consejo-y-su-historia/>> 2017.
- [64] CONSEJO PARA LA TRANSPARENCIA. Infolobby [en línea]. <<http://www.infolobby.cl/#!/busqueda-simple>> [consulta: 7 octubre 2018].
- [65] OEC - Chile (CHL) Exports, Imports, and Trade Partners [en línea]. <<https://atlas.media.mit.edu/en/profile/country/chl/>> [consulta: 9 octubre 2018].
- [66] PALMA, José Gabriel. 2016. Do nations just get the inequality they deserve? The ‘Palma Ratio’ re-examined. *Doklady Biochemistry*. 299(1–6): 77–80. ISSN 00124958.
- [67] PALMA, JG. 2011. Why has productivity growth stagnated in most Latin American countries since the neo-liberal reforms? [en línea]. 2011(July): 1–57. <<http://www.econ.cam.ac.uk/dae/repec/cam/pdf/cwpe1030.pdf>>
- [68] BRIL-MASCARENHAS, Tomás y MADARIAGA, Aldo. 2017. Business power and the minimal state: the defeat of industrial policy in Chile. *Journal of Development Studies* [en línea]. 00(00): 1–20. ISSN 17439140. 10.1080/00220388.2017.1417587
- [69] UC, Dirección de Estudios Sociales del Instituto de Sociología. 2018. RESULTADOS ENCUESTA NACIONAL DE MEDIOAMBIENTE 2018, Ministerio del Medio Ambiente. : 1–46.
- [70] Inicio - Conflictos socioambientales INDH [en línea]. <<http://mapaconflictos.indh.cl/#/>> [consulta: 10 octubre 2018].
- [71] INTERNATIONAL, Transparency. 2011. Global Corruption Report: Climate Change [en línea]. 365 p. ISBN 9781849712972. 10.1355/CS19-3A
- [72] Ley SEP: Contraloría revela masiva pérdida de recursos destinados a educación de los más pobres – CIPER Chile [en línea]. <<https://ciperchile.cl/2012/05/10/ley-sep->

- contraloria-revela-masiva-perdida-de-recursos-destinados-a-educacion-de-los-mas-pobres/> [consulta: 11 octubre 2018].
- [73] Chile - Índice de Percepción de la Corrupción 2017 | datosmacro.com [en línea]. <<https://datosmacro.expansion.com/estado/indice-percepcion-corrupcion/chile>> [consulta: 11 octubre 2018].
- [74] TRANSPARENCY INTERNATIONAL. 2017. People and Corruption: Latin America and the Caribbean [en línea]. 1-34 p. ISBN 9783960760627. <https://www.transparency.org/whatwedo/publication/global_corruption_barometer_people_and_corruption_latin_america_and_the_car>
- [75] P. YÉVENES Y P. BASADRE. Los hitos en los 10 años de la Ley de Transparencia [en línea]. <<https://www.latercera.com/nacional/noticia/los-hitos-los-10-anos-la-ley-transparencia/258705/>> 2018 [consulta: 18 octubre 2018].
- [76] DANIEL MATAMALA. La lista completa: la verdad sobre las 1.123 empresas que financian la política en Chile – CIPER Chile [en línea]. <<https://ciperchile.cl/2015/04/23/la-lista-completa-la-verdad-sobre-las-1-123-empresas-que-financian-la-politica-en-chile/>> 2015 [consulta: 18 octubre 2018].
- [77] INTERNATIONAL, Market & Opinion Research. 2016. Estudio Nacional De Transparencia Octava Medición Análisis De Resultados [en línea]. <http://www.consejotransparencia.cl/consejo/site/artic/20121213/asocfile/20121213155411/informe_estudio_nacional_transparencia_mori_2016.pdf>
- [78] CENTRO DE ESTUDIOS MINEDUC. 2018. Indicadores de la Educación en Chile 2010-2016. : 228.
- [79] 2018. Panorama de la Educación Indicadores de la OCDE 2018.
- [80] COMISIÓN ESPECIAL INVESTIGADORA, Cámara de Diputados. 2018. INFORME DE LA COMISIÓN ESPECIAL INVESTIGADORA DE LOS ACTOS DEL GOBIERNO VINCULADOS A LA IMPLEMENTACIÓN DE LA LEY N° 20.027. (CeI 5).
- [81] OZAWA, Sachiko, CLARK, Samantha, PORTNOY, Allison, GREWAL, Simrun, BRENZEL, Logan y WALKER, Damian G. 2016. Return on investment from childhood immunization in low- and middle-income countries, 2011-20. Health Affairs [en línea]. 35(2): 199–207. ISSN 15445208. 10.1377/hlthaff.2015.1086
- [82] OZAWA, Sachiko, CLARK, Samantha, PORTNOY, Allison, GREWAL, Simrun, STACK, Meghan L, SINHA, Anushua, MIRELMAN, Andrew, FRANKLIN, Heather, FRIBERG, Ingrid K, TAM, Yvonne, WALKER, Neff, CLARK, Andrew, FERRARI, Matthew, SURARATDECHA, Chutima, SWEET, Steven, GOLDIE, Sue J, GARSKE, Tini, LI, Michelle, HANSEN, Peter M, JOHNSON, Hope L y WALKER, Damian. 2017. Estimated economic impact of vaccinations in 73 low- and middle-income countries, 2001–2020. Bulletin of the World Health Organization [en línea]. 95(9): 629–638. ISSN 0042-9686. 10.2471/BLT.16.178475
- [83] About Gavi, the Vaccine Alliance [en línea]. <<http://www.gavi.org/about/>> [consulta: 18 marzo 2018].

- [84] ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. 2006. Trabajar en pro de la salud: Presentación de la Organización Mundial de la Salud. 6: 1–26.
- [85] JAMES FITZGERALD, OPS. 2015. El Fondo Estratégico de la Organización Panamericana de la Salud.
- [86] OPS-OMS. 2013. Plan de Acción Mundial sobre Vacunas. Panorama Actual de La Inmunización [en línea]. : 77. Clasificación NLM: WA 115
- [87] MINISTERIO DE SALUD. 2014. ISP: Conocimiento, liderazgo e innovación en salud pública.
- [88] Instituto Bacteriológico (1929 – 1980) | Instituto de Salud Pública de Chile [en línea]. <<http://www.ispch.cl/instituto-bacteriologico-1929—1980>> [consulta: 19 marzo 2018].
- [89] Científicos chilenos crearán la primera vacuna del país [en línea]. <<http://www2.latercera.com/noticia/cientificos-chilenos-crearan-la-primera-vacuna-del-pais/>> [consulta: 19 marzo 2018].
- [90] Primera vacuna contra el Metapneumovirus es creada en Chile [en línea]. <<http://biologia.uc.cl/es/investigacion/bionoticias-investigacion/396-primera-vacuna-contra-el-metapneumovirus-es-creada-en-chile>> [consulta: 19 marzo 2018].
- [91] Sin fecha. Creadora de fármaco contra el Hanta: “Ahora no existe nada. La mejor medida es su prevención” [en línea]. [consulta: 19 marzo 2018]. <<http://www.adnradio.cl/noticias/nacional/creadora-de-farmaco-contra-el-hanta-ahora-no-existe-nada-la-mejor-medida-es-su-prevencion/20180206/nota/3707546.aspx>>
- [92] G., Carmen Mieres. 2017. Diseño local, alcance global. PortafolioSALUD. : 28–31.
- [93] SALUD, Ministerio de. 2015. Actualización del programa nacional de inmunizaciones.
- [94] Quiénes Somos - CENABAST [en línea]. <<https://www.cenabast.cl/institucion/quienes-somos/>> [consulta: 19 marzo 2018].
- [95] CENABAST. 2016. Anuario CENABAST 2016.
- [96] MARÍA INÉS ROMERO S., OSVALDO QUIROZ L., Mario Parada L. 2012. Informe final Programa Nacional de Inmunizaciones (PNI). Dirección de Presupuestos. : 57.
- [97] TAHAMTAN, Alireza, CHAROSTAD, Javad, JAVAD, Seyyed, SHOKOUH, Hoseini y BARATI, Mohammad. 2017. An Overview of History, Evolution, and Manufacturing of Various Generations of Vaccines [en línea]. 5(3). 10.5812/jamm.12315.Review
- [98] GALLO-RAMÍREZ, Lili Esmeralda, NIKOLAY, Alexander, GENZEL, Yvonne y REICHL, Udo. 2015. Bioreactor concepts for cell culture-based viral vaccine production. Expert Review of Vaccines [en línea]. 14(9): 1181–1195. ISSN 17448395. 10.1586/14760584.2015.1067144
- [99] POWER, John F., REID, Steven, RADFORD, Kathryn M., GREENFIELD, Paul F. y NIELSEN, Lars K. 1994. Modelling and optimization of the baculovirus expression vector system in batch suspension culture. Department of Chemical Engineering, The University of Queensland, Australia.

- [100] MILIÁN, Ernest y KADEM, Amine A. 2015. Current and Emerging Cell Culture Manufacturing Technologies for Influenza Vaccines. *BioMed Research International* [en línea]. 2015: 1–11. ISSN 2314-6133. 10.1155/2015/504831
- [101] PLOTKIN, Stanley, ROBINSON, James M., CUNNINGHAM, Gerard, IQBAL, Robyn y LARSEN, Shannon. 2017. The complexity and cost of vaccine manufacturing – An overview. *Vaccine* [en línea]. 35(33): 4064–4071. ISSN 18732518. 10.1016/j.vaccine.2017.06.003
- [102] BARROS, Isadora y HURTADO, Ivonne. 2005. Estudio de Factibilidad Técnico-Económica para la instalación de una planta productora de Eritropeyetina recombinante. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.
- [103] KIVIMAA, Paula y KERN, Florian. 2016. Creative destruction or mere niche support? Innovation policy mixes for sustainability transitions. *Research Policy* [en línea]. 45(1): 205–217. ISSN 00487333. 10.1016/j.respol.2015.09.008

Anexos

Anexo I: Fundamento y selección de funciones para el mapeo del SIB

Además de las 7 funciones que permiten describir las dinámicas internas de un SIT de estudio, se incorporan una serie de funciones que permiten estudiar las dinámicas del SIB considerando el entorno o contexto en el cual se desarrolla. La lista completa de funciones a utilizar se encuentra en la Tabla 1.

Para estudiar el punto de vista de *emprendedores* es conveniente separar la función de conformación de mercados [F5] en dos: la conformación de mercados por parte de los emprendedores [F5a] y por parte del Estado [F5b]. Esta separación permite identificar, cuestionar y orientar con mayor rigurosidad las maniobras que realizan los gobiernos para potenciar ciertas tecnologías de interés con el fin de generar buenas condiciones para el desarrollo de un mercado o sector en particular. En cambio, los grupos emprendedores deben poner especial énfasis en “seducir” a los eventuales clientes o consumidores, abarcando más aspectos que solo los técnicos [23].

Se utiliza el concepto de *creatividad destructiva* para enfatizar el aspecto “destrutivo” que todo proceso de transición e innovación tecnológica implica. En otras palabras, la creación y materialización de lo nuevo implica un proceso de desestabilización de lo viejo. Esto se traduce en actores innovadores desafiando el régimen socio-tecnológico establecido para debilitar su posición en el mercado o incluso dejarlo obsoleto. Comprender el problema de esta manera, permite vislumbrar que los cambios de este tipo involucran diversas dimensiones, lo que motiva la emergencia del concepto “*conjunto de políticas públicas o medidas*”, en donde se comprenden los procesos de transición como una modificación y reemplazo consciente de los objetivos globales y de los instrumentos actuales que los implementan, los cuales deben ser totalmente coherentes y consistentes para alcanzar el éxito. Esta condición es por lo general difícil de alcanzar, debido a la inercia que suelen tener los regímenes socio-tecnológicos y al eventual conflicto de intereses u objetivos de los distintos actores políticos y económicos frente a cuál camino tecnológico particular seguir [103]. La aplicación del concepto de *creatividad destructiva* en Chile involucra analizar los intentos de superar la matriz productiva primario exportadora a una más sofisticada, diversificada y sostenible con el uso de tecnología [103].

La mayoría de los estudios basados en SITs son realizados desde la perspectiva de países desarrollados, los cuales tienen condiciones favorables para el desarrollo de SITs en comparación a los *países en vías de desarrollo*, por lo que no se puede aplicar de manera directa. En países en vías de desarrollo, por lo general, no se cuenta con la autonomía tecnológica suficiente ya que hay poca disponibilidad de recursos financieros y humanos para comprender, asimilar y generar conocimiento científico y tecnológico, muchas veces poseen mayores problemas ambientales y dado el bajo nivel de madurez de los SIT, los factores externos influyen más en su desarrollo [24].

Debido a estas y otras condiciones, en la literatura se propone lo siguiente [24]. Modificar [F2] agregando el aspecto *creación de capacidad adaptativa*, es decir, crear la capacidad de asimilar el conocimiento externo y promover el desarrollo doméstico de tecnología, en vez de comprarla al exterior. Agregar a la función de movilización de recursos [F6] la disponibilidad internacional de recursos financieros y humanos para el desarrollo del SIT. Estas dos sugerencias no se trabajan de manera explícita en este estudio, pero se buscan abordar ambas dimensiones en las dos funciones.

Finalmente, se sugiere incorporar nuevas funciones [24]: El *crecimiento económico* permite acceder a mejores condiciones de infraestructura, el cual es un parámetro relevante para analizar el impacto de los cambios o crisis económicas en los SIT [F8]. Otro factor externo importante es la *conciencia medioambiental* de la sociedad en la cual está inmerso el SIT de estudio [F9]. En la misma línea, el *cambio climático* analiza las medidas que los gobiernos adoptan para reducir el calentamiento global [F10]. Otro aspecto común en países en vías de desarrollo corresponde a la *corrupción*, que consiste en el abuso del poder representativo para beneficio privado, lo que se traduce en pérdidas económicas y otras irregularidades [F11]. Finalmente, se encuentra la función del *acceso desigual a la educación*, en donde en países en vías de desarrollo tiene una mayor presencia de la elite de la sociedad, perjudicando en el correcto desarrollo de la F2 [F12]. Se deja fuera del marco teórico la función sugerida de *conflictos armados*, debido a que en Chile no se da esa condición en particular [24].

Anexo II: Sobre la entrevista a CORFO

Los objetivos generales de esta entrevista son complementar la delimitación del Sistema de Innovación Biotecnológico (SIB) en Chile y conocer el estado del arte con respecto al desarrollo de la industria biotecnológica chilena. Este objetivo incorpora los siguientes objetivos específicos:

1. Obtener bases de datos actualizadas de las instituciones (organismos, normas, acuerdos internacionales y programas o fondos), actores (empresas, proveedores, centros de investigación, movimientos sociales, fundaciones, sector de consumidores), redes y aplicaciones de la biotecnología en Chile.
2. Identificar el subconjunto de cada componente del SIB que más influye en su desarrollo.
3. Delimitar la proporción de las aplicaciones de la biotecnología en Chile que están alineadas con los objetivos de la tesis (base de datos de patentes).
4. Conocer la fase de desarrollo del SIB en Chile, en términos generales y de los objetivos de la Tesis.
 - a. Aporte al PIB.
 - b. Integración BT (primaria, secundaria, terciaria).

La entrevista tiene un formato de conversación libre, planteando los temas a tratar con anticipación al momento de solicitar la reunión. El diálogo es grabado con compromiso de anonimato mediante un consentimiento informado de ser requerido. Si el entrevistado no acepta ser grabado, se toman apuntes de las ideas principales.

II.1 Preguntas y dinámica de la entrevista a CORFO

Introducción: presentarse, plantear objetivos de la entrevista y su relación con los objetivos de la tesis.

1. Bases de datos o estudios con información centralizada (solicitar)
 - a. Instituciones (organismos, normas, acuerdos internacionales, programas y/o fondos)
 - b. Actores (empresas, centros de investigación, fundaciones, otros)
 - c. Redes y vínculos
 - d. Aplicaciones y patentes
2. Para cada componente del sistema, ¿Cuáles entidades son las más influyentes en el desarrollo de la biotecnología en Chile y por qué? ¿Cuáles son sus intereses? verificar si esos intereses son coherentes con los objetivos del estudio.
3. ¿Cuáles de las aplicaciones de la biotecnología en Chile apuntan a diversificar y sofisticar su matriz productiva?
4. ¿En qué fase de desarrollo está la biotecnología en Chile con respecto a las actividades orientadas a diversificar y sofisticar la matriz productiva?
5. ¿Qué eventos han influenciado con mayor fuerza el desarrollo de la biotecnología en Chile?
6. ¿Cuáles son las principales dificultades y desafíos para el desarrollo de la biotecnología en Chile?
7. ¿Qué temas están siendo debatidos actualmente? ¿Cuáles son los principales conflictos?

II.2 Transcripción de la entrevista a Alejandro Bisquertt, encargado del IFIe en Biotecnología de CORFO. 3 de octubre, 2017.

Participantes: Alejandro Bisquertt (A), Pablo Troncoso (P).

(1) P: Lo primero que te quería preguntar era sobre la disponibilidad de bases de datos actualizadas de los diferentes actores que trabajan en biotecnología en Chile hoy, ya que en línea no se encuentran en un lugar centralizado.

A: Yo trabajo en lo que llama Iniciativa de Fomento Integral en Biotecnología (IFI), Programa Interno de CORFO que dura 2 años, y que en este caso puntual ve a la biotecnología como una herramienta para poder sofisticar y mejorar la industria tradicional en Chile. Este programa tiene ciertas actividades que están predeterminadas y tiene un componente inicial de búsqueda.

El primer problema que nos encontramos fue con el mismo que te encontraste tú, que las bases de datos no están actualizadas y las definiciones son ambiguas entre los distintos actores, por ejemplo, qué se considera una empresa biotecnológica o no. Entonces, lo primero que nosotros hicimos fue una consultoría que vio el ecosistema completo con lo que hicimos lo que se llama la “línea base”, que básicamente mapea todos los actores y los clasifica en distintos grupos. De las cosas que uno podía ver es que existían empresas biotecnológicas, proveedores de insumos, inversionistas ágiles, inversionistas de capital de riesgo, centros tecnológicos, consorcios, entre otros actores. Separamos esto en 5 grandes áreas: aquellos que generan I+D (empresas, universidades, consorcios y centros), las que tienen que ver con el financiamiento, ya que el desarrollo de productos biotecnológicos toma mucho tiempo entonces y por tanto son muy intensivas en capital, se requiere mucho financiamiento, el cual puede venir desde el Estado a través de CORFO principalmente o en algunos casos de CONICYT, el componente privado de riesgo, que es bastante pequeño pero está en crecimiento y por supuesto el de las empresas grandes decidan tener una alianza con una empresa más pequeña de biotecnología y que le ayude a solucionar algún problema.

Lo que se identificó es básicamente, de un proceso productivo general que es proceso en donde existen idea base, desarrollo de concepto, prueba de concepto, proceso de validación, serie de validación y proceso productivo. Existe un gap al medio, y que es en esa fase en donde las cosas no están llegando, en donde se hayan variaciones ya sea en reactores de gran escala con certificaciones FDA etc., empiezan a haber problemas. En torno a eso establecimos un plan de acción que contiene 3 grandes áreas, una es de emprendimiento e innovación, otro que tiene que ver con condiciones habilitantes (principalmente regulatoria), infraestructura crítica de capital humano (pilares que siempre vas a necesitar). A grandes rasgos en innovación hemos hecho talleres, ferias tecnológicas, el que puede ser interesante para ti pero en tema regulatorio hemos visto dos grandes áreas, en el área biomédica en donde trabajamos con terapias médicas avanzadas (terapia génica, terapia celular e ingeniería de tejidos) y estamos trabajando con el ISP, agencia regulatoria que crea las normas, CORFO que ve el tema de innovación y estamos trabajando en conjunto para crear normas que pongan las reglas claras y con esas reglas claras las empresas pueden adquirirlas y obtener estos beneficios, el ISP vela por el tema de seguridad, pero nosotros no queremos que eso se haga de mala manera y que frene la innovación o este tipo de empresa que CORFO ya ha impulsado. Al mismo tiempo muchas de estas empresas desean exportar sus productos y lo primero que le piden es cuál es la regulación o certificación que te pueden pedir y

no hay. Nosotros siempre hemos visto la “regulación para la innovación”, en donde se suelen ver las reglas como algo negativo para las empresas porque hay más reglas y regulaciones, pero al final lo que tú estás haciendo es rayando la cancha, así saben que les puedes pedir, que les pueden pedir, que necesitan tener y que no, entonces se pueden planificar acorde.

En la otra área que nos estamos recién metiendo es en los dispositivos médicos, en donde Chile tampoco cuenta con regulación y existe un conjunto de empresas trabajando en eso. Está el área de agro del ministerio de agricultura ahora sacó un instructivo para NBT (new breeding techniques), que son todas estas técnicas nuevas que permiten modificar genomas y plantas sin necesidad de caer en la categoría de transgénicos, entonces está la ley de los transgénicos, y esto permitiría generar en Chile distintas tecnologías, pero sin caer en esa red. Esos son dos ejemplos de cómo la regulación vendría a promover este tipo de industria.

Eso es a grandes rasgos en lo que hemos estado trabajando, algunos programas super parecidos a los que tú ya describías inicialmente.

(2) P: Me queda la duda sobre el gap ¿En dónde está el problema, eso tiene que ver también con el tema del financiamiento, siendo una fase más cara?

A: Hay varios componentes que nosotros hemos identificado. Primero, hay una parte de plata que es importante y otro que no, sino que es más bien de conocimiento. Por ejemplo, cuando estás haciendo un paquete de diagnóstico, es muy común, hay procesos en que identificas biomarcadores, prueba de concepto, validación analítica, validación clínica, costos de actividad, y después vas a mercado. Mucha gente en Chile no sabe trasladar esta idea básica a un producto empaquetado, ahí hay un problema, hay una falta de capital humano que sepa hacer ese bio-negocios, una persona que sea capaz de poder establecer cuáles son estos pasos, con nombre y apellido, acá son genéricos por ejemplo validación clínica, eso involucra, tantos pacientes en tales características, bajo qué normas, cosa que el resultado que me salga de esto te permita pasar a la siguiente serie, que sea validado, bien visto, creíble, etc. Entonces, ese nivel de ineficiencia no tiene que ver con plata, o sea, el desarrollo de MBA compliance son caras, pero no son mucho más caras, estoy hablando de quizá un 20% más cara que otras, pero en el fondo estás evitando repetir un experimento 1 o 2 años de retraso etc. Eso no tiene que ver con plata tiene que ver con saber. Hay una brecha importante de capital humano, por eso te preguntaba qué hace la escuela de ingeniería porque se ve que o son ingenieros o médicos, los médicos pueden tener mejor esa dualidad que los bioquímicos o ingenieros comerciales por sí mismos. Y al mismo tiempo si hay un tema que tiene que ver con infraestructura, por ejemplo, si tiene que haber una prueba de campo de un bioproducto de agronomía, se necesita un lugar que lo haga bien y eso no tiene que ver con plata tiene que ver con ciertas cosas que estar o ciertas empresas que puedan entregar sus servicios, muchos de estos pueden ser tercerizados también. Y lo otro es plata, generalmente a medida que vas escalando en el proceso de validación se va requiriendo más recursos y aquí el sector privado debería tomar más protagonismo ya sea como capital de riesgo o empresas que quieran invertir con un acuerdo de business development o lo que sea. Entonces tienes ese problema, por un lado, es plata, otro conocimiento y que influye en la optimización porque si tú sabes exactamente como hacer este proceso puede pasar que pase de 100 millones de dólares a 60. Por eso no todo tiene

que ver con plata, si no que saber por ejemplo que no tienes que hacer un reactor, sino que mejor enviar las muestras a China y te van a hacer todo allá.

(3) P: Entonces ustedes tienen bases de datos de actores que influyen en el tema.

A: Si, se hizo de dos maneras nuestra búsqueda. Una, se estableció cuáles eran los actores y se fue creando una base de datos, por ejemplo, centros tecnológicos, ya sean apoyados por CORFO, los basales, en general utilizamos fuentes públicas en donde ya existen listas y luego clasificar estudiando o encuestando de manera particular. Pusimos una categoría gubernamental, empresas, proveedores, inversionistas, existen en algunas detalladas y otras parciales. Enviamos encuestas a empresas para conocer de su funcionamiento interno, respondió alrededor del 60%, la mayoría son empresas que se han creado en los últimos dos años, hubo un crecimiento importante, pero muchas de ellas no se encuentran aún en su fase productiva y requieren de apoyo. Puedo darte una versión simplificada que no tenga información privada.

(4) P: ¿Cómo se organiza la biotecnología dentro del Estado de Chile en su totalidad?

A: Hoy en CORFO no existe una unidad de biotecnología, al menos en este gobierno se estableció que había ciertas gerencias en CORFO y cada una tiene distintas formas de trabajar. Está emprendimiento e innovación, capacidades tecnológicas, que generalmente ven programas más grandes a largo plazo con componentes más bien estratégicos. Un ejemplo de eso, parte de esta administración, es que se crearon dos tipos de trabajos: los programas estratégicos, que son áreas que se estableció priorizar: construcción, minería, alimentos saludables, etc., que generalmente tienen un consejo estratégico con los componentes: industria, sector privado, público, academia y civil. Armaron una hoja de ruta, validada con distintos actores, planes de implementación. Las otras son las iniciativas de fomento integrada (más pequeños en recursos y peso), funciona entonces como una iniciativa de biotecnología y cuando existen otros sectores involucrados en el tema, funcionamos como un puente.

Entonces, no existe una estructura fija en CORFO al menos, de nivel nacional con respecto a la biotecnología, no hay una postura. Si hemos identificado ciertas cosas que el privado puede hacerse cargo, que las empresas productivas podrían hacerse cargo, y que el Estado podría hacerse cargo. Un ejemplo de ello, en esa fase, podría ser un centro de validación o un centro traslacional de biotecnología, que ayude a mover las cosas de aquí acá, que tenga ciertos elementos que se haga cargo del GAP. Es un programa importante, a 10 años, aún estamos validándolo con los otros actores y está en veremos.

Lo otro que es importante mencionar es que la biotecnología hay dos formas de verla: como una herramienta o como una industria, que es lo difícil de diferenciar. En Chile tenemos sectores productivos (minería, acuicultura, agricultura, forestal y salud) en donde dentro de estos procesos la biotecnología puede inferir (biolixiviación), control de enfermedades o plagas, pero son herramientas para. Y por otro lado está la industria, en donde el producto final es derivado de la biotecnología, ya sea que ese producto se lo compre una empresa agronómica, un medicamento, etc. Nosotros siempre hemos visto que hay una demanda por biotecnología por parte de sectores productivos en Chile que requieren sofisticarse y están los productores de este I+D que son la oferta. La oferta antes era muy débil, dependía al 100% de las universidades, no existían

estándares, etc. Hoy hay una masa más importante, eso que te mostré es la oferta y nuestros esfuerzos están enfocados en fortalecer esa oferta, que se alcance un nivel interesante. Por ejemplo, acá, una forestal podría absorber esa tecnología, pero para eso la oferta tiene que ser interesante porque creemos que de este lado no van a tirar las cosas. Eso a nivel general. Una estructura más ordenada con unidades y personas a cargo no existen. Es uno de los problemas que ha habido todavía de por qué todavía no ha explotado.

Hablamos también del problema de cómo los cambios de gobierno, o cambios políticos, afectan a la continuidad o a la proyección de más largo plazo de las iniciativas o programa.

(5) P: Y además de las instituciones ¿Qué normas, regulaciones y leyes en general que influyen en la biotecnología estarían en sus bases de datos?

A: Es bastante complicado, nosotros vemos la biotecnología en estos 5 sectores: minería, acuicultura, silvicultura, agro y salud, cada una de ellas en Chile cuenta en mayor o menor medida con uno o más organismos regulatorios. En el caso de salud es más fácil, es el ISP quien puede o no tener regulaciones sobre ciertos temas, en agro está el SAG, ODEPA y podría estar en algún caso el ministerio de medio ambiente. En acuicultura está SERNAPESCA y podría estar el ministerio de medio ambiente. Silvicultura lo mismo y en minería si no me equivoco es medio ambiente. Entonces, como navegas en las aguas regulatorias va a depender de la clasificación biotecnología, el tipo de producto que estás haciendo y a qué industria va a impactar, y en base a eso tu estableces tu marco regulatorio. Luego tienes que identificar dependiendo de tu cliente final si ese marco regulatorio nacional te sirve o no. Un ejemplo es si yo estoy creando una solución para acuicultura como empresa de biotecnología nacional tiene mucho sentido que yo esté alineado con sernapesca, ISP en algunos casos y con el ministerio de medio ambiente, ya que lo más obvio es que mi cliente final sean las salmoneras en Puerto Montt. En cambio, si estoy haciendo un kit de diagnóstico, a pesar de que me interese que se implemente en Chile, mi comprador final para que eso tenga impacto debería ser Estados Unidos, Europa o Japón, por lo tanto, la regulación que yo esté considerando desde el día cero debe ser coherente con mi destino final. Esas consideraciones no son triviales y no mucha gente las hace, por eso te decía que cuando uno hace una investigación y tú no consideras desde el día cero esos aspectos. Existen “buenas prácticas de laboratorio” que, si tu proceso las establece y está normalizado, tienes ventajas porque sería bien visto en Chile y en todos lados. Hay algunas ISO de medical devices 13480 creo que es, todo ese tipo de cosas son normas o manuales que uno pueda aplicar sin necesidad de entrar en el aspecto regulatorio, entonces hay varias formas de atacarlo. Pero no existe una sola línea, o el marco de regulación de biotecnología, por eso está la Ley Ricarte Soto, ley transgénicos, ley de derechos y deberes, recursos genéticos, en donde tienen influencia en áreas de la biotecnología, pero no en toda la biotecnología. Por ejemplo, la Ley Ricarte Soto influye bastante sobre la biomedicina y medicamentos, en términos de costo, no que los prohíba, sino en términos de aseguradoras. Actúan de manera coordinada o coherente, pero no existe un ente central que las regule a todas ya que es un sector pequeño.

Una de las cosas que nos llamó la atención es que el potencial de la biotecnología era muy grande debido a que todas las industrias potentes podrían beneficiarse de estas herramientas, entonces, por qué si el potencial era potente no había habido una explosión. Había distintos factores, uno de ellos

que no era menor, es que existía un nivel de atomización muy alto, una industria chica pero muy atomizada, el mejor ejemplo es que cuando tu trataste de encontrar información no había un lugar donde vieras y estuviera todo, hay una asociación gremial que no es muy representativa, existen diferencias en las definiciones, y nuestra apuesta es que si uno interviene estas brechas debería empezar a andar la máquina.

Otra propuesta que tenemos es que se arme una red de biotecnología en donde se reúna a todos los actores de la línea base, más transversal que la asociación gremial, hacer fuerza entre todos, porque haciendo fuerza hay posibilidades de implementar nuevas leyes o normas, traspaso de buenas prácticas o conocimiento y optimizar un montón de cosas, por ejemplo si existe una empresa que diseña un proceso que tomó 10 años y después un startup que lo comprende podría bajarlo a 4, solo por saber cómo hacerlo. Y eso tiene que ver con que hablen, agrupar.

(6) P: Las propuestas que planteas ¿Cuándo se van a implementar?

A: La iniciativa que lidero se acaba el 20 de febrero, a partir de eso tenemos que plantear ciertos resultados que hemos tenido y a partir de eso ver cuál podría ser el futuro de esta misma, extenderla, modificarla, etc. Hay una serie de iniciativas pequeñas que se han realizado, se creó una aceleradora de negocios especializada, por ejemplo, y hay dos iniciativas grandes que podrían tener continuidad fuera de CORFO o en conjunto. Una es el centro trasnacional de biotecnología, que esperamos poder impulsarla en noviembre para que se haga el llamado en enero y la otra es la red de biotecnología que tiene este componente agrupador, en donde la primera reunión sería en los primeros días de noviembre y presentaríamos lo que hemos levantado nosotros, dejando la tarea para que los integrantes de la red (no CORFO) generen una agenda de trabajo y parta su proceso de aglutinamiento. Ya con esas dos cosas, serían muy buenos resultados para estos dos años y a partir de ahí se podría evaluar cómo seguir impulsando esta área. A este evento asistirían representantes idealmente de todos los actores (empresas, academia, gremios, etc.). Por ejemplo, Virginia Garretón, directora de la iniciativa milenio.

(7) P: ¿Cómo se trabaja el ámbito internacional?

A: Esa es compleja, porque una de las definiciones que hicimos, existen empresas extranjeras que hacen investigación en Chile, por ejemplo, las farmacéuticas, en donde la mayoría funciona como centro de distribución, salvo algunas que realizan I+D. Uno podría motivar para que realicen más trabajos acá. Lo mismo con los proveedores, biosigma, etc., algunas marcas tiene filiales en Chile, pero en general son proveedoras. La idea es que la red sea lo más inclusiva siempre y cuando mantenga las diferencias, ya que hay distintos intereses (empresa grande con emprendedores). Hay espacio para todos, por ejemplo, los proveedores que no realizan I+D si les interesa que exista industria porque son más ventas para ellos. Con más ventas pueden llegar más proveedores y economía de escala, cosa que ocurre en Chile. En el fondo fortaleciendo a algunos sectores beneficia a otra área del mismo ecosistema. Si se fortalece el área de innovación creas una oferta más interesante para las firmas de capital de riesgo.

(8) P: ¿En sus bases de datos tienen categorías en cuanto a las aplicaciones? Lo pregunto ya que pretendo enfocar el estudio en aquellas aplicaciones que van en la línea de diversificar la matriz productiva en relación con los recursos naturales.

A: Eso es más difícil de ver, porque no tenemos la información de todas las empresas. Está más o menos clasificado en cuando a su modalidad de herramienta para distintos procesos. Si hablamos de la biotecnología como industria, esa per sé es diferente a lo otro, y si se potencia estarías potenciando la diversificación de la matriz productiva, a pesar de que tu producto sirve para por ejemplo vacunas para salmones. Enfocándose siempre en estas empresas que son más tecnológicas, siempre habrá un potencial hacia la diversificación.

(9) P: ¿Existe una base de datos de patentes?

A: Eso está en INAPI que hizo la UDD para CORFO que muestra el proceso de transferencia tecnológica en Chile y una de las cosas que analiza son las patentes. Anota las cosas que me tienes que pedir: Estudio EBISA, estudio UDD, base de datos, minuta y PPT. No hay manera directa de responder, ya que no están categorizadas como biotecnología, pero en general lo que está bajo ciencias de la vida es biotecnología, pero hay más categorías para profundizar. Las patentes están en una etapa intermedia muchas veces ya que no siempre se producen todavía. Hicieron un estudio en donde uno puede hacer extrapolación, un ejemplo importante es cuando ves todas las patentes que se producen en Chile más todas las patentes que se producen desde Chile en el extranjero porque tienen otro valor, creo que 1/3 corresponde a biotecnología, es como el segundo sector que más produce patentes, así que es un sector importante pero no existe una definición formal hay que extrapolar. En el estudio de UDD con las citas correspondientes que por lo general son INAPI o WIPO (público), podrías visitarlos a ellos mismos para ahorrar trabajo.

(10) P: ¿Existen algunos actores que influyen más que otros en este ecosistema?

A: CORFO es super importante, para bien y para mal. Ya que cada una de estas iniciativas requieren de capital, y debido a que el sector privado no se encuentra desarrollado de buena manera, el público ha tomado ese rol. De hecho, CORFO no es el más idóneo para biotecnología muchas veces, ya que a veces CORFO pide ventas, pero muchas veces estas empresas no tienen ventas, no son tradicionales (a veces son compradas). Si CORFO tiene un rol clave desde los instrumentos o las políticas públicas que trata de promover hasta los centros. Otro aspecto que yo he visto en otros lados y que en Chile es muy débil son las asociaciones gremiales ya que cumplen esta función de conglomerar, en Chile ASEMBIO es débil, por muchos motivos, desorganización, lineamientos poco claros, si se pudiera promover algo así sería muy importante. Otro aspecto que se encuentra débil y que podría tomar un rol importante es el capital de privado de riesgo, no solo en plata, sino que asesores clave, personas en los boards, smart money. Hoy es pequeño, pero podrían ser muy potentes.

(11) P: ¿En qué fase de desarrollo estaría la industria biotecnológica en Chile?

A: Hemos establecido que existen como 5 etapas en un proceso de producción, idea, prueba de concepto, prototipo, validaciones o aprobaciones regulatorias y comercialización. Estamos en general en una etapa pre-comercial ya que el 57% de las empresas se encuentran en esa categoría. A veces es confuso porque ofrecen servicios a pesar de que no sea el mercado de ellos, pero lo hacen para poder tener caja. Es incipiente pre-comercial. En la fase clave donde se caen es en la de validación porque no se sabe cómo, o donde ni hay recursos. Todo el mundo puede llegar a un prototipo, después se complica.

(12) P: ¿Tienen vínculo con los centros de investigación?

A: La función de los centros que hay en Chile dependen del tipo de financiamiento, están los basales, milenio, los CORFO, y a veces un grupo de universidades que crean un centro con líneas de investigación que dependen de estos financiamientos. En un inicio se pedía solo conocimiento, pero se trata de potenciar lo tecnológico, sino se requiere autofinanciamiento. Nos relacionamos más con los CORFO, FIZER, el CEM y que en general tienen un componente más aplicado y comercial. Pero hay de todo. Nosotros trabajamos más en el ámbito de las empresas, cosa que se pueda levantar capital privado que les da ventaja. Ahí falta trabajar el tema de licenciamiento.

(13) P: ¿Se conoce el aporte al PIB de la industria biotecnológica?

A: Eso es super difícil de saber, aún no hemos llegado a ese nivel de detalle. Pero probablemente el aporte en el PIB es poco relevante hoy, nos preocupamos más en su potencial que conocemos.

Anexo III: Sistema de Innovación Biotecnológica (SIB) de Chile

En el siguiente enlace se encuentra una tabla con la información de las distintas entidades consideradas en la delimitación del SIB: <https://goo.gl/Rjnik1>