

CTCI

CONSEJO NACIONAL
DE CIENCIA, TECNOLOGÍA,
CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN
PARA EL DESARROLLO

Desarrollo de Orientaciones Estratégicas para el Impulso de Trayectorias Tecnológicas que aporten al Desarrollo Productivo Sostenible

INFORME FINAL DEL ESTUDIO

CHILE, DICIEMBRE DE 2023

AUTORES(AS)

IDOM Consulting, Engineering, Architecture S.A. Agencia en Chile

Equipo:

Joannes Granja Ibarretxe

Martín Gandolfo

Lenia Planas Serralta

Sergio Soza Amigo


Gorka Cobanera Jauregui

CONTRAPARTE TÉCNICA

Katherine Villarroel (Dirección)

Nicolás Didier

María José Menéndez



Los Documentos de Trabajo de la Secretaría Ejecutiva del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo, buscan abrir temas de discusión que permitan avanzar en el diseño consensuado de estrategias de largo plazo en estas materias y su contribución para el desarrollo del país.

A continuación, presentamos un estudio contratado por el Consejo y financiado con recursos del Programa de Desarrollo Productivo Sostenible, que busca identificar vulnerabilidades y oportunidades de Chile en conjuntos de tecnologías, a partir del análisis de factores de cambio global y de barreras del sistema nacional, que inciden en el desarrollo tecnológico, a través de una sistematización de los factores de cambio global y su vinculación con capacidades tecnológicas que aportan resiliencia y el análisis de su pertinencia con el sistema económico chileno. El objetivo de este estudio es servir de insumo a las orientaciones del Consejo CTCI para la política de Desarrollo Productivo Sostenible.

Cómo citar este documento:

IDOM (2023). Desarrollo de Orientaciones Estratégicas para el Impulso de Trayectorias Tecnológicas que aporten al Desarrollo Productivo Sostenible: Informe Final del Estudio. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo. Santiago, Chile.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1. RESUMEN EJECUTIVO	4
2. INTRODUCCIÓN	7
3. SISTEMATIZACIÓN DE FACTORES DE CAMBIO GLOBAL (FCG)	9
3.1 Análisis de países y regiones.....	11
3.2 Análisis de organismos internacionales.....	17
3.3 Síntesis de Factores de Cambio Global	30
4. TAXONOMÍA DE DOMINIOS TECNOLÓGICOS	33
4.1 Introducción	34
4.2 Definición de Dominios Tecnológicos para el Estudio	36
5. ANÁLISIS DE RESILIENCIA TECNOLÓGICA	40
5.1 Semiconductores y Microelectrónica.....	41
5.2 Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados	42
5.3 Robótica y Sistemas Autónomos	44
5.4 Tecnologías Cuánticas	45
5.5 Biotecnologías	46
5.6 Tecnologías de la Energía.....	48
5.7 Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas	49
5.8 Inteligencia Artificial.....	51
5.9 Otros mecanismos de resiliencia	52
5.10 Vinculación entre dominios tecnológicos y factores de cambio.....	53
6. DEFINICIÓN DE CADENAS DE VALOR PRODUCTIVAS EN CHILE	54
7. ANÁLISIS DE CADENAS DE VALOR	58
7.1 Minería	61
7.2 Actividad agrícola y frutícola	67
7.3 Actividad forestal e industria del papel	74
7.4 Pesca y acuicultura.....	80
7.5 Elaboración de vino.....	87
7.6 Suministro de energía eléctrica.....	93
7.7 Generación de otras formas de energía	100
7.8 Servicios empresariales	105
8. TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS PARA LA RESILIENCIA EN CHILE	110
8.1 Minería	111
8.2 Actividad agrícola y frutícola	112
8.3 Actividad forestal e industria del papel	113
8.4 Pesca y acuicultura	114
8.5 Elaboración de vino.....	115
8.6 Suministro de energía eléctrica.....	116
8.7 Generación de otras formas de energía	117
8.8 Servicios empresariales	118
8.9 Trayectorias comunes	119
9. IMPACTO ECONÓMICO DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO	120
9.1 Modelación Input-Output	121
9.2 Aplicación al caso chileno.....	122
10. BARRERAS Y DIFICULTADES EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE CHILE	125
10.1 Estudio de Caso I: Tecnologías de la Salud	127
10.2 Estudio de Caso II: Tecnologías Agroalimentarias	136
10.3 Estudio de Caso III: Resiliencia ante Desastres.....	145
11. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS	153
12. BIBLIOGRAFÍA	157
13. ANEXO I	166

1. RESUMEN EJECUTIVO

El análisis de las estrategias, agendas tecnológicas y documentos de prospectiva de **países**, tales como el “*Australian National Outlook*”, o el informe de prospectiva “*Hacia una Europa Justa y Sostenible en 2050*”, de la **Unión Europea**; y de organismos internacionales, como el reporte “*Perspectivas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI)*” de la **OCDE**, o el informe “*Crisis y fragilidad de la democracia en el mundo*” de Naciones Unidas, permiten definir un conjunto de **Factores de Cambio Global (FCG)**.

En este contexto, las **nuevas tecnologías** se presentan como un medio para maximizar la **capacidad de respuesta** frente a las situaciones de crisis y **minimizar el impacto ambiental** de la actividad productiva, especialmente vinculado al suministro energético, sin perder de vista la fiabilidad en el suministro de recursos estratégicos.

Es por ello que las naciones líderes en el desarrollo económico y productivo a nivel global están realizando fuertes apuestas por un **conjunto de Dominios Tecnológicos** que les permitirán “ser los primeros” en alcanzar ciertos hitos de desarrollo tecnológico e incrementar su capacidad de influencia sobre el desarrollo productivo y las cadenas de suministro globales. Los **Dominios Tecnológicos críticos y emergentes** identificados son:

- **Semiconductores y Microelectrónica**
- **Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados**
- **Robótica y Sistemas Autónomos**
- **Tecnologías Cuánticas**
- **Bioteconologías**
- **Tecnologías de la Energía**
- **Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**
- **Inteligencia Artificial**

Países y regiones como **China, Estados Unidos, la Unión Europea, Reino Unido y Australia** cuentan con **estrategias y directrices** para propiciar el desarrollo de tecnología propia, la atracción de talento, la implantación de infraestructura de punta y la conformación de cadenas de suministro fiables que les permitan lograr la independencia respecto a factores y contingencias externos.

Este contexto representa una señal de alarma para los **países en desarrollo**, que en general no han realizado todavía apuestas concretas por impulsar un **desarrollo tecnológico local** en algunas de estas **líneas tecnológicas estratégicas**. La falta de planes de acción para el desarrollo de tecnologías en las que los países pueden contar con capacidades locales fuertes puede derivar en economías con poco valor agregado, dependientes de la tecnología de terceros países y vulnerables al impacto de contingencias y factores exógenos negativos.

Al aterrizar el análisis en Chile, se identifican **8 cadenas de valor** con mayor peso en la **actividad económico-productiva**, a partir de su relevancia en el PIB, las exportaciones y el valor agregado que generan. Estas cadenas dependen, en general, de **recursos y materias primas obtenidas del medio natural**, y se ven afectadas por algunos de los **Factores de Cambio Global** previamente identificados. Estas cadenas de valor productivas son:

1. **Minería**
2. **Actividad agrícola y frutícola**
3. **Actividad forestal e industria del papel**
4. **Pesca y acuicultura**
5. **Elaboración de vinos**

6. Suministro de energía eléctrica
7. Generación de otras formas de energía
8. Servicios empresariales

Tanto desde el sector público como privado se han implementado medidas para **hacer frente a las amenazas** y para **abordar oportunidades** con las que el país cuenta. En especial, existe un compromiso de muchos sectores por hacer frente a los efectos asociados con el **cambio climático** y **propiciar la resiliencia climática y económica**.

Sin embargo, muchas de las **iniciativas** que buscan impulsar la **resiliencia** a través del **desarrollo tecnológico** son **aisladas** y carecen de medios para su escalamiento y continuidad en el tiempo. De allí que se detecten una serie de brechas con respecto a otros países líderes en el desarrollo productivo sostenible.

A partir de este análisis, se pueden identificar una serie de **trayectorias tecnológicas** que el país podría abordar para dar **continuidad a los esfuerzos** realizados hasta el momento, **incrementar el valor agregado** y la **competitividad** de su matriz productiva, y vincular a las principales cadenas de valor a un desarrollo sostenible.

Por último, se identifican las **barreras y dificultades** que Chile se ha encontrado en su **trayectoria reciente de desarrollo tecnológico**, en **tres sectores** seleccionados a partir de la evolución y el impulso que se ha dado desde el sector público y privado; estos sectores son:

- **Tecnologías de la Salud**
- **Tecnologías Agroalimentarias**
- **Tecnologías de Resiliencia ante Desastres**

Las **principales barreras** que dificultan la continuidad en el desarrollo tecnológico tienen que ver con la **falta de mecanismos de articulación y coordinación** de esfuerzos entre los agentes capaces de promover el desarrollo tecnológico, así como un **capital financiero insuficiente** para el desarrollo.

2. INTRODUCCIÓN

El presente **Informe Final del Estudio** integra los principales resultados del Estudio de “**Desarrollo de Orientaciones Estratégicas para el Impulso de Trayectorias Tecnológicas que aporten al Desarrollo Productivo Sostenible**”. El documento aborda el análisis de los principales **Dominios Tecnológicos** que actúan como **mecanismos de resiliencia** frente a **Factores de Cambio Global** que están afrontando los países en la actualidad, y las posibles **trayectorias tecnológicas** para impulsar la **resiliencia** en las principales **cadena de valor productivas** de Chile, así como un análisis de **barreras y dificultades** con las que el país se ha topado en su trayectoria tecnológica pasada.

En primer lugar, se identifican los **Factores de Cambio Global**, surgidos de la sistematización de tendencias que pueden ser interpretadas como centrales para el desarrollo productivo sostenible, y que se identifican en informes de prospectiva, agendas tecnológicas y documentos estratégicos de países y de organismos internacionales.

Por otro lado, se define un conjunto de **Dominios Tecnológicos** que pueden contribuir a la **resiliencia económica** y al **Desarrollo Productivo Sostenible (DPS)**. Se trata de tecnologías críticas, por ser de interés nacional para los países líderes en el desarrollo tecnológico, y emergentes, por su bajo grado de madurez, su potencial impacto en la transición hacia un desarrollo sostenible y las ventajas competitivas que podrían generar aquellos territorios que sean pioneros en su desarrollo.

Asimismo, se realiza una aproximación a la manera en que los **Dominios Tecnológicos** se constituyen como **mecanismos de resiliencia económica** frente a los **FCG** y como medio de **implementación del DPS** en las sociedades del mundo. Se plantea un **enfoque de resiliencia económica y tecnológica** adaptada al Estudio, en el que los mecanismos de resiliencia no implican solo una recuperación frente a desajustes y contrariedades, sino la adaptación ante nuevos paradigmas de desarrollo económico marcados por el Desarrollo Productivo Sostenible.

Pasando a un análisis de la situación de Chile, el **desarrollo productivo chileno** tiene como base la **utilización de recursos naturales**, y esta actividad productiva se encuentra afectada por las consecuencias del **cambio climático** y otras asociadas a la crisis ambiental, como sequías, e incendios forestales. De allí que **la resiliencia económica se traduzca en una resiliencia climática**, que tendrá que irse ampliando en la consideración de otros elementos a la crisis planetaria.

En este marco surge la **Ley Marco de Cambio Climático**¹, que define a la **resiliencia climática** como la **“capacidad de un sistema o sus componentes para anticipar, absorber, adaptarse o recuperarse de los efectos adversos del cambio climático, manteniendo su función esencial, conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación”**.

El estudio busca identificar **de qué manera el desarrollo tecnológico puede contribuir a esa resiliencia**. Para ello, se parte de un **análisis del impacto de un conjunto de Factores de Cambio Global** en las principales **cadena de valor productivas** de Chile.

Se identifican las **capacidades** con las que el país cuenta para **hacer frente a estas situaciones de cambio**, y cuáles son las **posibles trayectorias tecnológicas** para promover la resiliencia climática en el futuro, a partir de brechas detectadas a nivel nacional. Asimismo, se analiza el **impacto del desarrollo tecnológico** en la **economía en una de las cadenas de valor**, tomada como referencia, tanto a partir de un **incremento en los niveles de producción** como en el **nivel de empleo**.

Por último, se analiza el **desempeño del país** en cuanto a **desarrollo tecnológico** en el pasado reciente, en aquellos sectores que el **Estado de Chile** ha promovido **trayectorias tecnológicas** con éxito. Para cada caso, se presenta el **contexto y evolución sectorial y tecnológica** en el país, los avances acontecidos en los últimos años y los logros alcanzados, así como casos concretos de referencia en cada ámbito. En especial, el estudio de casos se concentra en las **barreras** que cada sector presenta y que Chile debe resolver para impulsar la **resiliencia basada en tecnologías**.

¹ Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2022). *Ley Marco de Cambio Climático*.
<https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286>

3. SISTEMATIZACIÓN DE FACTORES DE CAMBIO GLOBAL (FCG)

Numerosos **documentos estratégicos, estudios de futuro, reportes e informes** elaborados por **los países** que buscan promover el **desarrollo productivo sostenible** y por **organismos internacionales** presentan un **análisis de tendencias y Factores de Cambio Global**, a los cuales buscan hacer frente las naciones a través del **desarrollo tecnológico**.

Como base para la sistematización de los Factores de Cambio Global se realiza un análisis de **escenarios y tendencias** presentes en las **políticas nacionales de desarrollo tecnológico** para el **desarrollo productivo sostenible**, en varios **países de referencia**, así como **otros informes de prospectiva que analizan y proyectan** posibles **escenarios de futuro y tendencias** vinculadas al **desarrollo productivo sostenible**.

A **nivel de países y regiones**, se analizan los siguientes estudios, estrategias e informes:

1. **Estados Unidos:** Ley de Reducción de la Inflación (IRA, por sus siglas en inglés)
2. **Unión Europea:** Hacia una Europa Justa y Sostenible en 2050
3. **Australia:** Australian National Outlook
4. **Canadá:** On the Horizon: Perspectivas para el futuro de Canadá basado en Tecnología
5. **Unión Europea:** Plan Industrial del Pacto Verde para la Era de Cero Emisiones Netas
6. **Reino Unido:** El plan de Diez Puntos para una Revolución Industrial Verde
7. **América Latina:** Latinamerica Economic Outlook
8. **Suecia:** Estrategia para la Cooperación Global en materia de Desarrollo Económico Sostenible 2022-2026
9. **Finlandia:** Estrategia de la Comisión Nacional de Desarrollo Sostenible 2022-2030
10. **Singapur:** "Prospectiva" y "Fuerzas Impulsoras 2040", del Centro de Estrategias Futuras de Singapur

En cuanto a **organismos internacionales**, se analizan documentos de las siguientes entidades:

1. **Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)**
2. **Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)**
3. **Banco Mundial (BM)**
4. **Organización de Naciones Unidas (ONU)**
5. **Organización Mundial de la Salud (OMS)**
6. **Organización Meteorológica Mundial (WMO)**
7. **Fondo Monetario Internacional (FMI)**
8. **Agencia de la ONU para Refugiados (ACNUR)**
9. **Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)**
10. **Banco Interamericano de Desarrollo (BID)**
11. **World Economic Forum (WEF)**
12. **Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)**
13. **Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD)**
14. **World Resources Institute (WRI)**
15. **Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)**
16. **Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA)**
17. **Agencia Internacional de la Energía (IEA)**
18. **Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)**
19. **Organización Mundial de Comercio (OMC)**

Para cada caso, se realiza una descripción de los documentos, así como una identificación preliminar de Factores de Cambio Global asociados.

3.1 Análisis de países y regiones



1. Estados Unidos – Ley de Reducción de la Inflación (IRA)

Descripción

La “**Ley de Reducción de la Inflación**”² representa la nueva política industrial estadounidense, cuyo principal objetivo es, entre otros, **frenar la inflación** mediante la reducción del déficit, **limitar los precios de los medicamentos** y **promover el suministro de energías limpias**, mediante la **reducción del costo de las tecnologías de energías renovables**.

Por un lado, se visualiza esta ley como una **medida proteccionista**, ya que, por ejemplo, exige que los **vehículos eléctricos** se ensamblen en Estados Unidos y que las baterías que contienen se fabriquen con componentes extraídos o procesados en Estados Unidos o en sus socios en tratados de libre comercio, para poder acceder a los subsidios.

En términos generales, la Ley de Reducción de la Inflación es una nueva medida de política industrial que buscan **captar el valor económico total de las cadenas de suministro**. Tras la invasión rusa de Ucrania, estas dificultades económicas para la globalización se combinaron con catalizadores geopolíticos de fragmentación mientras se reconfiguraron las alianzas políticas y económicas en **nuevos bloques regionales**. Por otro lado, esta ley persigue el objetivo de **contrarrestar la influencia de China**, que actualmente domina determinadas industrias como la fabricación de paneles solares y baterías, y el refinado y **procesamiento de minerales críticos**.

Factores de Cambio Globales identificados

- Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal
- Faltante de medicamentos
- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Creciente demanda global de minerales críticos
- Impulso a la movilidad sostenible e inteligente
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Implementación de medidas proteccionistas
- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación
- Crecimiento del regionalismo comercial



2. Unión Europea - Hacia una Europa Justa y Sostenible en 2050

Descripción

El estudio prospectivo³ explora los cambios posibles y necesarios en los sistemas sociales y económicos europeos a la vez que la Unión Europea se compromete a gestionar las transiciones hacia la sostenibilidad en vistas a 2050. Con este enfoque, el estudio presenta **áreas estratégicas de intervención** que abarcan un nuevo contrato social, la gobernanza para la sostenibilidad, las personas y la economía, y la perspectiva global de la sostenibilidad. Los **principales factores** que **afectan este posible futuro** tienen que ver con la **geopolítica**, en especial por los efectos del conflicto bélico en Ucrania y el posicionamiento de China en Ciencia y Tecnología.

² Gobierno de EE.UU. (2022). *Inflation Reduction Act*. <https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/inflation-reduction-act-guidebook/>

³ Comisión Europea (2023). *Towards a fair and sustainable Europe 2050: Social and economic choices in sustainability transitions*. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC133716>

Se fundamenta en un análisis de escenarios que permite establecer cuatro núcleos de intervención para el territorio:

- **Un nuevo contrato social:** ante el descontento que afrontan las democracias por la creciente desigualdad en las sociedades, se busca una transición a un modelo donde los servicios esenciales se dirijan a promover el bienestar de las personas.
- **Modelos de gobernanza:** estableciendo nuevos roles a nivel regional, nacional y local para asegurar una democracia transparente. Las finanzas públicas y las inversiones se deben canalizar hacia sistemas que promuevan la sostenibilidad.
- **Personas y economía para la sostenibilidad:** para asegurar que los sistemas educativos formen a las personas con las competencias que requiere el futuro sostenible, y que los modelos de negocio públicos y privados se sumen a esta transición.
- **Perspectiva global de sostenibilidad:** a partir de la necesaria reconfiguración de las cadenas de valor globales por las circunstancias geopolíticas que atraviesa el mundo, las alianzas no solo deben promover la competitividad sino el desarrollo económico sostenible.

De allí que Europa afiance su posicionamiento como promotor de regulaciones dirigidas a instaurar cadenas de valor sostenibles. Así surge el **CBAM (Mecanismo de Ajuste de Emisiones de Carbono en la Frontera, por sus siglas en inglés)**, que obligará a los importadores de ciertos bienes intensivos en carbono, producidos fuera de la UE, a pagar un impuesto adicional por su importación. Y los **Estándares Europeos de Reportes para la Sostenibilidad (ESRS)**; esto impulsa la transparencia en el abordaje del cambio climático, pero genera mayores costos para las empresas y afecta su competitividad.

Factores de Cambio Global identificados

- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas
- Nivel elevado de inflación subyacente
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Crisis de la democracia
- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Establecimiento de estándares globales para reducir la contaminación a través de plásticos
- Gobernanza Social y Ambiental (ESG) en las empresas



3. Australia - Australian National Outlook

Descripción

Australia ha atravesado tres décadas de crecimiento económico ininterrumpido y ha abordado una serie de retos que convierten al país en uno de los más atractivos para vivir. Sin embargo, el reporte⁴ reconoce que **no hay garantías de que este período de bonanza se extienda de forma indefinida en el tiempo**. Por lo tanto, se identifican una **serie de desafíos**, es decir, un conjunto de **cambios que se están dando en el mundo y a los que Australia debe adaptarse**.

Entre estos factores, el documento destaca: **i) el auge de Asia**, ya que se espera que para 2030 la región de Asia-Pacífico sea hogar de un 65% de la clase media mundial; **ii) el cambio tecnológico**, que alterará el modelo de negocio de la industria tradicional y requerirá nuevas habilidades y capacidades de las personas; **iii) el cambio climático y ambiental**, que requiere tomar acciones de

⁴ CSIRO (2019). *Australia National Outlook (ANO)*. <https://www.csiro.au/en/work-with-us/services/consultancy-strategic-advice-services/csiro-futures/innovation-business-growth/australian-national-outlook>

forma urgente; **iv) la demografía**, con poblaciones envejecidas que ponen presión sobre las ciudades, la infraestructura y los servicios públicos; **v) la confianza decreciente en gobiernos y empresas** que dificulta el alcance de consensos con la sociedad; y **vi) la cohesión social** para que los avances y el crecimiento económico se traduzcan en mejoras en la calidad de vida de toda la sociedad.

Factores de Cambio Global identificados

- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación
- Crisis de la democracia
- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico
- Pérdida de biodiversidad y colapso de ecosistemas
- Creciente demanda global de minerales críticos



4. Canadá - On the Horizon: Perspectivas para el futuro de Canadá basado en Tecnología

Descripción

Tras afrontar el período crítico de la pandemia de Covid-19, el documento⁵ plantea que **Canadá volverá a poner su atención en atravesar un futuro que estará marcado por el cambio climático y la degradación del medio ambiente**. La economía canadiense tendrá que descubrir formas innovadoras de **mantener su competitividad** a medida que **los datos y la información** se conviertan en los **factores clave de la producción** y que la **rivalidad** entre las **superpotencias estadounidense y china** plantee **nuevos retos y oportunidades** para las relaciones comerciales y de inversión tradicionales de Canadá.

La **atención sanitaria** tendrá que adoptar un abanico cada vez más amplio de tratamientos y tecnologías innovadoras, al tiempo que **hace frente a un reto fiscal** (es decir, mayor gasto público) ante el envejecimiento de la población. Esta evolución se producirá en un **contexto social y político** que **ha empezado a reconocer y abordar las desigualdades existentes** desde hace tiempo en el reparto de oportunidades y cargas entre los distintos grupos de la sociedad canadiense, especialmente los pueblos indígenas y las minorías raciales.

Factores de Cambio Global identificados

- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Tendencia ascendente de la deuda pública
- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Desaceleración del comercio internacional
- Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico
- Pérdida de biodiversidad y colapso de ecosistemas
- Políticas monetarias restrictivas
- Faltante de medicamentos

⁵ Gobierno de Canadá (2021). *On the horizon: Several perspectives on Canada's technology future - 2030–35*. <https://nrc.canada.ca/en/corporate/planning-reporting/horizon-several-perspectives-canadas-technology-future-2030-35>



5. Unión Europea – Plan Industrial del Pacto Verde para la Era de Cero Emisiones Netas

Descripción

Como respuesta a la Ley de Reducción de la Inflación, y como parte de la carrera hacia la implementación de tecnologías limpias para el desarrollo sostenible y respuesta al cambio climático, la Unión Europea ha puesto en marcha el “*Plan Industrial del Pacto Verde para Europa*”⁶.

La industria europea se ha visto amenazada desde todos los flancos: **perturbaciones de las cadenas de suministro, aumento de los tipos de interés**, de los **costes de la energía** y de los **precios de los insumos**. Por todo ello, Europa necesita un **Nuevo Plan Industrial del Pacto Verde**⁷, que formará parte del Pacto Verde Europeo, que aspira a situar al territorio en la senda hacia la neutralidad climática y marcar el rumbo a escala mundial en la era industrial de cero emisiones netas.

Del mismo modo, este Plan incide en la **brecha de género** existente en el sector de las tecnologías de cero emisiones netas, y su representación en la educación superior en los subcampos de ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas.

Asimismo, el Plan contempla las concesiones y los incentivos para que las empresas y consumidores utilicen tecnologías de cero emisiones netas basadas en la **circularidad**. Por último, el Plan visualiza como objetivo **la independencia energética sobre Rusia** para el año 2030.

Factores de Cambio Globales identificados

- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Exigencia transversal en igualdad de género
- Auge de prácticas en economía circular
- Políticas monetarias restrictivas
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Incremento y volatilidad en el precio de las materias primas derivado por factores geopolíticos
- Diversificación de matriz de proveedores energéticos



6. Reino Unido – El plan de Diez Puntos para una Revolución Industrial Verde

Descripción

El “*Plan de Diez Puntos para una Revolución Industrial Verde*”⁸ reúne una serie de políticas e inversiones públicas para 2030 en el ámbito de la energía, construcción, transporte, innovación y medioambiente, que permita a Reino Unido ser un líder global en la nueva Revolución Industrial Verde. Por otro lado, entre los diez puntos de la estrategia se encuentran, el **desarrollo de energía nuclear** nueva y avanzada, la **emisión de bonos soberanos verdes**, la **financiación del desarrollo tecnológico verde** o el **transporte de bajas emisiones**.

Factores de Cambio Globales identificados

- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Gobernanza Social y Ambiental (ESG) en empresas
- Impulso a la movilidad sostenible e inteligente
- Incorporación de la energía nuclear como fuente de energía vinculada al desarrollo sostenible

⁶ Comisión Europea (s.f). *Plan Industrial del Pacto Verde*. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_es

⁷ Comisión Europea (2023). *Un Plan Industrial del Pacto Verde para la era de cero emisiones netas*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0062>

⁸ Gobierno de Reino Unido (2020). *The ten point plan for a green industrial revolution*. <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution>

7. LatinAmerica Economic Outlook 2023

Descripción

América Latina⁹ está enfrentando diversos retos que impactarán en las perspectivas económicas del territorio a corto plazo. Sin embargo, uno de los retos más significativos del continente es el **descenso del respaldo electoral al centro moderado político**, en pro de los movimientos políticos populistas.

A pesar del complejo contexto económico político global, en donde las relaciones comerciales entre China y Estados Unidos son cada vez más distantes, existe una oportunidad para los países latinoamericanos a través del **nearshoring**. Además, Latinoamérica alberga muchos de los mayores yacimientos mundiales de **minerales cruciales y demandados** para la transición energética mundial como el litio o el cobre. El informe también establece que la **escasez de recurso hídrico** ganará protagonismo en las cuestiones políticas, en donde además existen muchas posibilidades de que se produzca el **patrón climático de La Niña** durante los próximos meses.

Factores de Cambio Globales identificados

- Crisis de la democracia
- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico
- Creciente demanda de minerales críticos
- Fomento de políticas de *nearshoring*
- Crecimiento del regionalismo comercial



8. Suecia - Estrategia para la Cooperación Global en materia de Desarrollo Económico Sostenible 2022-2026

Descripción

Con una perspectiva de **cooperación internacional**, Suecia promueve el **apoyo a los territorios más afectados por las condiciones de pobreza y opresión**¹⁰. La Estrategia se da en un contexto donde **más de 700 millones de personas** en el mundo viven en **condiciones de pobreza**; se resalta que la **pandemia del Covid-19** incrementó esta **brecha** y detuvo las acciones que se dirigían a mejorar las condiciones de vida de las personas. Esto también ha **incrementado la brecha de género**, reduciendo las oportunidades para las mujeres y niñas. La **invasión rusa de Ucrania** ha socavado aún más la **seguridad alimentaria** mundial. Al mismo tiempo, aproximadamente la **mitad de la población mundial** carece de acceso a una **protección social** que pueda resguardarla frente a la pérdida de ingresos y la vulnerabilidad económica. La **migración involuntaria y el número de desplazados** han seguido aumentando debido a los conflictos, la inseguridad económica y el cambio climático.

Factores de Cambio Globales identificados

- Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza
- Crisis de la democracia
- Incremento en el número de personas desplazadas forzosamente
- Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal
- Faltante de medicamentos
- Exigencia transversal del enfoque en igualdad de género

⁹ Economist Intelligence Unit (2023). *Latin America outlook 2024*. <https://www.eiu.com/n/campaigns/latin-america-outlook-2024/>

¹⁰ Gobierno de Suecia (2022). *Strategy for Sweden's global development cooperation on sustainable economic development 2022–2026*. <https://www.government.se/international-development-cooperation-strategies/2023/01/strategy-for-swedens-global-development-cooperation-on-sustainable-economic-development-20222026/>



9. Finlandia – Estrategia de la Comisión Nacional de Desarrollo Sostenible 2022-2030

Descripción

Finlandia¹¹ ha experimentado **décadas de continuo crecimiento** y constituye uno de los territorios con los **mejores índices de condiciones de vida** para sus **habitantes**. A **nivel económico**, su crecimiento se ha apoyado en la **competencia e innovación**; no obstante, **los recursos naturales han tenido un rol crucial** en este crecimiento. De allí que tomen creciente relevancia el **cambio climático** y la **pérdida de la biodiversidad** en los **ecosistemas naturales** fineses. La **Estrategia** parte de la concepción de que dados los **límites que tienen los recursos naturales**, la actividad económica debe garantizar un **entorno operativo seguro y estable**, reducir los conflictos en la sociedad y reforzar continuamente la cohesión social. Aunque el Gobierno es el principal responsable de la aplicación de la Agenda 2030, la consecución de los objetivos no es posible sin la **contribución y la participación de toda la sociedad**. La tarea de la Comisión Nacional de Desarrollo Sostenible consiste en implicar a toda la sociedad finlandesa en los trabajos sobre desarrollo sostenible.

Finlandia plantea seis áreas de cambio en las que basar el futuro económico y social del país, para un futuro sostenible:

- i) Economía y trabajo promoviendo el bienestar y el consumo sostenible
- ii) Educación, competencia y estilos de vida sostenibles
- iii) Bienestar, salud e inclusión social
- iv) Sistemas alimentarios que promueven el bienestar
- v) Uso de bosques, agua y tierra para promover la biodiversidad y la neutralidad en carbono
- vi) Un sistema energético sostenible

Factores de Cambio Global identificados

- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas
- Nivel elevado de inflación subyacente
- Crisis de las cadenas de suministro globales



10. Singapur – “Prospectiva” y “Fuerzas Impulsoras 2040”, del Centro de Estrategias Futuras de Singapur

Descripción

Singapur¹² plantea 3 tipos de resiliencia frente a los potenciales efectos del cambio climático:

- **Resiliencia climática:** haciendo frente a las amenazas que plantea el cambio climático, en particular la elevación de los niveles del mar (que afectan especialmente al país)
- **Resiliencia de recursos:** para asegurar el suministro de recursos críticos en el tiempo
- **Resiliencia económica:** para asegurar que las restricciones que plantea el cambio climático y la situación geopolítica no ponen en riesgo la competitividad económica

Frente a este triple objetivo, surgen una serie de factores que Singapur identifica como claves hacia 2040.

¹¹ Gobierno de Finlandia (2022). *Strategy of the National Commission on Sustainable Development 2022–2030*. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164157>

¹² Singapur Centre for Strategic Futures (2022). *Driving Forces 2040*. <https://www.csf.gov.sg/media-centre/publications/csf-df-cards/>

- El **entramado geopolítico complejo** y caracterizado por la **confrontación entre China y EE.UU.**
- Una **globalización** que ha permitido el crecimiento global de la clase media, pero que a su vez pone de manifiesto una **desigualdad cada vez mayor** y una fragilidad evidenciada por la pandemia.
- **Cambios geopolíticos derivados de la transición energética:** se plantea la posibilidad de un abandono de los hidrocarburos y la creciente demanda de minerales y materiales críticos, que podrían obligar a un cambio de paradigma en el modelo de negocio de las grandes empresas (p.ej. las del sector de petróleo y gas).
- El **incremento de fenómenos climáticos extremos** y el **uso indiscriminado del suelo** ponen en peligro los entramados económicos basados en recursos naturales, especialmente la agricultura.
- La aparición de **minerales extraíbles y utilizables en lecho marino**, en el Mar de la China Meridional.

Factores de Cambio Global identificados

- Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza
- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Pérdida de biodiversidad y colapso de ecosistemas
- Creciente demanda global de minerales críticos
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación

3.2 Análisis de organismos internacionales

1. Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE)

Descripción

El Informe de **"Perspectivas de Ciencia, Tecnología e Innovación (CTI)"** de la OCDE 2023, titulado **"Facilitando transiciones en tiempos de disrupción"**, destaca la importancia de las políticas de CTI para **construir resiliencia**, especialmente en el **contexto de la pandemia y la agresión de Rusia contra Ucrania**. Se enfatiza que la **cooperación internacional** es crucial, pero se ve desafiada por **tensiones geopolíticas** y **competencia estratégica** en **tecnologías emergentes** clave. El informe aborda la necesidad de adaptar las políticas de CTI a nuevas condiciones, examinando tendencias como la **preocupación por la ascendencia de China en tecnologías de punta**, la **competencia estratégica** y la **interdependencia en cadenas de suministro tecnológicas**. Se destaca la **preocupación por la competencia estratégica, especialmente con China**, en tecnologías críticas y la **necesidad de políticas de CTI** para facilitar **transiciones hacia la sostenibilidad**, impulsando la innovación baja en carbono y abordando la urgencia del cambio climático¹³.

En materia económica, la OCDE presentó recientemente su informe titulado **"Afrontar la inflación y el bajo crecimiento"**¹⁴, donde se afirma que la influencia de una **política monetaria más ajustada** se vuelve cada vez más evidente, **la confianza empresarial y del consumidor ha disminuido**, y el **repunte en China ha perdido fuerza**. Se proyecta que el **crecimiento del PIB global** se mantenga **por debajo del promedio en 2023 y 2024** debido al **ajuste de la política macroeconómica necesario para contener la inflación**. Aunque la inflación general está disminuyendo, **la inflación subyacente persiste en muchas economías**, y se espera que, aunque se modere gradualmente,

¹³ OCDE (2023). *Science, Technology and Innovation Outlook 2023*. <https://www.oecd.org/sti/science-technology-innovation-outlook/>

¹⁴ OECD (2023). *Enfrentar la inflación y el bajo crecimiento. Perspectivas económicas de la OCDE, informe provisional de septiembre de 2023*. <https://www.oecd.org/economic-outlook/september-2023/>

permanezca por encima de los objetivos de los bancos centrales. Además, una **desaceleración más fuerte de lo esperado en China constituye un riesgo adicional**. Se destaca la **necesidad de una política monetaria restrictiva** hasta que haya señales claras de que las presiones subyacentes de la inflación hayan disminuido de manera duradera.

Por último, el informe **“Escasez de medicamentos en los países de la OCDE”** reporta una alarma sobre **desabastecimientos en medicamentos e insumos farmacéuticos** notificados por los titulares de autorizaciones de comercialización, que se deben principalmente a **problemas (exógenos) de fabricación y calidad (en aproximadamente el 60% de los casos)**. Los problemas de fabricación y calidad incluyen, por ejemplo, **problemas de calidad de producción o defectos en cualquier componente de un producto; escasez de insumos; suspensión temporal y permanente de la producción** debido, por ejemplo, a problemas técnicos de producción o incumplimiento de las Buenas Prácticas de Fabricación, o **cierre o traslado del lugar de fabricación**. En relación con esto, los debates políticos también apuntan a los problemas de **concentración de la fabricación**, o a la **disponibilidad limitada de instalaciones de fabricación** para producir determinadas categorías de productos.

Factores de Cambio Global identificados

- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación
- Nivel elevado de inflación subyacente
- Políticas monetarias restrictivas
- Faltante de medicamentos

2. Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Descripción

El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), a través de su informe **“La crisis mundial del costo de vida, intensificada por la guerra en Ucrania, empuja a decenas de millones de personas a la pobreza”**¹⁵, alerta sobre un **aumento significativo de la pobreza en los países en desarrollo**, vinculado a las **altas tasas de inflación** desde marzo de 2022. Se estima que **71 millones de personas se han sumido en la pobreza** como consecuencia de esta situación. Además, el **aumento de las tasas de interés** en respuesta a la inflación plantea el **riesgo de una mayor pobreza inducida por la recesión**, exacerbando la crisis global y profundizando la pobreza en todo el mundo. Los países en desarrollo, con reservas fiscales agotadas y altos niveles de deuda soberana, enfrentan desafíos que requieren ayuda urgente de la comunidad internacional.

El informe destaca que los impactos inmediatos y devastadores del aumento de los precios de los productos básicos **afectan especialmente a las regiones de los Balcanes, los países de la región del Mar Caspio y el África Subsahariana**, especialmente la región del Sahel. La crisis del costo de vida, impulsada por la inflación y otros factores, está llevando a millones de personas a la pobreza y el hambre a un ritmo alarmante. Aunque se observa cierto optimismo respecto a las perspectivas personales en algunas regiones, las decisiones difíciles que enfrentan los encargados de formular políticas se centran en **equilibrar el alivio a corto plazo para los hogares pobres** con la lucha contra la reducción del espacio fiscal y el **aumento de la deuda en los países en desarrollo**. Además, se destaca la **importancia de medidas internacionales**, como la reducción de la deuda pública, para abordar estos desafíos económicos y proteger a las comunidades más marginadas del mundo.

¹⁵ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2022). *La crisis mundial del costo de vida, intensificada por la guerra en Ucrania, empuja a decenas de millones de personas a la pobreza*. <https://www.undp.org/es/press-releases/la-crisis-mundial-del-coste-de-vida-intensificada-por-la-guerra-en-ucrania-empuja-decenas-de-millones-de-personas-a-la-pobreza>

Por otro lado, en un estudio de futuros realizado por el PNUD, denominado **“Repensar la gobernanza de ESG”**¹⁶, se destaca que los gobiernos, reconociendo la importancia de una **gobernanza más sólida** en materia de **ESG**, están adoptando nuevas regulaciones que incrementan las exigencias sobre las empresas en materia de sostenibilidad. Los criterios ESG (ambientales, sociales y de gobierno corporativo) y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 están intrínsecamente relacionados en la **gestión de la responsabilidad corporativa** y la **sostenibilidad empresarial**. Los criterios ESG, que incluyen aspectos como el impacto ambiental, la relación con la sociedad y la transparencia corporativa, se alinean con los ODS que abordan cuestiones específicas, desde el cambio climático hasta la igualdad de género. Esta relación se ha vuelto esencial en la comunicación de las empresas con los consumidores y en su compromiso con la sostenibilidad. En el documento, la necesidad de métricas claras, verificables y estandarizadas es destacada, y se plantea la pregunta de si se está comunicando adecuadamente el valor real de ESG, especialmente en el contexto del crecimiento sostenible.

Factores de Cambio Global identificados

- Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza
- Gobernanza Social y Ambiental (ESG) en las empresas

3. Banco Mundial

Descripción

Una de las **temáticas** que el Banco Mundial evalúa de forma empírica es la **pobreza**¹⁷. El organismo tiene como **objetivos principales poner fin a la pobreza extrema y promover la prosperidad compartida** en alrededor de 140 países. Sin embargo, la **tendencia positiva de reducción** constante de la **pobreza extrema se interrumpió en 2020** debido a la **crisis de la Covid-19, conflictos geopolíticos y el cambio climático**. La pandemia provocó un aumento de la pobreza, especialmente entre mujeres, jóvenes y trabajadores informales, exacerbando la desigualdad. Aunque la pobreza mundial ha retomado su descenso, se proyecta que **entre 75 y 95 millones más de personas podrían vivir en la pobreza extrema** debido a los efectos persistentes de la pandemia, la guerra en Ucrania y el aumento de la inflación. El Banco Mundial **aboga por estrategias específicas**, como **políticas de protección social** para mitigar el impacto en las familias pobres y la necesidad de medidas de política significativas para alcanzar el objetivo de reducir la tasa absoluta mundial de pobreza a menos del 3% para 2030.

Otro tema central de análisis y monitoreo para el Banco Mundial es el **suministro de energía** para la población¹⁸. La energía es **fundamental** para el **desarrollo y la creación de empleo**, pero **cerca de 733 millones de personas carecen de acceso a la electricidad** en todo el mundo, y al ritmo actual, se estima que 670 millones seguirán sin electricidad para 2030. Las **crisis energéticas recientes**, impulsadas por la **pandemia** y la **guerra en Ucrania**, han provocado un aumento en los precios de los combustibles, **afectando a países en desarrollo, especialmente a importadores de energía**. Estos enfrentan racionamientos y mayor pobreza, con **90 millones de personas en Asia y África que, tras haber obtenido acceso a la electricidad, no pueden pagar sus necesidades energéticas básicas**. Para abordar estos desafíos y mitigar el cambio climático, se destaca la **importancia de las energías renovables**, como la solar y la eólica, que son abundantes, rentables y pueden proporcionar una fuente de energía confiable. Sin embargo, se necesita un **aumento significativo en la inversión en energía limpia**, especialmente en países en desarrollo, donde la falta de acceso al financiamiento y la incertidumbre macroeconómica y política dificultan las inversiones en este sector. Asimismo, es de interés el impulso de **acuerdos y cooperación para el suministro de países importadores netos**

¹⁶ Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2023). *Repensar la gobernanza de ESG*. <https://www.undp.org/future-development/signals-spotlight/rethinking-governance-esg>

¹⁷ Banco Mundial (2022). *Pobreza*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/overview>

¹⁸ Banco Mundial (2022). *Energía*. <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview>

de energía. En conjunto, se promueve el establecimiento de matrices de suministro diversificadas y de base preminentemente renovable, para asegurar el suministro en el largo plazo.

Factores de Cambio Global identificados

- Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza
- Diversificación de la matriz de proveedores energéticos
- Crisis de las cadenas de suministro globales

4. Organización de Naciones Unidas (ONU)

Descripción

Bajo el título de “**Crisis y fragilidad de la democracia en el mundo**”¹⁹, la ONU se pronunció respecto a la **situación de fragilidad de las democracias**. El artículo aborda desafíos globales como la **crisis alimentaria, energética y financiera**, así como el **aumento de desplazamientos forzados** debido a conflictos y eventos como la invasión rusa de Ucrania. Se resalta la **debilitación de la democracia**, el **incremento de la desconfianza en las instituciones** y la **importancia de fortalecer los mecanismos democráticos**, abogando por un “**Nuevo Contrato Social**” que aborde desigualdades, corrupción y cambio climático. Se hace hincapié en la **resiliencia de la democracia**, señalando la **adaptación de mecanismos democráticos** durante la pandemia y el crecimiento de movimientos sociales. Se insta a **fortalecer las instituciones democráticas**, invertir en **educación cívica y libertad de expresión**, y promover la participación pública. Se concluyó con un llamado a un esfuerzo conjunto basado en principios para superar obstáculos y avanzar en pro de los derechos humanos, la igualdad y la democracia, reconociendo el **papel crucial que instituciones académicas** pueden desempeñar en esta lucha.

Por otro lado, el “**Informe de Perspectivas Mundiales de la Biodiversidad**”²⁰ actúa como una llamada de atención y un estímulo para considerar los **peligros involucrados en la relación actual de la humanidad con la naturaleza**. La **pérdida continua de biodiversidad** y la **degradación en curso de los ecosistemas** tienen profundas **consecuencias** para el bienestar humano. El informe destaca que, a medida que la naturaleza se degrada, surgen nuevas oportunidades para la **propagación de enfermedades devastadoras**, como ocurrió con el Covid-19. Aunque se destaca el progreso alentador en algunas áreas, como la **disminución de las tasas de deforestación** y la **conciencia creciente sobre la importancia de la biodiversidad**, el informe subraya que la **financiación insuficiente** para acciones vinculadas a la biodiversidad y los **gastos considerables en actividades perjudiciales para el medio natural**, como los **combustibles fósiles**, son preocupantes. El informe aboga por transiciones hacia un planeta más saludable, proponiendo la **restauración y conservación de ecosistemas** y una **gestión sostenible de los océanos**.

La **Igualdad de Género**²¹ es otro de los desafíos globales para la ONU; a pesar de los avances, aún persisten **desafíos significativos** en la plena igualdad de derechos y oportunidades entre hombres y mujeres. Las Naciones Unidas han desempeñado un papel crucial en la promoción de la igualdad de género desde su creación, incorporando este **principio en normas internacionales de derechos humanos**. Los **Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** de la ONU incluyen **metas específicas para lograr la igualdad de género**, reconociendo el papel esencial de las mujeres en todos los aspectos del desarrollo. A pesar de los avances tecnológicos que están transformando la vida en el siglo XXI, persisten desigualdades de género. Por ejemplo, existe una dilación en el acceso efectivo a la tecnología para las mujeres, debido a barreras como la educación; las mujeres también están

¹⁹ Naciones Unidas (2022). *Crisis y fragilidad de la democracia en el mundo*. <https://www.ohchr.org/es/statements-and-speeches/2022/08/crisis-and-fragility-democracy-world>

²⁰ Naciones Unidas (2020). *UN report highlights links between ‘unprecedented biodiversity loss’ and spread of disease*. <https://news.un.org/en/story/2020/09/1072292>

²¹ Naciones Unidas (s.f.). *Igualdad de género*. <https://www.un.org/es/global-issues/gender-equality>

subrepresentadas en campos STEM (ciencia, tecnología, ingeniería y matemáticas), **ocupando menos del 35% de las plazas en estos campos y menos del 22% en inteligencia artificial.**

En cuanto a la reducción de la contaminación y generación de residuos a partir de **plásticos**, **175 naciones** se unieron en el **Comité Intergubernamental de Negociación sobre la Contaminación por Plásticos de la ONU**, para establecer pautas comunes en cuanto al ciclo de vida de los plásticos y su disposición. Hasta el momento, solo se han dado **iniciativas aisladas y fragmentadas**, llevando a un progreso desigual entre países²². Los **efectos de la contaminación por plásticos** son, además, **desiguales a nivel global**; los países más ricos producen más residuos plásticos que, con frecuencia, van a parar a países menos desarrollados donde la gestión de residuos está menos desarrollada. El **reciclaje** puede ayudar a reducir la producción de plástico y la generación de residuos plásticos; sin embargo, un problema importante es la baja tasa de reciclado de plásticos en todo el mundo, que actualmente es inferior al 10%.

Factores de Cambio Global identificados

- Crisis de la democracia
- Incremento en el número de personas desplazadas forzosamente
- Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas
- Exigencia transversal del enfoque en igualdad de género
- Establecimiento de estándares globales para reducir la contaminación a través de plásticos

5. Organización Mundial de la Salud (OMS)

Descripción

El **informe conjunto** de la **Organización Mundial de la Salud (OMS)** y el **Banco Mundial**, titulado **"Miles de millones se quedan atrás en el camino hacia la cobertura sanitaria universal"**²³ revela una preocupante **estancación** en el progreso hacia la **Cobertura de Salud Universal (CSU)**, evidenciando que **más de la mitad de la población mundial aún no cuenta con servicios de salud esenciales**, agravado por la crisis financiera que afecta a 2 mil millones de personas al pagar de su propio bolsillo por servicios y productos médicos. La publicación, previa a la Reunión de Alto Nivel sobre CSU en la 78ª Asamblea General de las Naciones Unidas, subraya la **necesidad urgente de una mayor voluntad política, inversiones más agresivas en salud y una transformación decisiva de los sistemas de salud basada en la atención primaria.**

A lo largo de las últimas dos décadas, **menos de un tercio de los países ha mejorado la cobertura de servicios de salud y reducido el gasto catastrófico en salud.** La expansión de servicios de salud esenciales se ha desacelerado desde 2015, y no ha habido mejoras desde 2019 a 2021. Aunque **los servicios para enfermedades infecciosas han mejorado, la cobertura de servicios para enfermedades no transmisibles y salud reproductiva y materno-infantil apenas ha progresado.** El informe destaca la importancia de abordar este problema mediante inversiones públicas sustanciales, una reorientación radical hacia la atención primaria, y acciones para avanzar en la equidad en el acceso a servicios de salud y protección financiera.

Factores de Cambio Global identificados

- Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal

²² Naciones Unidas (2022). *Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution*. <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution>

²³ Organización Mundial de la Salud (2023). *Miles de millones quedan atrás en el camino hacia la cobertura sanitaria universal*. <https://www.who.int/news/item/18-09-2023-billions-left-behind-on-the-path-to-universal-health-coverage>

6. Organización Meteorológica Mundial (WMO)

Descripción

El “*Atlas de la WMO sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019)*” de la Organización Meteorológica Mundial (WMO) destaca que, en los últimos 50 años, se ha producido un **promedio de un desastre diario provocado por peligros meteorológicos, climáticos o hidrológicos**, cobrándose la **vida de 115 personas por día** y generando **pérdidas diarias por valor de 202 millones de dólares**. El **cambio climático** y el consecuente **aumento de fenómenos meteorológicos extremos** han **quintuplicado el número de desastres** en este período. No obstante, gracias a los **sistemas de alerta temprana** y a las **prácticas mejoradas de gestión de desastres**, las **muerres** se han **reducido a casi un tercio**. Las **sequías, tormentas, crecidas y temperaturas extremas** destacan como los **principales desencadenantes de pérdidas humanas**, mientras que las **tormentas y crecidas** encabezan las **pérdidas económicas**²⁴.

Factores de Cambio Global identificados

- Eventos climáticos extremos y desastres naturales

7. Fondo Monetario Internacional (FMI)

Descripción

En su informe “*La inflación sigue siendo un riesgo para los mercados financieros*”²⁵ el FMI advierte que, debido a la persistente rigidez de la inflación subyacente, declarar el control total sobre la inflación es prematuro; los bancos centrales deben mantener la implementación de medidas paliativas hasta que haya mayor evidencia de un avance en el control de esta variable. A pesar de la **política monetaria restrictiva** de la Reserva Federal y el Banco Central Europeo, las **condiciones financieras** se han **relajado**, lo que complica la lucha contra la **inflación al evitar una desaceleración en la demanda agregada**.

En su reporte “*La deuda mundial retoma su tendencia ascendente*”²⁶, se aborda el tema de la deuda pública y su reducción en 2023 (por segundo año consecutivo). Sin embargo, los **niveles de deuda globales se mantienen por encima del nivel pre-pandemia**, ya de por sí elevado. En 2022, la deuda total se situó en el 238% del producto interno bruto mundial, nueve puntos porcentuales por encima del nivel de 2019. El organismo pone de manifiesto que es preciso que los gobiernos adopten con urgencia **medidas para ayudar a reducir las vulnerabilidades de la deuda y revertir las tendencias a largo plazo**.

Por otro lado, en lo que respecta a **cadena de valor productivas**, en su artículo “*El desafío de las cadenas de suministro*”²⁷, el FMI destaca cómo la **desarticulación temporal** de las **cadenas de suministro** durante la pandemia ha llevado a un debate sobre **cómo mejorar la resiliencia sin sacrificar la eficiencia**. Se exploran opciones como la relocalización, la diversificación y el exceso de inventario, pero se señala que cada estrategia tiene costos asociados. En este sentido, algunas de las **principales economías mundiales** han implementado **medidas que han ralentizado la integración internacional** y, en varios casos, han adoptado **políticas proteccionistas o nacionalistas**. La

²⁴ WMO (2021). *Atlas de la WMO sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019)*. <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019>

²⁵ Fondo Monetario Internacional (FMI) (2023). *Inflation Remains Risk Confronting Financial Markets*. <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/07/27/inflation-remains-risk-confronting-financial-markets>

²⁶ Fondo Monetario Internacional (FMI) (2023). *La deuda mundial reanuda su tendencia ascendente*. <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2023/09/13/global-debt-is-returning-to-its-rising-trend>

²⁷ Fondo Monetario Internacional (FMI) (2022). *El desafío de las cadenas de suministro*. <https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2022/06/the-stretch-of-supply-chains-B2B>

discusión destaca la importancia de encontrar un **equilibrio** entre la **necesidad de resiliencia** y la **disposición a asumir costos adicionales** como un mecanismo de seguridad y creación de capacidad de respuesta.

Estos desequilibrios en las **cadenas de suministro** se han exacerbado con los **conflictos geopolíticos**, como la invasión de Rusia a Ucrania y provocan, a su vez, una **mayor volatilidad en el precio de las materias primas**. Así, se ha dado un aumento sustancial en los **precios de alimentos y energía** en los últimos años, generando inseguridad alimentaria en todo el mundo, especialmente en los países más vulnerables, como el FMI reporta en su artículo **“La volatilidad de precios de las materias primas reduce el crecimiento y aumenta las fluctuaciones de la inflación”**²⁸.

Factores de Cambio Global identificados

- Nivel elevado de la inflación subyacente
- Políticas monetarias restrictivas
- Implementación de medidas proteccionistas
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Tendencia ascendente de la deuda pública
- Incremento y volatilidad en el precio de las materias primas derivado por factores geopolíticos

8. Agencia de la ONU para Refugiados (ACNUR)

Descripción

El informe de **“Tendencias Globales”**²⁹ de ACNUR ofrece datos clave sobre **desplazamientos forzados** en el mundo. A finales de **2022**, se registraron **108,4 millones de personas desplazadas por conflictos, persecuciones y violaciones a los derechos humanos**, marcando un **aumento de 19 millones respecto al año anterior**. Este incremento se atribuye a eventos como la **invasión rusa de Ucrania**, que generó una de las **crisis de desplazamiento más significativas desde la Segunda Guerra Mundial**, con 11,6 millones de personas desplazadas.

El **número de personas refugiadas** ascendió a **35,3 millones a finales de 2022**, con el mayor aumento registrado, principalmente debido al conflicto en Ucrania. Además, se destaca que el **58% de las personas desplazadas permanece dentro de sus propios países como desplazados internos**. La situación se complica con los desastres naturales, que provocaron 32,6 millones de desplazamientos internos en 2022. A pesar de la solidaridad en algunos lugares, se subraya la **necesidad de un enfoque global para compartir responsabilidades y apoyar soluciones sostenibles**, destacando el Foro Mundial sobre los Refugiados de 2023 como una oportunidad para fortalecer la cooperación internacional.

Factores de Cambio Global identificados

- Incremento en el número de personas desplazadas forzosamente

²⁸ Fondo Monetario Internacional (FMI) (2023). *La volatilidad de precios de las materias primas reduce el crecimiento y aumenta las fluctuaciones de la inflación*. <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2023/03/28/volatile-commodity-prices-reduce-growth-and-amplify-swings-in-inflation>

²⁹ ACNUR – Agencia de la ONU para los Refugiados (2023). *Tendencias globales*. <https://www.acnur.org/tendencias-globales>

9. Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO)

Descripción

El *“Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo”*³⁰ de la UNESCO y ONU-Agua alerta sobre un **inminente riesgo de crisis mundial del agua**, señalando que **entre dos mil y tres mil millones de personas** en el mundo ya **sufren escasez de agua**. La escasez **se agravará en las próximas décadas, especialmente en áreas urbanas, si no se promueve la cooperación internacional**. Según el informe, actualmente, el **26% de la población mundial carece de acceso a agua potable**, y el **46% no dispone de saneamiento seguro**. Se prevé que **la población urbana que enfrenta escasez de agua se duplique de 930 millones en 2016 a 1700-2400 millones en 2050**. La creciente incidencia de **sequías extremas y prolongadas** también está afectando a los ecosistemas, con consecuencias perjudiciales para la flora y fauna.

Factores de Cambio Global identificados

- Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico

10. Banco Interamericano de Desarrollo (BID)

Descripción

En su artículo *“América Latina y los minerales críticos para la transición energética”*³¹, el BID reporta que las **principales economías** dependen de **terceros países** para acceder a muchas de las materias primas críticas necesarias en el contexto del **desarrollo sostenible** y la **manufactura avanzada**, como el **litio de Chile, Australia y China**, el **oro de China, Australia o Rusia**, o el **cobalto de la República Democrática del Congo y Canadá**. Por esta razón, se utilizan **acuerdos comerciales y contratos** para superar esta carencia y asegurar el **acceso a dichos materiales**.

América Latina y el Caribe (ALC) se destaca como una **región clave** en el **suministro** de estos **minerales críticos** debido a sus **abundantes recursos minerales de alta calidad** y la presencia de una cadena de valor consolidada. La región posee **depósitos de minerales esenciales** para la descarbonización, como **cobre, litio, zinc, níquel, hierro, manganeso y tierras raras**. A pesar de la variación en la definición de "minerales críticos" según los países, la evaluación de listados de grandes consumidores muestra que ALC tiene la **oportunidad de atraer inversiones y fortalecer su posición como proveedor clave** de minerales esenciales para la transición energética.

Enfrentando el desafío de la creciente demanda de minerales críticos, **América Latina y el Caribe necesita adaptar sus estrategias y políticas mineras para atraer inversiones y garantizar la competitividad y sustentabilidad de la actividad minera**. Esto implica comprender cómo adecuar las políticas para producir los recursos necesarios para la transición, al tiempo que se promueve la **diversificación del sector** y se **agrega valor** localmente a través de **encadenamientos productivos regionales eficientes**.

Factores de Cambio Global identificados

- Creciente demanda global de minerales críticos

³⁰ UNESCO (2023). *Riesgo inminente de una crisis mundial del agua*. <https://www.unesco.org/es/articulos/riesgo-inminente-de-una-crisis-mundial-del-agua-unesco/onu-agua>

³¹ Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2022). *América Latina y los minerales críticos para la transición energética*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/america-latina-y-los-minerales-criticos-para-la-transicion-energetica/la-transicion-energetica-Energia-para-el-Futuro-iadb.org>

11. World Economic Forum (WEF)

Descripción

El informe *"El Futuro de la Naturaleza y las Empresas"*³² señala que el 80% de la pérdida de biodiversidad se debe a tres sectores económicos: **i) la alimentación, el uso de la tierra y los océanos, ii) las industrias extractivas y la energía, y iii) las infraestructuras y el entorno construido** (referido a la construcción y desarrollo urbano). Estos sectores son responsables de la **destrucción de hábitats, la sobreexplotación de recursos, la contaminación y el cambio climático**, que son los principales **motores de la pérdida de biodiversidad**. El cambio climático, por ejemplo, es actualmente responsable de **entre el 11% y el 16% de la pérdida de biodiversidad**, y se prevé que este porcentaje aumente. El informe subraya que la **descarbonización de la economía es esencial para limitar la pérdida de naturaleza a largo plazo**, pero **no es suficiente** si no se abordan al mismo tiempo los otros motores directos de la pérdida de naturaleza. Las **empresas**, a través de sus operaciones y cadenas de suministro, **afectan directamente a la naturaleza**, y sus actividades pueden tener consecuencias perjudiciales duraderas para ella.

Factores de Cambio Global identificados

- Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas

12. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL)

Descripción

La **CEPAL** ha dedicado esfuerzos a estimar los **beneficios económicos y productivos** que puede provocar la **transición de América Latina y el Caribe hacia una economía sostenible**. En su informe *"Situación de Empleo en América Latina y el Caribe"*³³, estima que la transición hacia la **sostenibilidad energética** crearía **más de un millón de puestos de trabajo** para 2030. La **transición a una economía circular** -en la que los materiales se hacen más eficientes y se les da una vida útil más larga mediante la promoción de la durabilidad y la capacidad de reparar, remanufacturar, reutilizar y reciclar bienes- también beneficiaría al empleo en la región. El cambio a una **economía circular** crearía un **total neto de 4,8 millones de puestos de trabajo en América Latina y el Caribe para 2030**. La creación de empleo se concentraría en actividades como el **reprocesamiento de madera, acero, aluminio y otros metales**.

Por otro lado, la CEPAL dedica un informe a tratar el tema del **litio** y su **importancia estratégica** para **América Latina**; el documento se titula *"Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe"*³⁴. El **litio** es uno de los **elementos fundamentales** para la **transición energética**, a partir de sus características únicas e indispensables para la producción de baterías eléctricas, claves para la **descarbonización del transporte** y el **almacenamiento de energía generada a partir de fuentes renovables**. Por lo tanto, el litio es considerado un **recurso estratégico** por los países que cuentan con **yacimientos abundantes**. En **América Latina** destaca el denominado **"triángulo del litio"**, integrado por la **Argentina, Bolivia y Chile**, al tiempo que el **Brasil, México y el Perú**, con **depósitos menos extensos**, tienen posibilidades de desarrollar una importante producción.

En esta línea, otro de los temas vinculados al desarrollo sostenible que promueve la CEPAL es la **movilidad sostenible**³⁵, un concepto interdisciplinario que aborda la implementación de **políticas**

³² World Economic Forum (WEF) (2020). *The Future of Nature and Business*.

https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Future_Of_Nature_And_Business_2020.pdf

³³ Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2018). *Employment Situation in Latin America and the Caribbean*. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/65636d6b-7443-4c54-a8fa-859aa6e4a6c7/content>

³⁴ Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2023). *Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe* <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48964-extraccion-industrializacion-litio-oportunidades-desafios-america-latina-caribe>

³⁵ Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2023). *Ciudades inteligentes/ sostenibles*. <https://bibliografias.cepal.org/c.php?g=159524&p=9429347>

medioambientales en el ámbito del **transporte urbano**, con el objetivo de preservar el **equilibrio climático** en **entornos urbanos** caracterizados por un elevado tráfico vehicular y la emisión de gases de efecto invernadero, especialmente en las ciudades capitales y megaciudades. Este enfoque se considera **fundamental** en el contexto de **América Latina y el Caribe**, donde la gestión del transporte urbano desempeña un papel crucial para asegurar el logro del Objetivo de Desarrollo Sostenible (ODS) número 11, orientado a promover el desarrollo de ciudades sustentables y sostenibles.

Factores de Cambio Global identificados

- Auge de las prácticas en economía circular
- Creciente demanda global de minerales críticos
- Impulso a la movilidad sostenible e inteligente

13. Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo (UNCTAD)

Descripción

El informe de la UNCTAD *“Minerales críticos: Cadenas de suministro, flujos comerciales y valor añadido”*³⁶ destaca la **concentración del mercado** y el **potencial de generación de valor** que permite esta cadena de valor, ofreciendo oportunidades para los países en desarrollo ricos en reservas de minerales. Se examinan los **flujos comerciales de litio, cobalto y grafito** a través de las **cadenas de valor globales** para las **baterías de vehículos eléctricos**, resaltando **oportunidades y desafíos** para los países en desarrollo con abundancia de minerales. En un **escenario de emisiones netas cero**, se espera que la **demandas de estos minerales** aumente significativamente, por ejemplo, un **454% para el litio** y un **115% para el cobalto desde 2022 hasta 2030**.

Los **países en desarrollo**, especialmente en **África**, que posee el **19% de las reservas minerales globales** necesarias para los vehículos eléctricos, podrían beneficiarse del auge verde si logran desplegar la infraestructura necesaria para el procesamiento a nivel local. El informe destaca el éxito de la **República Democrática del Congo** al **agregar valor** a su **cobalto** mediante el **procesamiento y refinamiento local**, lo que elevó el precio unitario de \$5,8 por kilogramo en la extracción a \$16,2 después del procesamiento en 2022. Este enfoque ascendente en la cadena de valor resultó en que el país exportara \$6 mil millones en cobalto procesado el año pasado, en comparación con \$167 millones en minerales de cobalto crudo.

Por otro lado y a nivel de factores de coyuntura, la UNCTAD, a través de su informe de *“Actualidad del Comercio Internacional”*, destaca que, durante el primer trimestre de 2023, el **comercio mundial** de mercancías y servicios mostró un **crecimiento positivo** después de la recesión del segundo semestre de 2022, con un aumento del 1,9% en el comercio de mercancías y un 2,8% en el comercio de servicios con respecto al trimestre anterior. Sin embargo, **se prevé una desaceleración** en el crecimiento del comercio global en el **segundo trimestre de 2023** debido a factores como la inflación, vulnerabilidades financieras, la situación en Ucrania y tensiones geopolíticas, lo que genera un panorama pesimista para el comercio internacional en la segunda mitad del año³⁷.

Asimismo, tal y como establece el *“Informe sobre las Inversiones en el Mundo 2023”*, se ha dado una **disminución global del 12%** de la **IED (Inversión Extranjera Directa)** principalmente por la **reducción en los flujos y transacciones financieras** en los **países desarrollados**. La IED en los países en desarrollo aumentó marginalmente, aunque el crecimiento se concentró en unas cuantas grandes economías emergentes. Las tendencias sectoriales mostraron un **aumento** del número de

³⁶ UNCTAD (2023). *Critical minerals: Supply chains, trade flows and value addition*. <https://unctad.org/publication/critical-minerals-supply-chains-trade-flows-and-value-addition>

³⁷ UNCTAD (2023). *Global Trade Update*. <https://unctad.org/publication/global-trade-update-june-2023>

proyectos en infraestructuras e industrias, las cuales se enfrentan a **presiones de reestructuración de la cadena de suministro**, como la electrónica, la automoción y la maquinaria.³⁸

Factores de Cambio Global identificados

- Creciente demanda global de minerales críticos
- Desaceleración del comercio internacional
- Descenso en la Inversión Extranjera Directa (IED)

14. World Resources Institute (WRI)

Descripción

Un artículo del **World Resources Institute**³⁹ aborda un análisis de la **minería de aguas profundas**, que pretende recuperar **recursos minerales** que se encuentran en el **fondo del océano**, a cientos de metros de profundidad y toma relevancia a partir de la capacidad de **incrementar el suministro disponible**. En las profundidades marinas, minerales como el cobre, el cobalto, el níquel, el zinc, la plata, el oro y los elementos de tierras raras se encuentran en pequeños nódulos polimetálicos de formación lenta, así como en sulfuros polimetálicos (grandes depósitos de compuestos de azufre y otros metales que se forman alrededor de respiraderos hidrotermales) y costras ricas en metales en montañas submarinas.

Aunque desde hace décadas existe un interés comercial por estos minerales, los **recientes avances tecnológicos** han hecho posible la **explotación de estas zonas** mediante el envío de vehículos que descienden a recoger los depósitos minerales del fondo marino. Se resalta la importancia de abordar las **brechas de conocimiento** antes de seguir adelante con la minería en el fondo marino, y se señala la oportunidad única de la **Autoridad Internacional de los Fondos Marinos de la ONU (ISA)** y otras partes interesadas de ponderar las implicaciones ambientales y sociales antes de avanzar la actividad minera en estas áreas delicadas y poco comprendidas.

Factores de Cambio Global identificados

- Creciente demanda global de minerales críticos

15. Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI)

Descripción

El Informe **“La economía circular: un cambio de paradigma para soluciones globales”**⁴⁰ de ONUDI presenta a la **economía circular**, que emerge como un **paradigma alternativo al modelo económico lineal de "tomar-hacer-desechar"**, que ha demostrado ser **derrochador y perjudicial para el medio ambiente**. Este enfoque propone **eliminar residuos y contaminación, mantener productos y materiales en uso, y regenerar sistemas naturales**. Al aplicar la economía circular, se pueden lograr **beneficios significativos** en la **lucha contra el cambio climático** y la **reducción de residuos**, con ejemplos como la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero en industrias clave y el ahorro de costos en la construcción mediante el uso de materiales reciclados.

La **implementación** de la economía circular se presenta como un **mecanismo esencial para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible** y los **compromisos de reducción de emisiones del Acuerdo de París**. Se resalta la importancia de adaptar estrategias y planes según el contexto de

³⁸ UNCTAD (2023). *Informe sobre las Inversiones en el Mundo 2023*. <https://unctad.org/es/publication/informe-sobre-las-inversiones-en-el-mundo-2023>

³⁹ World Resources Institute (2023). *What We Know About Deep-sea Mining - And What We Don't*. <https://www.wri.org/insights/deep-sea-mining-explained>

⁴⁰ ONUDI (2021). *La economía circular: un cambio de paradigma para soluciones globales*. <https://www.unido.org/stories/la-economia-circular-un-cambio-de-paradigma-para-soluciones-globales>

cada país, con **China y Europa liderando la transición** hacia la circularidad. Se destaca la **necesidad de financiamiento para respaldar la transición** hacia la economía circular y el papel crucial de la participación del sector público, privado y la sociedad civil en este cambio de paradigma.

Factores de Cambio Global identificados

- Auge de las prácticas en economía circular

16. Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA)

Descripción

La IAEA, a través del reporte **"Estimaciones de energía, electricidad y energía nuclear para el período hasta 2050"**, ha presentado, por tercer año consecutivo, **incrementos en sus proyecciones anuales** sobre el crecimiento potencial de la **energía nuclear** para las próximas décadas, lo que refleja un cambio en el debate mundial sobre energía y medio ambiente en medio de la creciente **preocupación por la seguridad en el abastecimiento energético y el cambio climático**⁴¹. Una combinación de **nueva tecnología nuclear**, la búsqueda de la **descarbonización** y un creciente deseo de **independencia energética** tras la invasión rusa a Ucrania ha invertido la suerte de la energía nuclear. Evidencia de esto son los **más de 50 reactores nucleares** que se están construyendo en el mundo, casi la mitad de ellos en **China e India**.

Factores de Cambio Global identificados

- Incorporación de la energía nuclear como fuente de energía vinculada al desarrollo sostenible

17. Agencia Internacional de la Energía (IEA)

Descripción

La IEA identifica, en su reciente informe **"Redes eléctricas y transiciones energéticas seguras"**⁴², una **larga y creciente cola de proyectos de energías renovables** a la espera de luz verde para **conectarse a la red**, señalando 1500 gigavatios de estos proyectos que se encuentran en fases avanzadas de desarrollo y que no pueden ponerse en marcha por deficiencias en la red.

En **cuatro países** que han proporcionado la información pertinente, (Estados Unidos, Japón, Australia y Chile), las **redes de transmisión y distribución eléctrica** son responsables de más del **90% de las interrupciones en el suministro energético**. Las **interrupciones** relacionadas con la red eléctrica están teniendo importantes **impactos económicos** en todo el mundo. Las estimaciones realizadas por la IEA indican que solo las fallas técnicas/fallas de equipos originadas en la red causaron interrupciones que representaron una **pérdida económica global de al menos 100 mil millones de dólares en 2021**.

Factores de Cambio Global identificados

- Obsolescencia de las redes de transmisión y distribución eléctrica

⁴¹ International Atomic Energy Agency (2023), *IAEA Annual Projections Rise Again as Countries Turn to Nuclear for Energy Security and Climate Action*. <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-annual-projections-rise-again-as-countries-turn-to-nuclear-for-energy-security-and-climate-action>

⁴² IEA (2023). *Electricity Grids and Secure Energy Transitions*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/70f2de45-6d84-4e07-bfd0-93833e205c81/ElectricityGridsandSecureEnergyTransitions.pdf>

18. Banco de Desarrollo de América Latina (CAF)

Descripción

El informe *“Nearshoring y Oportunidades Industriales”*⁴³ de la CAF reporta que cada vez son más frecuentes medidas políticas como el *nearshoring*, destacando a países como **Estados Unidos y Japón** que están tomando acciones para **proteger sus cadenas de suministro y tecnologías críticas, controlar la exportación de tecnología y asegurarse los suministros a través de proveedores cercanos geográficamente**. Esta práctica está **fragmentando la economía global, aumentando costos** y generando **intervenciones gubernamentales**. Por otro lado, **América Latina y el Caribe** se están viendo afectados por esta tendencia, ya que **dependen** en gran medida de la eficiencia de los **mercados internacionales para abastecerse de alimentos y suministros**, así como para **acceder a tecnología y maquinaria**. Sin embargo, algunos países de la región, como **México y los países de América Central y el Caribe**, pueden **beneficiarse del nearshoring** debido a su **proximidad geográfica a Estados Unidos**, experiencia en inversiones industriales internacionales y acuerdos comerciales preferenciales. En particular, los **bienes manufacturados** representan el **79% de las exportaciones de México**, el **73% de El Salvador**, el **57% de República Dominicana y Costa Rica**, y el **42% de Guatemala**; esto los convierte en potenciales beneficiarios del *nearshoring*.

Factores de Cambio Global identificados

- Políticas de fomento del *nearshoring*

19. Organización Mundial de Comercio (OMC)

Descripción

El *“Informe sobre el comercio mundial 2023 - La reglobalización para un futuro seguro, inclusivo y sostenible”*⁴⁴ de la OMC menciona que el **sistema multilateral de comercio** supervisado por la OMC que **se creó hace algo más de 75 años** basándose en la **visión** de que el **fomento de la interdependencia** entre las economías desempeñaría un papel crucial en la consecución de la paz y la prosperidad, está siendo **cuestionado** en la actualidad. Las **crisis recientes**, como la **pandemia del Covid-19** y la **guerra de Ucrania**, han alimentado la **percepción de que la globalización expone a las economías a riesgos excesivos**. En consecuencia, ha cobrado fuerza una narrativa de **escepticismo comercial**, que sugiere que el comercio internacional es un obstáculo para construir un mundo más seguro, inclusivo y sostenible. Al considerar la interdependencia como un vicio más que como una virtud, **los responsables políticos hacen ahora más hincapié en la independencia económica**.

Así es como las **corrientes comerciales de mercancías** entre ciertos **bloques** han **crecido** entre un **4% y un 6% más lento** que dentro de otros, indicio de un cambio hacia la localización del comercio por afinidad geopolítica.

Factores de Cambio Global identificados

- Crecimiento del regionalismo comercial

⁴³ Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) (2022). *Nearshoring y oportunidades industriales*. <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2022/03/nearshoring-y-las-oportunidades-para-la-industria/>

⁴⁴ OMC (2023). *World Trade Report 2023*. https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr23_e/wtr23_e.pdf

3.3 Síntesis de Factores de Cambio Global

El análisis de las agendas de desarrollo tecnológico y documentos de prospectiva ha permitido identificar un conjunto de **Factores de Cambio Global (FCG)**. El ejercicio de prospectiva realizado por Australia (*Australian National Outlook*)⁴ presenta a estos factores como **“desafíos que están ocurriendo o que se espera ocurran en un horizonte cercano. Cuando se combinan, constituyen riesgos aún mayores para el país y afectan su capacidad de mantener una economía próspera, proteger el entorno medioambiental y asegurar el bienestar de las personas que habitan el territorio. A su vez, son oportunidades de establecer nuevas fuentes de crecimiento, proteger los ecosistemas naturales y permitir a las próximas generaciones disfrutar estándares de vida aún mejores que los actuales”**.

El análisis exhaustivo de las **estrategias y documentos de prospectiva** elaborados por **10 Estados** que promueven el **Desarrollo Productivo Sostenible**, y de **19 organismos internacionales** que **acompañan este desarrollo** y propician la **colaboración internacional**, ha permitido identificar los siguientes **Factores de Cambio Global**:

- Auge de prácticas en economía circular
- Creciente demanda global de minerales críticos
- Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación
- Crecimiento del regionalismo comercial
- Crisis de la democracia
- Crisis de las cadenas de suministro globales
- Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza
- Desaceleración del comercio internacional
- Descenso en la Inversión Extranjera Directa (IED)
- Diversificación de la matriz de proveedores energéticos
- Establecimiento de estándares globales para reducir la contaminación a través de plásticos
- Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal
- Eventos climáticos extremos y desastres naturales
- Exigencia transversal en igualdad de género
- Faltante de medicamentos
- Fomento de políticas de *nearshoring*
- Gobernanza Social y Ambiental (ESG) en empresas
- Implementación de medidas proteccionistas
- Impulso a la movilidad sostenible e inteligente
- Incorporación de la energía nuclear como fuente de energía vinculada al desarrollo sostenible
- Incremento en el número de personas desplazadas forzosamente
- Incremento y volatilidad en el precio de las materias primas derivadas por factores geopolíticos
- Nivel elevado de inflación subyacente
- Obsolescencia de las redes de transmisión y distribución eléctrica
- Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas
- Políticas monetarias restrictivas
- Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico
- Tendencia ascendente de la deuda pública

Estos FCG pueden categorizarse en función de la visión que aportan algunos de los documentos de prospectiva analizados.

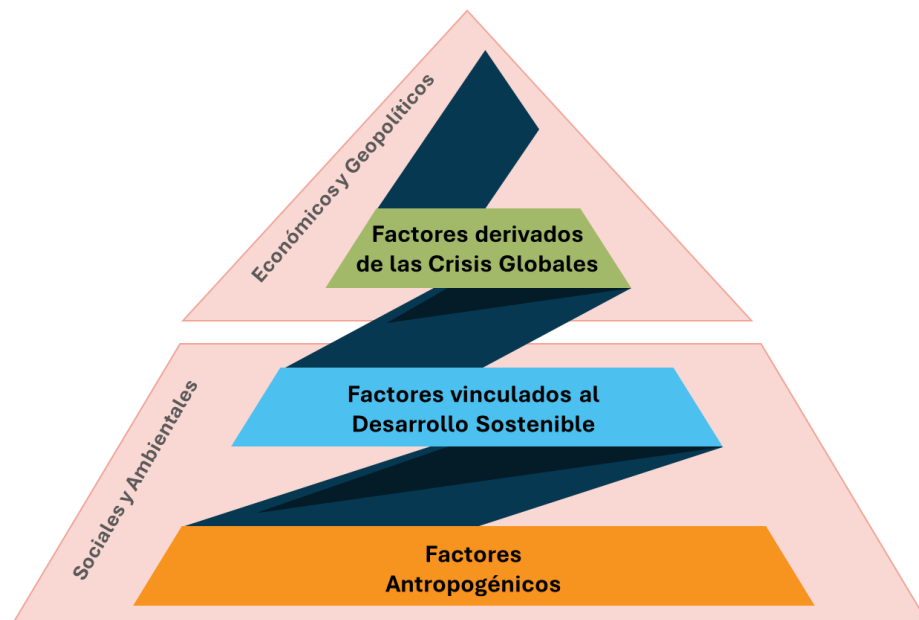
Algunos estudios como el *“Informe de Perspectivas Mundiales de la Biodiversidad”*²⁰ reportan los **efectos y peligros involucrados en la relación actual de la humanidad con la naturaleza**. En consecuencia, se facilita la propagación de enfermedades como ocurrió recientemente con la pandemia de Covid-19 y se generan consecuencias irreversibles en el medio natural. De esta manera, surge una categorización de **Factores Antropogénicos**, derivados del impacto que la actividad económica, prolongada en el tiempo y basada en el consumo de recursos naturales limitados tiene en la vida de las personas y en el medio ambiente.

La Comisión Europea, en su estudio de prospectiva *Hacia una Europa Justa y Sostenible en 2050*³, destaca que *“los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas proporcionan un amplio marco para que la Unión Europea aborde las transiciones hacia la sostenibilidad. En este contexto, es esencial recordar que el desarrollo sostenible es un desafío global y que las intervenciones europeas en favor de la sostenibilidad deben situarse en un contexto global”*. A partir de los acuerdos globales derivados de los ODS, los territorios comenzaron a desplegar **propuestas estratégicas e iniciativas** para desarrollar posibles **mecanismos de evolución y adaptación** de los sistemas económicos y sociales, y propiciar una transición sostenible. Así surgen los **Factores Vinculados al Desarrollo Sostenible**.

Tanto los Factores Antropogénicos como los Factores Vinculados al Desarrollo Sostenible son mayoritariamente **de carácter Social y Energético-Ambiental**.

Por último, surgen los **Factores derivados de las Crisis Globales**, consecuencia de una serie de **conflictos de impacto global** que han alterado el orden económico, han disparado medidas de paliación y recuperación aún en implementación y han obligado a reconfigurar las cadenas de valor. Estos factores son **de carácter Económico y Geopolítico**.

Ilustración 1. Categorización de Factores de Cambio Global (FCG)



Fuente: Elaboración propia

Al asignar cada uno de los FCG identificados a las categorías, se obtiene la siguiente estructura:

Factores Antropogénicos	Factores vinculados al Desarrollo Sostenible	Factores derivados de las Crisis Globales
<p>Factores Sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza • Crisis de la democracia • Incremento en el número de personas desplazadas forzosamente • Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal • Faltante de medicamentos en países de la OCDE 	<p>Factores Sociales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gobernanza Social y Ambiental (ESG) en las empresas • Exigencia transversal del enfoque en igualdad de género 	<p>Factores Económicos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel elevado de inflación subyacente • Políticas monetarias restrictivas • Crisis de las cadenas de suministro globales • Desaceleración del comercio internacional • Tendencia ascendente de la deuda pública • Descenso en la Inversión Extranjera Directa (IED)
<p>Factores Energético-Ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Eventos climáticos extremos y desastres naturales • Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico • Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas 	<p>Factores Energético-Ambientales</p> <ul style="list-style-type: none"> • Creciente demanda global de minerales críticos • Auge de las prácticas en economía circular • Impulso a la movilidad sostenible e inteligente • Incorporación de la energía nuclear como fuente de energía vinculada al desarrollo sostenible • Obsolescencia de las redes de transmisión y distribución eléctrica • Establecimiento de estándares globales para reducir la contaminación a través de plásticos 	<p>Factores Geopolíticos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Incremento y volatilidad en el precio de las materias primas derivado por factores geopolíticos • Implementación de medidas proteccionistas • Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación • Fomento de políticas del <i>nearshoring</i> • Crecimiento del regionalismo comercial • Diversificación de la matriz de proveedores energéticos

Las tres tipologías de FCG identificadas se encuentran estrechamente vinculadas. Los **Factores Antropogénicos** se basan en un paradigma económico que impulsa el incremento de la productividad, surgido de la Revolución Industrial y que se mantiene hasta el presente; esto ha promovido el crecimiento poblacional, la concentración de la actividad en grandes ciudades y el desarrollo tecnológico, aunque con consecuencias negativas en las condiciones de vida de las personas y su entorno natural. Este enfoque se encuentra alineado con el planteamiento plasmado en la “**Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo de Chile**”, del Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo⁴⁵.

El impacto sobre la sociedad y el medio ambiente ha llevado al despliegue de la **Agenda de Desarrollo Sostenible**. Dado el compromiso de los países para cumplir con los ODS para 2030 se han impuesto exigencias y tomado decisiones que dan lugar al surgimiento de los **Factores vinculados al Desarrollo Sostenible**.

Es por ello que las dos primeras categorizaciones de FCG reúnen **factores de índole social y ambiental**, derivados de la actividad económico-productiva. En ese contexto, aparecen los **Factores derivados de la Crisis Global**, con un carácter principalmente coyuntural, agrupando un conjunto de medidas y situaciones derivadas de conflictos y situaciones imprevistas hace algunos años atrás.

⁴⁵ Consejo Nacional de CTIC (2022). *Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo de Chile*. <https://docs.consejoctci.cl/documento/estrategia-nacional-de-ciencia-tecnologia-conocimiento-e-innovacion-para-el-desarrollo-de-chile-2022/>

4. TAXONOMÍA DE DOMINIOS TECNOLÓGICOS

4.1 Introducción

Algunos Estados definen una serie de **tecnologías críticas** que contribuyen a alcanzar **objetivos de interés nacional**, se caracterizan por una **alta competencia entre Estados**⁴⁶ (pueden estar sujetas incluso a espionaje) y, por lo tanto, las decisiones asociadas a la **forma de acceder** a ellas son **estratégicas**⁴⁷. La pandemia de Covid-19, la guerra en Ucrania y otros sucesos acaecidos a nivel global han incrementado la presión sobre las cadenas de suministro y han puesto de manifiesto el impacto que las tecnologías críticas tienen en el **crecimiento**, la **soberanía de los territorios** sobre sus **recursos** y el **bienestar de sus ciudadanos**⁴⁸.

Existe otra categorización de tecnologías, planteada por organismos como la OCDE, a través de la denominación de **tecnologías emergentes**. Se trata de tecnologías que tienen un **impacto potencial considerable** en la **economía** y la **sociedad**, pero que aún no han alcanzado un **grado de madurez** suficiente para su implementación en el mercado⁴⁹ y, por lo tanto, ofrecen a los primeros en adoptarlas la oportunidad de beneficiarse de la **primacía de los descubrimientos**. Los Estados entran en esta carrera por las tecnologías emergentes para "**capitalizar las ventajas industriales potenciales**" que resultarán de la investigación y el desarrollo. Estas no tienen tanto que ver con factores de coyuntura global, sino con la ampliación de la frontera de conocimiento y las posibles ventajas competitivas para aquellas naciones que se posicionen como punteras en desarrollo tecnológico.

Estas definiciones y enfoques planteados por los Estados y organizaciones internacionales **no se asocian**, en general, con **tecnologías puntuales**, sino con **subconjuntos de tecnologías, de carácter crítico y emergente**⁵⁰ (CET, por sus siglas en inglés) para la seguridad nacional y su desarrollo económico, que pueden denominarse **dominios tecnológicos**.

Existen diferentes **taxonomías** para **definir estos dominios tecnológicos**, establecidos de manera estratégica por los Estados que persiguen el **desarrollo endógeno de tecnologías, evitar la dependencia de suministros internacionales y abordar nuevas oportunidades y mercados**. A continuación, se realiza una comparativa de las definiciones **de taxonomía existentes sobre dominios tecnológicos críticos y/o emergentes** establecidos por **diferentes Estados**, buscando establecer a posteriori un conjunto de dominios tecnológicos ajustado a los objetivos del Estudio.

Como base comparativa se utilizarán las taxonomías establecidas por **4 territorios de referencia**:

1. **Estados Unidos**: a partir de la Lista Actualizada de Tecnologías Críticas y Emergentes publicada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología en 2022⁴.
2. **Unión Europea**: a partir de la Recomendación de la Comisión Europea sobre Ámbitos Tecnológicos Críticos para la seguridad económica de la UE, para una evaluación más detallada de los riesgos con los Estados miembros, publicada en octubre de 2023⁵¹.
3. **Australia**: a partir del Listado de Tecnologías Críticas de Interés Nacional, (mayo de 2023)⁵².
4. **Reino Unido**: a partir de las 5 Tecnologías Críticas identificadas en su Agenda de Superpoder en Ciencia y Tecnología, publicada en marzo de 2023⁵³.

⁴⁶ B. Bimber et S. W. Popper, *What Is a Critical Technology?*, RAND, DRU-605-CT1, février 1994.

⁴⁷ Armament Industry European Research Group (2022). *CRITICAL TECHNOLOGIES AND INDUSTRIAL CAPABILITIES: NATIONAL DEFINITION AND POLICY IMPLICATIONS. The French Case*. <https://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2022/09/ARES-78-Comment.pdf>

⁴⁸ European Parliamentary Research Service (2022). *The road to EU sovereignty in critical technologies*. <https://epthinktank.eu/2022/01/05/the-road-to-eu-sovereignty-in-critical-technologies/>

⁴⁹ Alice Pannier, *Concilier sécurité et ouverture dans les technologies critiques. Enjeux pour la recherche française et européenne*, Études de l'Ifr, Ifri, octobre 2023.

⁵⁰ National Science and Technology Council. *CRITICAL AND EMERGING TECHNOLOGIES LIST UPDATE*.

<https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf>

⁵¹ Official Journal of the European Union (2023). *COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2023/2113*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023H2113>

⁵² Australian Government, Department of Industry, Science and Resources (2023). *List of Critical Technologies in the National Interest*. <https://www.industry.gov.au/publications/list-critical-technologies-national-interest>

⁵³ UK Government, Department of Science, Innovation & Technology (2023). *The UK Science and Technology Framework*. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-science-and-technology-framework/the-uk-science-and-technology-framework#identifying-critical-technologies>

A continuación, se vinculan los dominios tecnológicos comunes a estos territorios, para identificar patrones en cuanto a ámbitos de interés en el desarrollo tecnológico.

Tabla 1. Comparativa de dominios tecnológicos

	Estados Unidos	Unión Europea	Australia	Reino Unido
DOMINIOS TECNOLÓGICOS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semiconductores y Microelectrónica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Avanzadas De Semiconductores 		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Semiconductores
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Manufactura Avanzada ▪ Materiales de Ingeniería Avanzados ▪ Hipersónica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Avanzadas de Materiales, Fabricación y Reciclado 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de Manufactura Avanzada y de Materiales 	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas Autónomos y Robótica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robótica y Sistemas Autónomos 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Sistemas Autónomos, Robótica, Posicionamiento y Sensórica 	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de la Información Cuánticas ▪ Computación Avanzada 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Cuánticas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Cuánticas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Cuánticas
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biotecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biotecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Biotecnologías 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Bioingeniería
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detección Avanzada de Señales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Avanzadas de Detección 		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Generación y Almacenamiento de Energías renovables ▪ Tecnologías Avanzadas de Energía Nuclear ▪ Energía Dirigida ▪ Tecnologías avanzadas de motores de turbina de gas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de la Energía 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de Generación de Energías Limpias y Almacenamiento 	
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías del Espacio y Sistemas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías espaciales y de propulsión 		
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de la Comunicación 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Conectividad avanzada, navegación y tecnologías digitales 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Telecomunicaciones del Futuro
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inteligencia Artificial ▪ Interfaces Humano-Máquina 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de Inteligencia Artificial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías de Inteligencia Artificial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Inteligencia Artificial
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tecnologías Financieras 				

4.2 Definición de Dominios Tecnológicos para el Estudio

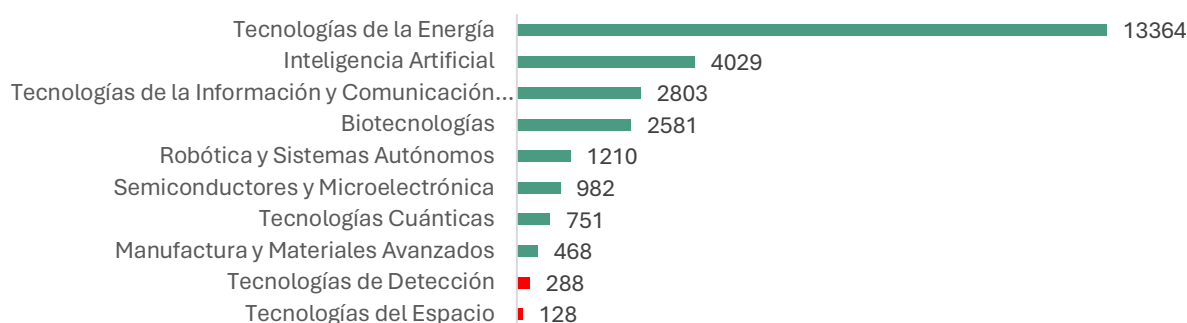
Bajo la hipótesis de que estos dominios tecnológicos promueven la resiliencia económica de los territorios y una mayor capacidad de respuesta frente a factores de cambio que enfrentan los países, y teniendo presente el foco del Estudio en el impulso a trayectorias tecnológicas que aporten al **Desarrollo Productivo Sostenible (DPS)**, se incorporan al estudio aquellos dominios tecnológicos vinculados con la sustentabilidad. En base al análisis desplegado en el Ejercicio *“Chile Crea Futuro”*, el DPS plantea el **desafío de repensar el desarrollo económico ya que la sustentabilidad está determinada por las trayectorias de desarrollo que se elijan**; se entiende la **sustentabilidad** como *“característica o estado por el cual las necesidades de la población actual y local pueden satisfacerse sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras o de las poblaciones de otros lugares para satisfacer sus necesidades”*⁵⁴.

De allí que la propuesta de taxonomía de dominios tecnológicos a utilizar, de forma preliminar, incluya **dominios asociados con el DPS** y que estén presentes como **elementos estratégicos** en, al menos, **dos territorios de entre los analizados**.

Para determinar la **asociación** de los **Dominios Tecnológicos** con el **Desarrollo Productivo Sostenible**, se realiza un **análisis de documentación científica** relativa a cada dominio y su vinculación con la sustentabilidad. En concreto, a través de la base de datos científica **Scopus** se analiza cuántos **artículos científicos** conectan la **sustentabilidad** con cada uno de los **Dominios Tecnológicos** (“Dominio tecnológico” AND “Sustentabilidad”).

Ilustración 2. Vinculación de los dominios tecnológicos y la sustentabilidad

Nº artículos científicos por dominio tecnológico



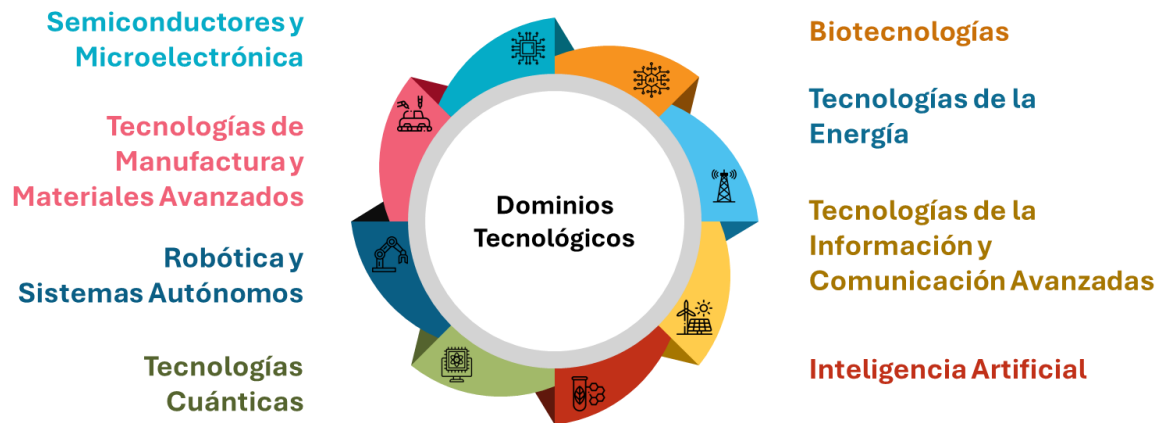
Fuente: Scopus

A partir de la cuantificación de la vinculación de cada temática con el DPS, se propone **seleccionar 8 Dominios Tecnológicos**, dejando de lado los dominios de “Tecnologías de Detección” y “Tecnologías del Espacio”, por el bajo número de artículos identificados y la consiguiente baja vinculación con el DPS.

Se presentan, a continuación, **los 8 Dominios Tecnológicos**, junto con una breve **definición** asociada y la **identificación** de las **tecnologías** contenidas **dentro de cada dominio**. Para la identificación de las tecnologías concretas a incorporar dentro de cada dominio, se toman en consideración las tecnologías planteadas por los territorios tomados como referencia, así como otra información secundaria de reportes y estudios de prospectiva tecnológica, manteniendo la visión de reconocer tecnologías en las que concentrar los esfuerzos como mecanismo de resiliencia frente a los Factores de Cambio Global (FCG).

⁵⁴ Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2023). *Chile crea futuro: Reportes de expertos para cuatro grandes fenómenos de cambio*. Santiago, Chile. <https://docs.consejoctci.cl/wp-content/uploads/2023/03/FINAL-Reporte-Anticipacion-CTCI-2023.pdf>

Ilustración 3. Dominios Tecnológicos definidos para el Estudio



1. Semiconductores y Microelectrónica

Un semiconductor es una sustancia que se encuentra en algún punto entre el conductor y el aislante⁵⁵. Los circuitos microelectrónicos, coloquialmente denominados microchips, combinan miles de millones de transistores en una pequeña pieza de material semiconductor⁵⁶. El principal objetivo de la micro/nanoelectrónica es mejorar el rendimiento de la electrónica, al tiempo que se reducen sus necesidades de tamaño, peso y/o energía⁵⁷.

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Tecnologías de transistores**
- ii) **Tecnologías de fotónica**
- iii) **Chips de alta frecuencia**
- iv) **Equipamientos para la fabricación de semiconductores**
- v) **Tecnologías para la automatización del diseño de la electrónica** (EDA, por sus siglas en inglés)
- vi) **Tecnologías de encapsulado avanzado de semiconductores** (Advanced Semiconductor Packaging)
- vii) **Tecnologías de semiconductores de banda ultra ancha** (UWBG, por sus siglas en inglés)

2. Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados

La Manufactura Avanzada consiste en la introducción de tecnologías y métodos innovadores para mejorar y aumentar la competitividad dentro del sector industrial⁵⁸. En cuanto a Materiales Avanzados, se entienden como materiales diseñados específicamente para que tengan propiedades nuevas o mejoradas, y/o características estructurales específicas o mejoradas, con el objetivo de lograr un rendimiento funcional específico o mejorado⁵⁹. La Manufactura Avanzada permite procesar y transformar estos materiales para optimizar su desempeño.

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Tecnologías de manufactura aditiva**
- ii) **Tecnologías de manufactura inteligente**
- iii) **Manufactura de micro-precisión**

⁵⁵ McKinsey (2023). *What is a semiconductor?* <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-a-semiconductor>

⁵⁶ Morgan Kaufmann (2015). *Introduction to Microelectronics*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128007303000010>

⁵⁷ EPRS (European Parliamentary Research Service) (2021). *Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty*. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU\(2021\)697184_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU(2021)697184_EN.pdf)

⁵⁸ TWI Global (2023). *What is Advanced Manufacturing? (A Complete Guide)*. <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-advanced-manufacturing>

⁵⁹ OECD (2022). *OECD Environment, Health and Safety Publications. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials. No. 104. Advanced Materials: Working Description*. [https://one.oecd.org/document/env/cbc/mono\(2022\)29/en/pdf](https://one.oecd.org/document/env/cbc/mono(2022)29/en/pdf)

- iv) **Nano-manufactura**
- v) **Tecnologías de extracción, tratamiento y reciclado de materias primas críticas** (incluidas la extracción hidrometalúrgica, la biolixiviación, la filtración basada en nanotecnologías y el tratamiento electroquímico).
- vi) **Materiales con nuevas propiedades o mejoras en propiedades existentes**
- vii) **Tecnologías para nanomateriales, materiales inteligentes, materiales cerámicos avanzados, materiales furtivos, materiales seguros y sostenibles por diseño.**

3. **Robótica y Sistemas Autónomos**

La robótica es una rama de la ingeniería que se ocupa del diseño, la fabricación y el funcionamiento de robots⁶⁰. El objetivo es crear sistemas autónomos, capaces de funcionar en un entorno real sin ningún tipo de control externo durante largos períodos de tiempo y tomando decisiones de forma independiente, en tiempo real⁶¹.

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Drones y otros vehículos** (aéreos, terrestres, de superficie, submarinos y del espacio)
- ii) **Robots y sistemas de precisión controlados por robots**
- iii) **Exoesqueletos**
- iv) **Sistemas basados en inteligencia artificial**

4. **Tecnologías Cuánticas**

La computación cuántica es una tecnología emergente que aprovecha las leyes de la mecánica cuántica para resolver problemas demasiado complejos para los computadores clásicos. Los problemas complejos son problemas con muchas variables que interactúan de forma complicada; existen problemas que no es posible resolver con computadores clásicos a ninguna escala⁶².

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Computación cuántica**
- ii) **Criptografía cuántica y post-cuántica**
- iii) **Comunicaciones cuánticas**
- iv) **Detección cuántica y radar**

5. **Biotechnologías**

Campo diverso que implica trabajar con células vivas o utilizar moléculas derivadas de ellas para aplicaciones orientadas al bienestar humano mediante diversos tipos de herramientas y tecnologías⁶³. Se puede interpretar como la conjunción de la biología y la ingeniería: por un lado, la comprensión profunda del funcionamiento de los sistemas vivos permite la producción de productos nuevos o mejorados, así como de procesos para, por ejemplo, las industrias farmacéutica y química; por el otro, los conocimientos relacionados con la ingeniería son necesarios para integrar los sistemas biológicos en los procesos técnicos (por ejemplo, la producción de insumos farmacéuticos en cantidad y calidad suficientes).

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Biología sintética**
- ii) **Nuevas técnicas genómicas**
- iii) **Ingeniería de sistemas virales**
- iv) **Herramientas de multiómica, biometrología, bioinformática, modelización predictiva y análisis de fenotipos funcionales**

⁶⁰ TechTarget (2023). *Definition of Robotics*. <https://www.techtarget.com/whatis/definition/robotics>

⁶¹ Rodríguez et al. (2012). *Ontology-driven description and engineering of Autonomous Systems: application to process systems engineering*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444595201500026>

⁶² IBM (2023). *What is quantum computing?* <https://www.ibm.com/topics/quantum-computing>

⁶³ Gupta V, Sengupta M, Prakash J, Tripathy BC (2016). *An Introduction to Biotechnology. Basic and Applied Aspects of Biotechnology*. 23:1–21. doi: 10.1007/978-981-10-0875-7_1. PMID: PMC7119977.

6. Tecnologías de la Energía

Las energías renovables son aquellas derivadas de fuentes naturales que se reponen a un ritmo superior al que se consumen⁶⁴. Diferentes tecnologías permiten transformar estos recursos en calor, refrigeración, iluminación natural, electricidad y combustibles para multitud de aplicaciones.

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Tecnologías de fusión nuclear, reactores y generación de energía, tecnologías de conversión/enriquecimiento/reciclado radiológico**
- ii) **Tecnologías de generación de energía limpia:** energía solar fotovoltaica y solar térmica, electrolizadores (hidrógeno) y celdas de combustible, eólica onshore y offshore, biogás, bombas de calor y energía geotérmica
- iii) **Captura, utilización y almacenamiento de carbono**
- iv) **Redes inteligentes y almacenamiento de energía**

7. Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas

Conjunto de herramientas y recursos tecnológicos utilizados para transmitir, almacenar, crear, compartir o intercambiar información⁶⁵.

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Redes inalámbricas de próxima generación, incluidas 5G y 6G**
- ii) **Tecnologías de ciberseguridad**
- iii) **Comunicaciones basadas en satélites**
- iv) **Internet de los Cosas y Realidad Virtual**
- v) **Tecnologías de Contabilidad Distribuidas (DLT), como blockchain**

8. Inteligencia Artificial

Es un campo que combina la informática y conjuntos de datos robustos para permitir la resolución de problemas. También abarca los subcampos del *machine learning* y el *deep learning*; estas disciplinas se componen de algoritmos de IA que buscan crear sistemas expertos que hagan predicciones o clasificaciones basadas en datos de entrada⁶⁶.

Entre las **tecnologías incluidas** dentro de este dominio, se pueden identificar:

- i) **Computación de alto rendimiento**
- ii) **Computación en la nube y Edge Computing**
- iii) **Tecnologías de análisis de datos**
- iv) **Visión por computadora, procesamiento natural de lenguaje, reconocimiento de objetos**

Asimismo, existen ciertas capacidades habilitadoras transversales indispensables para el desarrollo de estos dominios tecnológicos, como son⁵⁰:

- **Infraestructura** adecuada para el testeo y evaluación de tecnologías.
- **Datos** accesibles, interoperables y seguros.
- **Mano de obra** técnicamente capacitada.

⁶⁴ Naciones Unidas (2023). *What is Renewable Energy?* <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy>

⁶⁵ UNESCO (2023). *Glossary: Information and communication technologies (ICT)* <https://uis.unesco.org/en/glossary-term/information-and-communication-technologies-ict>

⁶⁶ IBM (2023). *What is artificial intelligence?* <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence>

5. ANÁLISIS DE RESILIENCIA TECNOLÓGICA

Una vez identificados los **Factores de Cambio Global (FCG)** que afectan el curso de la actividad económica y productiva a nivel mundial, y establecidos los **Dominios Tecnológicos** a tener en cuenta para el Estudio, es momento de analizar **la manera en que estos dominios promueven la resiliencia económica**. Para ello, se define una **Matriz de Resiliencia Tecnológica** por cada dominio, donde se identifican iniciativas de distintos países en las que la tecnología es el mecanismo de resiliencia para enfrentar los FCG.

Estas Matrices permiten identificar diferentes **iniciativas** desarrolladas a nivel internacional en las que, a través de la promoción del desarrollo e implementación de tecnologías, se generan mecanismos de resiliencia frente a los FCG.

Antes de abordar el análisis, es oportuno realizar una definición de **resiliencia** para este trabajo, a partir de los enfoques planteados por gobiernos nacionales y organismos internacionales. La resiliencia económica⁶⁷ es la **capacidad de un sistema económico para hacer frente a diferentes situaciones de cambio, recuperarse, adaptarse y/o reconstruirse para retomar un curso de actividad que promueva el bienestar de la sociedad**. En el presente estudio, se puede añadir que **la resiliencia es también tecnológica** porque tiene como **base el desarrollo endógeno de tecnología** y está dirigida a una **adaptación** no solo a **crisis y desajustes**, sino a un conjunto de **factores (Factores de Cambio Global)** derivados de un **nuevo paradigma de desarrollo productivo vinculado con la sostenibilidad**.

5.1 Semiconductores y Microelectrónica

5.1.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Semiconductores y Microelectrónica	Corea del Sur	• K Chips Act	<ul style="list-style-type: none"> • Crisis de las cadenas de suministro globales • Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología • Incremento y volatilidad en el precio de las materias primas • Descenso en la Inversión Extranjera Directa (IED) • Implementación de medidas proteccionistas • Creciente demanda global de minerales críticos • Impulso a la movilidad sostenible e inteligente
	Unión Europea	• Ley Europea de Chips	
	Unión Europea	• Nueva Estrategia Industrial Europea	
	Unión Europea	• Plataforma Tecnológica Photonics21	
	EE.UU.	• Chips and Science Act	
	EE.UU.	• Programa Nacional de Encapsulado Avanzado de Semiconductores	
	China	• China Standards 2035	
	Reino Unido	• Estrategia Nacional de Semiconductores	
	Reino Unido	• Estrategia de Innovación de Reino Unido	
	Francia	• Plan Francia 2030	
	Canadá	• Plan de Acción de Semiconductores de Canadá	
	Australia	• Oficina de Servicios del Sector de Semiconductores	
Suecia	• ClassIC Semiconductor Hub		

5.1.2 Análisis de la Matriz

Los semiconductores y otros dispositivos electrónicos constituyen la **base** de una multitud de **dispositivos e infraestructura** vinculados a **telecomunicaciones, computación, vehículos eléctricos y conectados, tecnología de la salud, electrónica de consumo y defensa**. Es por ello que se trata de una **industria upstream**, ya que provee productos que son materias primas e insumos para otras aplicaciones en diversas industrias.

Las actividades de producción, ensamblado y testeado de semiconductores están concentradas en **Corea del Sur y Taiwán**¹³, mientras que la integración de producto final se centraliza en **China**. Estos

⁶⁷ Banco Mundial (2021). *Definition and Measurement*.
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/350411468149663792/pdf/WPS6852.pdf>

países han acometido grandes inversiones para contar con instalaciones punteras, capital humano calificado y las consiguientes ventajas competitivas asociadas.

Frente a esta concentración de la actividad, la importancia de los semiconductores en muchos productos tecnológicos y, en especial, por las recientes **crisis de suministro global** de estos insumos, muchas naciones han lanzado iniciativas para promover el **desarrollo tecnológico local** y **evitar la dependencia de suministros externos**.

Es por ello que la mayoría de iniciativas para la resiliencia tienen que ver con **propuestas estratégicas** de los **países** para incrementar sus **capacidades en investigación y desarrollo**, así como sus **capacidades productivas** en relación con la tecnología de semiconductores. Se busca establecer una mayor **capacidad de respuesta** frente a posibles **crisis de suministros**, **evitar la dependencia respecto a otros países** y promover el desarrollo de **nuevos productos y tecnologías derivadas** de los semiconductores. Se trata de **políticas ambiciosas** que buscan posicionar a los territorios como **agentes activos** en la **generación de conocimiento** y establecer **capacidades** para **cubrir de forma local la cadena valor integral** de los **semiconductores**, volviéndose así **competitivos** frente a los países líderes. Para lograr estos objetivos y establecer **capacidades productivas a gran escala** en el **corto plazo**, se buscan aunar los esfuerzos de **empresas, universidades, centros de investigación** y el **sector público** e impulsar la **atracción de talento**. Entre estas iniciativas se encuentran el “**K Chips Act**” de Corea del Sur, el “**Chips and Science Act**” en Estados Unidos, y la “**Ley Europea de Chips**”.

5.2 Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados

5.2.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Alianza Europea de Materias Primas 	<ul style="list-style-type: none"> Crisis de las cadenas de suministros globales Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología Creciente demanda global de minerales críticos Implementación de medidas proteccionistas Impulso a la movilidad sostenible e inteligente
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Nueva Estrategia Industrial Europea 	
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> SPARC – Alianza para la Robótica en Europa 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Nacional para la Manufactura Avanzada 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> American Battery Materials Initiative 	
	Australia	<ul style="list-style-type: none"> Listado de Minerales Críticos 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Innovación de Reino Unido 	
	Francia	<ul style="list-style-type: none"> Plan Francia 2030 	
	Canadá	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Minerales Críticos 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Minerales Críticos de Reino Unido 	
Alemania, Australia, Canadá, Estados Unidos, Finlandia, Francia, India, Italia, Japón, Noruega, Reino Unido, República de Corea y Suecia.	<ul style="list-style-type: none"> Minerals Security Partnership 		

5.2.2 Análisis de la Matriz

Los **Materiales Avanzados** son esenciales para la implementación efectiva de la transición sostenible, a partir de las **nuevas propiedades** o **propiedades mejoradas** que permiten alcanzar en los productos que se obtienen. Se utilizan para fabricar paneles solares, turbinas eólicas, baterías para almacenamiento de energía, vehículos eléctricos y autónomos, y tecnología de salud, entre otros. Para **obtener** estos **productos** de **forma eficiente** y **evitar la dependencia del suministro de terceros**, los países están invirtiendo en **investigación y desarrollo, infraestructura** y **atracción de talento** en relación con el **desarrollo de estos materiales** y con la **Manufactura Avanzada**, para introducir

tecnología que promueva la **competitividad del sector industrial** y permita contar con capacidad de producción endógena.

Sin embargo, uno de los **elementos de mayor criticidad** para los territorios a la hora de desarrollar Materiales Avanzados y mantenerse competitivos de cara a la transición energética, es la **disponibilidad de materias primas e insumos**, en especial de **minerales críticos**. Sin estos sería imposible desarrollar ninguna de las aplicaciones antes mencionadas. En pocas palabras, no hay transición energética sin minerales críticos, razón por la cual la resiliencia de su cadena de suministro se ha convertido en una prioridad cada vez mayor para los países.

Asimismo, la **obtención y procesamiento** de muchos **minerales críticos** está concentrada geográficamente en unos **pocos países** (p.ej., el 60% de las tierras raras está concentrada en China) lo que vuelve **incierto el suministro** de estos insumos y vulnerable a conflictos económicos y geopolíticos. De allí que los esfuerzos de los países que pretenden posicionarse en el desarrollo de tecnología y productos ligados a la **transición energética** estén concentrados en lograr un **suministro fiable de minerales críticos** en el mediano y largo plazo. Además, los países buscan incrementar sus capacidades en el **procesamiento de estos minerales** ya que en muchos casos (en especial en cuanto a baterías eléctricas y paneles fotovoltaicos) la actividad se concentra nuevamente en China. Por último, cabe destacar que muchos de estos materiales críticos cuentan con **reservas escasas** a nivel global; de ahí el interés por el desarrollo de tecnologías para la **obtención de minerales del lecho marino**.

De esta manera, surgen iniciativas para **crear cadenas de valor integradas verticalmente** en los **países o regiones**, es decir, que aseguren el **suministro y procesamiento de minerales críticos** y la posterior **obtención** de los **productos y aplicaciones necesarios** (baterías, paneles solares, turbinas eólicas, etc.). Existen **alianzas entre países**, como la **MSP (Minerals Security Partnership)**, donde Estados Unidos y otros 13 países se unen para complementar sus capacidades y asegurar el suministro de minerales; e **iniciativas individuales** de las naciones que van desde la definición y concreción de los minerales críticos y su enfoque para asegurar su suministro.

La investigación, desarrollo, inversión en infraestructuras y estructuración de cadenas de valor ligadas a la **Manufactura Avanzada** permite que, una vez asegurado el suministro de la materia prima (minerales críticos), los países cuenten con la capacidad necesaria para desarrollar de forma local los **productos y soluciones** necesarios para la **transición energética**. Esto implica un cambio de paradigma respecto a las últimas décadas, donde las estrategias de manufactura se orientaban a tercerizar la producción en otros países para minimizar costos e inversiones; en la actualidad, la **creciente demanda de tecnología** ligada a la **transición sostenible** y la **incertidumbre** generada por diversos **acontecimientos internacionales** y la **concentración de capacidades** en ciertos países, han derivado en una necesidad de incrementar las capacidades de I+D y producción nacionales.

5.3 Robótica y Sistemas Autónomos

5.3.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Robótica y Sistemas Autónomos	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> • SPARC – The Partnership for Robotics in Europe 	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel elevado de inflación subyacente • Crisis de las cadenas de suministro globales • Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología • Implementación de medidas proteccionistas • Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal • Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> • Rolling Plan for ICT standardisation 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia de Innovación de Reino Unido 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> • Hoja de Ruta de la Robótica de EE.UU. 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia Nacional para la Manufactura Avanzada 	
	Corea del Sur	<ul style="list-style-type: none"> • Ley de fomento del desarrollo y la distribución de robots inteligentes 	
	Corea del Sur	<ul style="list-style-type: none"> • Tercer Plan Director de Robots Inteligentes 	
	Francia	<ul style="list-style-type: none"> • Plan Francia 2030 	
	Canadá	<ul style="list-style-type: none"> • Consejo Canadiense de Robótica 	
	Australia	<ul style="list-style-type: none"> • Estrategia Nacional de Robótica (en desarrollo) 	

5.3.2 Análisis de la Matriz

La utilización de **robots y sistemas autónomos** no se restringe sólo al ámbito industrial, de ahí su creciente interés estratégico. Cada vez más **máquinas inteligentes, autónomas, reconfigurables y escalables**, capaces de **operar con seguridad junto a las personas** y como parte de **sistemas interconectados complejos** formarán parte de diversas **actividades económicas, productivas y de la vida diaria**. Esto incluye aplicaciones en el **transporte** (vehículos autónomos y vehículos aéreos no tripulados), el **mantenimiento de infraestructuras de difícil acceso** (como turbinas eólicas marinas), **agricultura** (por ejemplo, detección autónoma de malezas en los campos de cultivo), **sanitarias** (por ejemplo, robots desinfectantes y cirugía mínimamente invasiva), **logística automatizada** de almacenes y **asistencia a los adultos mayores**. Asimismo, la **Inteligencia Artificial (IA)** permite maximizar la autonomía de estos sistemas, es decir, su capacidad de tomar decisiones de forma independiente. Adicionalmente, la **escasez de mano de obra** dedicada a **labores manuales** (p.ej. a nivel agropecuario o industrial) podría ser cubierta con sistemas autónomos, de forma progresiva.

Se trata de un ámbito con diversidad de aplicaciones y muy dinámico, donde **nuevas soluciones basadas en tecnología** surgen continuamente. En este contexto, muchos gobiernos entienden que su rol es el de generar un entorno donde la **actividad de I+D** a nivel local pueda **maximizarse y traducirse en soluciones de mercado**. P.ej. **Reino Unido** define como estratégicas las actividades de “**Incubación y Desarrollo de Innovación Tecnológica**”, “**Inversión**” e “**Industrialización de la Tecnología**”, para el sector de Robótica, en su Estrategia de Innovación⁶⁸. Este enfoque se apoya en que el **desarrollo del sector de robótica** es aún **incipiente**, por lo que los **líderes** continuarán siendo las **startups** que cuentan con una **amplia base de conocimiento** y la **capacidad de desarrollar e implantar soluciones concretas** para dar respuestas a **problemas específicos**; de allí el interés de los países en crear y apoyar localmente a estos **nuevos negocios disruptivos**⁶⁹.

Por todo lo mencionado anteriormente, este **dominio tecnológico** permite **incrementar la productividad de las economías**, en un **contexto inflacionario** y de **dificultades** en el **suministro**

⁶⁸ UK Government (2021). *UK Innovation Strategy*.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1009577/uk-innovation-strategy.pdf

⁶⁹ Boston Consulting Group (2021). *Robotics Outlook 2030: How Intelligence and Mobility Will Shape the Future*.

<https://www.bcg.com/publications/2021/how-intelligence-and-mobility-will-shape-the-future-of-the-robotics-industry>

de ciertos insumos y productos a nivel global; permite **optimizar y universalizar** los **servicios de salud**, a través de tecnología que amplía la capacidad de respuesta del sistema sanitario; ayuda a **afrentar el envejecimiento poblacional**, a través de sistemas autónomos de soporte al adulto mayor; permite hacer frente a la **escasez de mano de obra** en muchos sectores productivos; y promueve la **descarbonización de la actividad económica**, p. ej., permitiendo la automatización y la implementación de sistemas de precisión en la actividad agrícola, minimizando el uso de pesticidas y el consumo de combustibles.

Por último, al igual que en otros dominios tecnológicos, el **interés de los países** por invertir en el **desarrollo de tecnología propia** tiene que ver con evitar la **dependencia del suministro de terceros** y promover la **competitividad local**, mientras se espera que la diversidad de aplicaciones de la robótica y sistemas autónomos se continúe incrementando.

5.4 Tecnologías Cuánticas

5.4.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Tecnologías Cuánticas	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Chips and Science Act 	<ul style="list-style-type: none"> Implementación de medidas proteccionistas Estancamiento en el porcentaje de Cobertura Sanitaria Universal Crisis de las cadenas de suministros globales Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Cuántica Nacional 	
	China	<ul style="list-style-type: none"> 14^{to}. Plan Quinquenal 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Innovación de Reino Unido 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Cuántica Nacional 	
	Canadá	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Cuántica Nacional 	
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Rolling Plan for ICT standardisation 	
	Australia	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Cuántica Nacional 	
	Suecia	<ul style="list-style-type: none"> Una Agenda Cuántica para Suecia 	
	Francia	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Nacional de I+D Cuántica 	
	Alemania	<ul style="list-style-type: none"> Plan de Acción en Tecnologías Cuánticas 	

5.4.2 Análisis de la Matriz

Las tecnologías cuánticas promueven el desarrollo de **dispositivos e infraestructuras novedosos** con la promesa de **nuevas aplicaciones** en una serie de ámbitos que pueden contribuir a la solución de algunos de los **retos sociales y económicos** más acuciantes de la actualidad; p. ej., sensores más precisos para imágenes cerebrales no invasivas y simulación de sistemas complejos que los computadores tradicionales no pueden realizar.

La tecnología cuántica hace posibles **computadores exponencialmente más potentes** que pueden resolver problemas antes irresolubles, como acelerar el desarrollo de fármacos prediciendo qué medicamentos serán eficaces contra las enfermedades. Se trata de un dominio tecnológico de desarrollo incipiente a nivel global, por lo que los países pioneros en desarrollar tecnologías cuánticas y en utilizarlas de forma generalizada obtendrán grandes ventajas en términos de **productividad**,

crecimiento económico, sistemas de salud más eficientes, sostenibilidad, seguridad nacional y capacidad de resiliencia⁷⁰.

De allí que países como **Reino Unido, Estados Unidos y Canadá** hayan diseñado **estrategias específicas** para el desarrollo de un ecosistema ligado a las tecnologías cuánticas. En el caso de **Reino Unido**, el trabajo de casi **10 años** a través de **políticas concretas** para el desarrollo de este sector le permite contar con **recursos humanos calificados**, a partir de **programas de investigación** ligados a la tecnología cuántica; es junto a EE.UU. una de las naciones con mayor cantidad de empresas en este ámbito, diseminadas en diferentes aplicaciones; ha conseguido desplegar numerosos **proyectos conjuntos** entre los **agentes involucrados** en la cadena de valor; y cuenta con **instalaciones de punta** para el **desarrollo y testeo** de soluciones, como el **Laboratorio Nacional de Física**. La visión del gobierno británico es contar con **talento y capacidades propias** en **toda la cadena de valor**, y convertirse en el **epicentro de los negocios vinculados a las tecnologías cuánticas**.

Por otro lado, existe una preocupación por garantizar la **privacidad** y la **ciberseguridad** de las personas en un futuro nuevo paradigma de operaciones basado en la **tecnología cuántica**, mediante **redes de comunicaciones cuánticas seguras** y a través de la **criptografía poscuántica**, que permitirá la **interoperabilidad** de los sistemas tradicionales y los nuevos basados en tecnología cuántica. Este último punto es muy importante, dado que la irrupción de esta tecnología en países sin ningún tipo de **infraestructura de comunicaciones preparada** puede implicar **riesgos para la seguridad nacional**. De allí que los países que no contemplan, por el momento, el potencial de las tecnologías cuánticas y sus riesgos para la seguridad nacional, se encuentran un paso atrás respecto a aquellos que cuentan con una hoja de ruta definida.

5.5 Biotecnologías

5.5.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Biotecnologías	EE.UU	• Regenerate: Biotechnology and U.S. Industrial Policy	<ul style="list-style-type: none"> • Nivel elevado de inflación subyacente • Crisis de las cadenas de suministro globales • Desaceleración del comercio internacional • Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología • Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal • Faltante de medicamentos en países de la OCDE • Eventos climáticos extremos y desastres naturales • Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico • Auge de prácticas en economía circular • Impulso a la movilidad sostenible e inteligente • Establecimiento de estándares globales para reducir la contaminación a través de plásticos
	EE.UU	• Centros de Descubrimiento de Fármacos Antivirales para Patógenos de Interés Pandémico	
	EE.UU	• National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative	
	Unión Europea	• European Biotech Hub	
	Reino Unido	• Growing the Bioeconomy	
	Japón	• Creación del Centro Estratégico de Investigación y Desarrollo Avanzados de Vacunas para la Preparación y Respuesta	
	Suiza	• Swiss Biotech Hub	
	Australia	• Centro Mundial Cumming de Terapéutica Pandémica	
	China	• National Economic and Social Development and Vision 2035 of the People's Republic of China	
	Corea del Sur	• Biotechnology in Korea	
	Internacional	• Global Virome Project (GVP)	
	Internacional	• International Gene Synthesis Consortium	

⁷⁰ UK Government (2023). *National Quantum Strategy*.

https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1142942/national_quantum_strategy.pdf

5.5.2 Análisis de la Matriz

La biotecnología se establece como un motor para la innovación capaz de impulsar sectores clave mediante la creación de nuevos bioproductos y procesos eficientes. La transformación de residuos orgánicos en bioproductos de valor, como bioplásticos y biocombustibles de segunda generación, no solo contribuye a reducir la **dependencia de combustibles fósiles**, sino que también fomenta las prácticas en **economía circular**. Asimismo, otros países están utilizando estas tecnologías para impulsar la capacidad de diseñar organismos y procesos para optimizar la **producción agrícola** de forma que no solo ayude a enfrentar desafíos relacionados con el **cambio climático**, sino que también garantice el **suministro de alimentos** en condiciones climáticas adversas. En este sentido, la biotecnología se aplica con diferentes objetivos como incrementar el rendimiento de cultivos, potenciar la resistencia a plagas, luchar contra condiciones adversas que afecten a la producción (sequías, temperaturas extremas, etc.) o modificar el contenido de nutrientes en los alimentos. Asimismo, la biotecnología abre nuevos horizontes en el ámbito de la salud contribuyendo a la resiliencia de los sistemas sanitarios de los países, mediante la habilitación de la **medicina personalizada**, la **ingeniería genética** o la **terapia génica**.

En este sentido, desde Estados Unidos, entre otras iniciativas, se está impulsando la **National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative** con el objetivo de **reducir los niveles de inflación**, crear empleos de calidad, **fortalecer las cadenas de suministro** (como la farmacéutica, entre otras), **mejorar la calidad del servicio de salud** y **descarbonizar la economía**. Asimismo, a través de esta iniciativa el Departamento de Energía de los Estados Unidos proporcionará hasta \$100 millones para investigación y desarrollo en **la conversión de biomasa** a combustibles y productos químicos, incluida I+D para la mejora de la producción y el **reciclaje de plásticos biobasados**.⁷¹

Durante los últimos años, el **Gobierno de la República Popular de China** establece el desarrollo de la industria biotecnológica como objetivo estratégico, propiciado por reformas en la regulación, mayor gasto en I+D o incentivos fiscales en lugares clave para fomentar las inversiones en biotecnología.⁷² Entre 2016 y 2020, el número de **parques científicos en biotecnología** en China creció de unos 400 a 600 aproximadamente, lo que refleja las prioridades del gobierno para desarrollar el sector.

En **Reino Unido**, a través de su estrategia se establece una visión conjunta en torno a la biotecnología, en donde esta permita la **creación de puestos de trabajo cualificados**; el uso de la **investigación de vanguardia**; el **aumento de la innovación y la inversión en capacidad de fabricación**; el **incremento de las exportaciones**, y la oferta de oportunidades de crecimiento regional a través de **nuevas cadenas de valor y suministro**. Del mismo modo, el Gobierno del Reino Unido espera a través de la investigación, innovación e infraestructura en biotecnología industrial y biología sintética proporcionar un ecosistema de crecimiento que conecte empresas e industrias en el desarrollo y uso de tecnologías ecológicas basadas en la biotecnología para crear un futuro más sostenible.⁷³

Por último, en otros países como Suiza, Japón o Australia se está impulsando la creación de centros estratégicos para el impulso de la industria biotecnológica con enfoque en diferentes campos y aplicaciones como la **salud**, la **economía circular** o la **producción agrícola**.

⁷¹ The White House (2022). *The United States Announces New Investments and Resources to Advance President Biden's National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative*. <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/09/14/fact-sheet-the-united-states-announces-new-investments-and-resources-to-advance-president-bidens-national-biotechnology-and-biomanufacturing-initiative/>

⁷² China Briefing (2021). *Investment prospects in China's Biotech Industries*. <https://www.china-briefing.com/news/biotech-in-china-investment-prospects-for-the-biopharmaceuticals-and-biomaterials-industries/#:~:text=China's%20leadership%20designated%20biotech%20as,priorities%20to%20develop%20the%20sector.>

⁷³ UK Government (2018). *Growing the Bioeconomy*. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/61a60c91d3bf7f055b2934cf/181205_BEIS_Growing_the_Bioeconomy_Web_SP_.pdf

5.6 Tecnologías de la Energía

5.6.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Tecnologías de la Energía	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Nueva Estrategia Industrial Europea 	<ul style="list-style-type: none"> Incorporación de la energía nuclear como fuente de energía vinculada al desarrollo sostenible Auge de las prácticas de economía circular Nivel elevado de inflación subyacente Crisis de las cadenas de suministros globales Crecimiento del regionalismo comercial Diversificación de la matriz de proveedores energéticos Políticas de fomento del <i>nearshoring</i> Obsolescencia de las redes de transmisión y distribución eléctrica
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Energía de la Unión 	
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> REPower EU Plan 	
	EE.UU. – Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Consejo de Comercio y Tecnología 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Inflation Reduction Act 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Marco Económico Indo-Pacífico para la Prosperidad 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Grid Resilience Innovative Partnership (GRIP) 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Innovación de Reino Unido 	
	Francia	<ul style="list-style-type: none"> Plan Francia 2030 	
	Australia	<ul style="list-style-type: none"> Powering Australia Plan 	
	Australia	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia Nacional de Hidrógeno de Australia 	
	Canadá	<ul style="list-style-type: none"> Estrategia de Hidrógeno para Canadá 	
Canadá	<ul style="list-style-type: none"> Canada Carbon Management Strategy 		

5.6.2 Análisis de la Matriz

La **generación de energía eléctrica** es la principal fuente de **emisión de gases de efecto invernadero**, en especial de **CO₂** (dióxido de carbono). Para cumplir con los **objetivos de descarbonización** a los que los países se comprometieron en el **Acuerdo de París**, se han incrementado sustancialmente los **esfuerzos para disminuir los niveles de emisiones**. Por ello, se están desplegando numerosas iniciativas para establecer las **fuentes de energía de carácter renovable** como **base global de suministro energético**.

Asimismo, los países han avanzado en la **reconfiguración** de sus **cadenas de suministro energético** para hacer frente a la **incertidumbre** en la **generación de energía** que implican las **fuentes renovables**, como la **energía fotovoltaica y eólica**, que dependen de sendos fenómenos climáticos para la generación. Para ello, se han desplegado iniciativas para el **almacenamiento energético**, la **integración de fuentes de energía diversas**, la **incorporación del hidrógeno** como vector energético complementario y la **vinculación** con la **industria** para propiciar también la **descarbonización de los procesos productivos**. En este sentido, surge también la tecnología de **captura, utilización y almacenamiento de carbono**, para minimizar las emisiones de los procesos industriales.

Sin embargo, la conformación de **nuevas cadenas de valor** para la **generación, transmisión y distribución** de energía solar, eólica, biogás e hidrógeno, así como baterías eléctricas para el almacenamiento energético, ha sido **dispar**; estas cadenas dependen de **suministros** estratégicos provistos por unos **pocos países**, como los paneles solares o los minerales utilizados para la fabricación de baterías. Además, las **redes de transmisión y distribución** no están preparadas para el creciente volumen de proyectos renovables que deben incorporarse a las redes. Existen iniciativas para su modernización e incremento de capacidades, como el **Grid Resilience Innovative Partnership (GRIP) de EE.UU.**, con una financiación de 10.500 millones de dólares para apoyar la

mejora de la fiabilidad y resistencia de la red eléctrica, dedicando 3.000 millones de dólares de subvenciones al despliegue de redes inteligentes.

Esto, sumado a las **crisis del Covid-19**, el **conflicto bélico en Ucrania** y las dificultades en el **suministro de insumos estratégicos**, han ocasionado un replanteamiento en el enfoque de los países para la transición energética, buscando asegurar el suministro. La **energía nuclear** ha vuelto a tomar relevancia a partir de la fiabilidad y continuidad en el aprovisionamiento que permite. Además, los desarrollos recientes a nivel global de **reactores modulares** (SMR, por sus siglas en inglés) permitirían desplegar proyectos de suministro energético nuclear con **inversiones de capital mucho menores** a las grandes plantas nucleares tradicionales. Evidencia de esto es el **Plan France 2030**, donde el desarrollo de reactores SMR es un objetivo estratégico de envergadura similar al de promoción de las energías renovables y el hidrógeno verde. La visión del gobierno francés es de ampliar el espectro de capacidades nacionales y conformar una matriz energética flexible donde los excesos de energía producida puedan destinarse a la producción de hidrógeno.

En cuanto a la **generación de nuevo conocimiento, investigación y desarrollo**, el foco de los países está en ser **pioneros** en el **desarrollo de mejoras tecnológicas** en campos donde las **soluciones existentes** presentan **aspectos por mejorar**. Este es el caso de las **baterías eléctricas**, dispositivos en constante evolución en cuanto a capacidad de almacenamiento y seguridad; es necesario optimizar aún más sus funcionalidades para dar respuesta a los retos que plantean los países para la descarbonización; p.ej., **Reino Unido** persigue el objetivo de reducir la demanda energética en un 40% para 2050⁶⁸.

5.7 Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas

5.7.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas	EE.UU	<ul style="list-style-type: none"> National Strategy to secure 5G 	<ul style="list-style-type: none"> Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología Políticas de fomento del nearshoring Crisis de las cadenas de suministros globales Crisis de la democracia Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal Impulso a la movilidad sostenible e inteligente
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> National Cybersecurity Strategy 	
	EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Automated vehicles: Comprehensive Plan 	
	Unión Europea	<ul style="list-style-type: none"> Rolling Plan for ICT standardisation 	
	Reino Unido	<ul style="list-style-type: none"> National Cybernetic Strategy 2022 	
	Unión Europea - EE.UU.	<ul style="list-style-type: none"> Consejo UE-EE.UU de Comercio y Tecnología 	
	China	<ul style="list-style-type: none"> First National Cybersecurity Strategy 	
	China	<ul style="list-style-type: none"> Made in China 2025 	
	China	<ul style="list-style-type: none"> Five-year plan to speed up integration of digital, real economies 	
	Australia	<ul style="list-style-type: none"> ICT Strategy 2021-2023 	
	Asociación de Naciones de Asia Sudoriental - Japón	<ul style="list-style-type: none"> Centro de Desarrollo de Capacidades de Ciberseguridad ASEAN-Japón (AJCCBC) 	
	Canadá	<ul style="list-style-type: none"> Nuevo marco de conectividad y aplicaciones 5G 	

5.7.2 Análisis de la Matriz

El 5G representa una transformación de las redes de telecomunicaciones, proporcionando beneficios y nuevas capacidades que respaldarán la conectividad para aplicaciones como los **vehículos autónomos** o la **telemedicina**. En los últimos años, la tecnología 5G ha supuesto un **punto de inflexión** en la disputa tecnológica entre Estados Unidos y China.

En este sentido, Estados Unidos desarrolló la **Estrategia Nacional para Proteger 5G**, como ampliación de la **Estrategia Cibernética Nacional**, en donde describe cómo el país salvaguardará la infraestructura 5G para abordar los riesgos para la seguridad nacional y económica de la nación. Durante la administración de Donald Trump se incluyó a la compañía **Huawei**, líder en el desarrollo de tecnología 5G, en la Entity List de los Estados Unidos, por supuesta colaboración con el gobierno chino en operaciones de espionaje informático. Además, la administración Biden impuso restricciones comerciales a **ZTE**, otra compañía china de relevancia, en el año 2021. Asimismo, desde la **Unión Europea** se está planteando un veto obligatorio para que los Estados miembros puedan usar equipamiento 5G de empresas chinas entre las que figuran Huawei y ZTE.⁷⁴ A pesar de este escenario geopolítico, China sigue liderando el desarrollo de infraestructura 5G, con **más de 1800 proyectos de 5G e Internet Industrial en ejecución**, abarcando sectores desde la minería a la energía.⁷⁵

Ante esta situación, los diferentes países han establecido sus propias **estrategias nacionales de ciberseguridad**, haciendo hincapié en proteger la seguridad nacional y **proteger la infraestructura crítica** (definida por los gobiernos como infraestructura esencial para el correcto funcionamiento de la sociedad y el sistema económico). Nuevamente, desde **Estados Unidos** se insiste en que China representa una amenaza de ciber espionaje para el gobierno y sector privado estadounidense, y su infraestructura crítica, llegando a afectar incluso a oleoductos, gasoductos o los sistemas ferroviarios.⁷⁶ Igualmente, desde la **Unión Europea** se ha expuesto las actividades cibernéticas llevadas a cabo desde el territorio chino han supuesto una amenaza significativa para la economía, seguridad, democracia y sociedad europea.

Por último, las **tecnologías de la comunicación** son **estratégicas** en países con un fuerte peso de la **industria automotriz** en su tejido económico. Este sector está atravesando un momento de transición a partir de la evolución a los **vehículos autónomos e inteligentes**, que están conectados con numerosos dispositivos e intercambian información con su entorno de forma continua; este es el caso de **México**, con un sector industrial muy ligado a los Estados Unidos. Sobre este contexto cabe destacar que en el país mexicano el empleo ha aumentado, con expectativas de un crecimiento adicional debido al aumento proyectado en la producción de vehículos eléctricos, autónomos e inteligentes, la expansión del tejido empresarial y las expectativas del potencial del **nearshoring**.⁷⁷

⁷⁴ Comisión Europea (2023). *La Comisión anuncia los próximos pasos en materia de ciberseguridad de las redes 5G como complemento al último informe de situación de los Estados miembros.*

https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3309

⁷⁵ The State Council – The People’s Republic of China (2021). *Five-year plan to speed up integration of digital, real economies.* https://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202112/01/content_WS61a6d009c6d0df57f98e5da0.html

⁷⁶ America’s Cyber Defense Agency (2023). *Descripción general y avisos de las amenazas cibernéticas de China.*

<https://www.cisa.gov/topics/cyber-threats-and-advisories/advanced-persistent-threats/china>

⁷⁷ International Labour Organization (2023). *The automotive sector in Mexico: The impact of automation and digitalization of employment.* https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/documents/publication/wcms_877324.pdf

5.8 Inteligencia Artificial

5.8.1 Matriz de resiliencia impulsada por el dominio tecnológico

	País / Territorio	Iniciativa de resiliencia	FCG asociados
Inteligencia Artificial	China	• Made in China 2025	<ul style="list-style-type: none"> • Creciente preponderancia de China en Ciencia y Tecnología • Desaceleración del comercio internacional • Descenso en la Inversión Extranjera Directa (IED) • Crisis de la democracia • Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal • Exigencia transversal del enfoque en igualdad de género • Riesgo inminente de una crisis global de escasez de recurso hídrico • Impulso a la movilidad sostenible e inteligente • Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas
	Europa - EE. UU.	• Consejo de Comercio y Tecnología	
	Australia	• Plan de acción de IA de Australia	
	EE.UU	• National Artificial Intelligence Research and Development Strategic Plan	
	Reino Unido	• UK Innovation Strategy	
	Reino Unido	• National AI Strategy	
	Reino Unido	• The National Strategy for AI in Health and Social Care	
	Taiwán	• Adhesión al Collective Intelligence Project (CIP)	
	Unión Europea	• Plan Coordinado sobre IA	
	Unión Europea	• EU AI Act	
	Francia	• Plan France 2030	
	Japón	• AI Strategy 2022	
	Canadá	• Pan-Canadian AI Strategy	

5.8.2 Análisis de la Matriz

La influencia de la **Inteligencia Artificial** en la resiliencia frente a los FCG irá en aumento durante los próximos años. En este sentido, en el año 2016 **Estados Unidos** presentó una **estrategia sobre IA** e invirtió cerca de 970 millones de euros en investigación no clasificada en IA (posteriormente esta estrategia fue actualizada), y al igual que **China** aspira a asumir el liderazgo mundial en IA para el año 2030, en donde ambos países vienen realizando inversiones ingentes.⁷⁸

En este sentido, otros países punteros como **Japón**, **Reino Unido** o **Canadá** disponen de sus propias **estrategias nacionales de IA**, a modo de respuesta a FCG y como instrumento de resiliencia frente a desastres naturales, incrementar la cobertura y calidad de los servicios sanitarios o avanzar hacia la movilidad sostenible e inteligente, entre otros. De forma más concreta, Japón establece en su **AI Strategy 2022**⁷⁹ como uno de sus objetivos prioritarios el estar preparado para predecir y enfrentar desastres naturales que puedan afectar al país de forma repentina, como terremotos o tsunamis. Asimismo, **Reino Unido** establece en su **National AI Strategy**⁸⁰ la Inteligencia Artificial como un elemento para generar diferencias significativas en la calidad y cobertura del sistema de atención sanitaria y cuidado social. Igualmente, tal y como establece la **Pan-Canadian Artificial Intelligence Strategy**⁸¹ se está tratando de impulsar la IA enfocada en acelerar soluciones que mitiguen las consecuencias del cambio climático, protejan el medioambiente y aporte soluciones innovadoras al sector energético nacional.

Asimismo, existen actuaciones dirigidas a la **regulación de la IA**, para promover un despliegue seguro, transparente, con trazabilidad, no discriminatorio y respetuoso con el medio ambiente. En esta línea surge el **EU AI Act**, de la **Unión Europea**, un conjunto de **normas** que establecen obligaciones para proveedores y usuarios en función del nivel de riesgo de la aplicación de la inteligencia artificial.

⁷⁸ Comisión Europea (2018). *Inteligencia Artificial para Europa*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237>

⁷⁹ Secretariat of Science, Technology and Innovation Policy Cabinet Office – Government of Japan (2022). *AI Strategy 2022*. <https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/aistrategy2022en.pdf>

⁸⁰ UK Government (2021). *National AI Strategy*.

https://assets.publishing.service.gov.uk/media/614db4d1e90e077a2cbdf3c4/National_AI_Strategy_-_PDF_version.pdf

⁸¹ Canadian Institute for Advanced Research (s.f). *The Pan-Canadian AI Strategy*. <https://cifar.ca/ai/>

5.9 Otros mecanismos de resiliencia

Por último, es necesario destacar **mecanismos de resiliencia transversales** a todos los dominios tecnológicos, como la búsqueda de establecer **estándares** para el desarrollo. Los países que logren ser pioneros en el establecimiento de estándares tecnológicos tendrán ventajas para conseguir **escalar su producción**, promover la **interoperabilidad** de tecnologías y maximizar el **alcance de mercado** de sus soluciones tecnológicas. Por ejemplo, la iniciativa **Made in China 2025** establece un mecanismo formal para vincular la I+D con la estandarización, así como un modelo de gobernanza de los estándares que China busca establecer en el país y a nivel global; estos estándares son denominados **China Standards 2035**.

En **Estados Unidos**, en cambio, la definición de estándares es promovida desde el sector privado, lo que ha llevado a casos como el de Tesla, que ha establecido su sistema de recarga de vehículos eléctricos como estándar nacional y busca expandirlo al resto del planeta.

La **Unión Europea** también busca definir estándares en campos tecnológicos en los que busca establecerse como líder, a través de su iniciativa **Rolling Plan for ICT standardisation**; ésta aborda todos los temas identificados como prioridades políticas de la UE en los que la normalización, las normas o las especificaciones técnicas de las TIC pueden desempeñar un papel clave en la aplicación de la política.

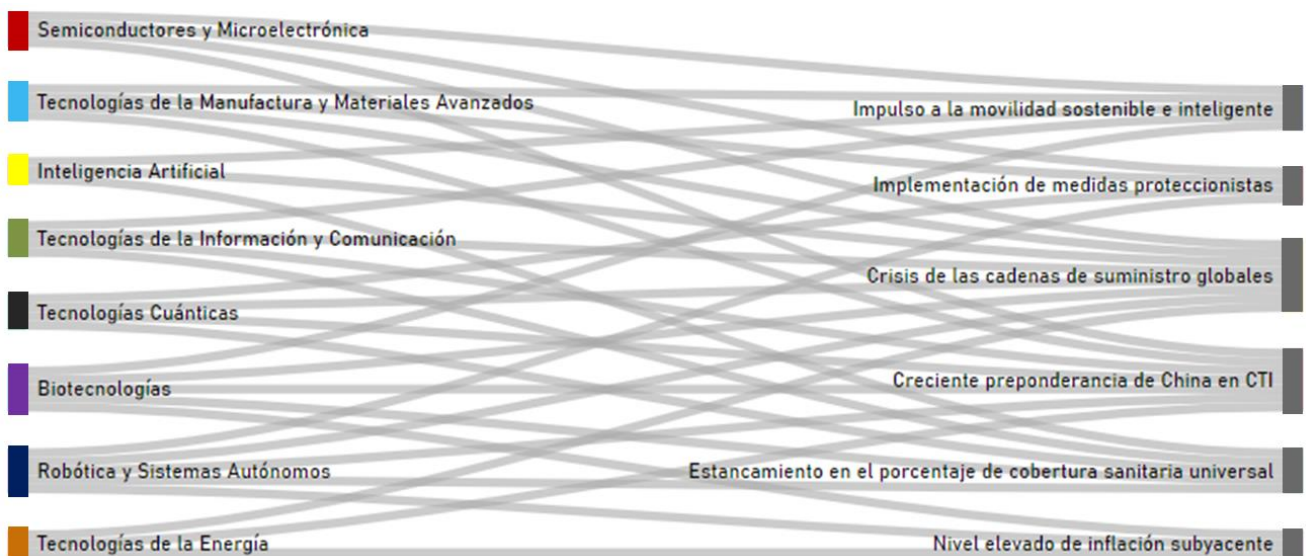
Una vez más, se aprecia que los **territorios más dinámicos y punteros** en el **desarrollo tecnológico** también son los primeros en buscar **definir los estándares tecnológicos**, lo que podrá llevarlos a contar con **ventajas competitivas** e influencia sobre el resto de países.

5.10 Vinculación entre dominios tecnológicos y factores de cambio

En síntesis, los **8 dominios tecnológicos** definidos son el **mecanismo de resiliencia** ante los diferentes **Factores de Cambio Global** identificados. El **Diagrama de Sankey** presentado a continuación permite apreciar la **vinculación entre los dominios tecnológicos y los factores más repetidos** en el análisis. El diagrama evidencia el interés de los países y la criticidad de estos dominios tecnológicos, dada su transversalidad para afrontar los factores de cambio.

Los Factores a los que hacen frente estas tecnologías, principalmente, son la “Crisis de las cadenas de suministro globales”, la “Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación”, el “Impulso a la movilidad sostenible e inteligente” y el “Estancamiento en el porcentaje de cobertura sanitaria universal”.

Ilustración 4. Vinculación entre dominios tecnológicos y factores de cambio



6. DEFINICIÓN DE CADENAS DE VALOR PRODUCTIVAS EN CHILE

Tomando como base el análisis desglosado por sector económico de indicadores económicos clave de Chile, tales como el **Producto Interno Bruto (PIB)**, el **Valor Agregado Bruto (VAB)** y los **montos de exportaciones**, se han identificado los sectores económico-productivos que representan una mayor relevancia en la estructura económica nacional. Este enfoque tiene como objetivo no solo identificar los sectores de mayor peso en la producción local mediante la generación de empleo, sino también aquellos que agregan un valor sustancial en las diferentes etapas de producción y están orientados hacia los mercados internacionales de forma que habilite su integración en las cadenas de valor globales⁸². El detalle de los indicadores económicos analizados se encuentra en el Anexo 1.

De esta manera, se llegó a una identificación de los siguientes sectores económicos:

- **Minería**
- **Servicios empresariales**
- **Industria manufacturera (Alimentos)**
- **Industria agropecuario-silvícola**
- **Industria manufacturera (Química, petróleo, caucho y plástico)**
- **Electricidad, gas, agua y gestión de desechos**
- **Industria manufacturera (Bebidas y tabaco)**
- **Industria manufacturera (Celulosa, papel e imprentas)**
- **Pesca**

Para la definición de las actividades económicas asociadas a cada sector, se ha realizado una adaptación a partir de la **Clasificación de Actividades Económicas**, homologada por el **Servicio de Impuestos Internos (SII)**⁸³. Este marco proporciona una base sólida y estandarizada para identificar y categorizar las actividades económicas en concordancia con las normativas y estándares tributarios del país.

RUBRO	SUBRUBRO	CÓDIGO DE ACTIVIDAD
EXPLOTACIÓN DE MINAS Y CANTERAS	▪ Extracción y procesamiento de cobre	▪ Extracción y procesamiento de cobre
	▪ Extracción de minerales de hierro	▪ Extracción de minerales de hierro
	▪ Extracción de minerales metalíferos no ferrosos, excepto cobre	▪ Extracción de oro y plata ▪ Extracción de otros minerales metalíferos no ferrosos N.C.P (de especial interés el molibdeno)
AGRICULTUR A, GANADERÍA, SILVICULTUR	▪ Cultivo de plantas no perennes	▪ Cultivo de trigo
		▪ Cultivo de avena

⁸² Para enriquecer y validar la propuesta, se ha contado con la colaboración de **Sergio Soza Amigo**, catedrático y exvicerrector de la sede Puerto Montt de la Universidad Austral de Chile. Su experiencia y estudios en materia económica respaldan la consideración integral de todas las cadenas productivas del país. Se hizo hincapié en seleccionar solo aquellas actividades de carácter productivo, es decir, asociadas al desarrollo de una serie de procesos para obtener productos o servicios de valor.

⁸³ Servicio de Impuestos Internos (2012). *Homologación completa de actividades económicas con el CIIU4.CL 2012*. https://www.sii.cl/catastro/homologacion_codigos_actividad.pdf

RUBRO	SUBRUBRO	CÓDIGO DE ACTIVIDAD
	▪ Extracción de madera	▪ Extracción de madera
	▪ Pesca	▪ Pesca marítima ▪ Pesca de agua dulce
	▪ Acuicultura	▪ Cultivo y crianza de peces marinos ▪ Acuicultura de agua dulce
INDUSTRIA MANUFACTURERA	▪ Elaboración y conversación de frutas, legumbres y hortalizas	▪ Elaboración y conversación de frutas, legumbres y hortalizas
	▪ Elaboración de bebidas alcohólicas y no alcohólicas	▪ Elaboración de vinos
	▪ Fabricación de papel y de productos de papel	▪ Fabricación de celulosa y otras pastas de madera
	▪ Fabricación de productos de la refinación del petróleo	▪ Fabricación de productos de la refinación del petróleo
SUMINISTRO DE ELECTRICIDAD	▪ Suministro de electricidad	▪ Generación de energía eléctrica
		▪ Transmisión de energía eléctrica
		▪ Distribución de energía eléctrica
ACTIVIDADES FINANCIERAS Y DE SEGUROS	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Intermediación monetaria ▪ Actividades de sociedades de cartera ▪ Fondos y sociedades de inversión y entidades financieras similares ▪ Otras actividades de servicios financieros 	▪ Otros tipos de intermediación monetaria
TRANSPORTE E Y ALMACENAMIENTO	▪ Transporte y almacenamiento	▪ Transporte de carga
		▪ Otros servicios de almacenamiento y depósito
ACTIVIDADES PROFESIONALES, CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS	▪ Actividades de contabilidad, teneduría de libros y auditoría; consultoría fiscal	▪ Actividades de contabilidad, teneduría de libros y auditoría; consultoría fiscal
	▪ Actividades de consultoría de gestión	▪ Actividades de consultoría de gestión
	▪ Actividades de arquitectura e ingeniería y actividades conexas de consultoría técnica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Servicios de arquitectura ▪ Empresas de servicios de ingeniería y actividades conexas de consultoría técnica ▪ Servicios profesionales de ingeniería y actividades conexas de consultoría técnica

Sin embargo, para analizar el impacto de los Factores de Cambio Global en el entramado productivo chileno y su asociación con un conjunto de dominios tecnológicos, es adecuado integrar estas actividades en ***cadena de valor***.

Una cadena de valor consiste en el desarrollo de sucesivas actividades o procesos a través de los cuales un conjunto de actores (en general, empresas) añaden valor a un ***input*** (que puede ser una materia prima tangible o un flujo de conocimiento). El resultado es un ***output***, en la forma de productos

o servicios dirigidos a satisfacer las necesidades de un mercado concreto⁸⁴. En consecuencia, las cadenas de valor definidas integran una o más de las actividades económicas identificadas.

En función de la relación entre las actividades identificadas, se identifican **8 Cadenas de Valor** para el análisis:

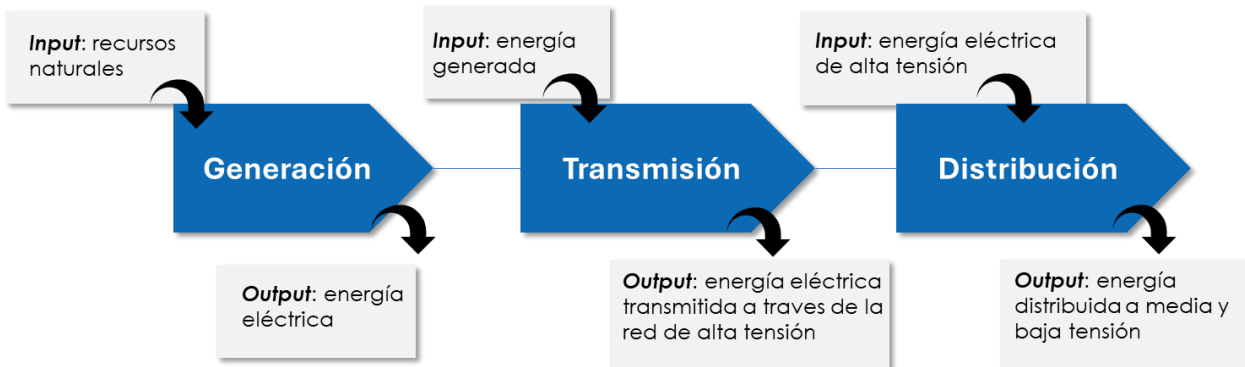
1. **Minería:** integra todas las actividades del rubro “Explotación de minas y canteras”.
2. **Actividad agrícola y frutícola:** integra las actividades de cultivo de plantas no perennes y aquellas de la industria manufacturera vinculadas a frutas, alimentos y bebidas (exceptuando al vino).
3. **Actividad forestal e industria del papel:** incluye las actividades de extracción de madera, y fabricación de papel y productos de papel.
4. **Pesca y acuicultura:** incluye las actividades de los subrubros de pesca y de acuicultura.
5. **Elaboración de vinos:** incluye las actividades vinculadas a elaboración del vino y aquellas de cultivo de la vid.
6. **Suministro de energía eléctrica:** incluye todas las actividades del rubro de suministro de energía eléctrica.
7. **Generación de otras formas de energía:** incluye el subrubro de fabricación de productos de la refinación del petróleo.
8. **Servicios empresariales:** incluye los rubros de actividad ligados a servicios financieros, de transporte y almacenamiento y de servicios técnicos y profesionales.

⁸⁴ Ballou, Ronald H. (2004). *Logística. Administración de la cadena de suministro*. Quinta edición. Pearson Educación, México.

7. ANÁLISIS DE CADENAS DE VALOR

Para cada una de las cadenas de valor establecidas, se definen los **eslabones o nodos** que la componen. Partiendo de una visión sistémica de la cadena de valor, planteada por Porter⁸⁵, estas se pueden descomponer en un conjunto de eslabones (subsistemas), donde uno o varios *input* (en la forma de materias primas o insumos necesarios) sufren procesos de transformación, para obtener un *output* que luego se traslada a otro eslabón u otra cadena de valor.

A modo ilustrativo, se presenta el caso del **Suministro de Energía Eléctrica**, abordado en detalle en la sección 7.6; se compone de tres grandes **eslabones: Generación, Transmisión y Distribución**. Cada uno de ellos implica procesos de transformación que, de manera global, convierten recursos naturales en energía eléctrica apta para el uso industrial, comercial y doméstico.



A partir del análisis de la actividad económica de Chile, detallada en el Capítulo 6, se modelan las 8 cadenas de valor definidas. Para cada una de ellas, se identifican los input o insumos que cada eslabón requiere para su operación, así como las salidas o output, que pasan al siguiente nodo de la cadena.

Se desarrolla una **caracterización** de cada cadena de valor y sus eslabones, en función de su peso en el desarrollo económico y productivo de Chile, y de la relevancia de los eslabones que la componen. En algunos casos, como la minería, tienen gran relevancia las actividades extractivas, mientras que en otros el agregado de valor es mayor, como en la industria de pulpa y papel. Para este análisis se contemplan algunos indicadores económicos como:

- **Participación en el PIB de Chile;**
- **Participación en las exportaciones nacionales;**
- **Valor agregado de la actividad;**
- **Personas ocupadas en la actividad;**
- **Inversión Extranjera Directa en el sector;**
- **Nivel de productividad sectorial;**
- **Otros indicadores en función del sector y la disponibilidad de datos.**

Asimismo, se identifican los **Factores de Cambio Global** que tienen efecto directo en estas cadenas de valor, justificando las razones por las que se constituyen como amenazas y oportunidades para el desarrollo productivo de **Chile**.

⁸⁵ University of Cambridge (2023). *Porter's Value Chain*. <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dstools/value-chain/>

Por otro lado, se presentan los **dominios tecnológicos** que permiten dar **respuesta a esos factores** y que promueven la **resiliencia en la economía** frente a las amenazas y el abordaje de las oportunidades. Los dominios tecnológicos a utilizar son los establecidos en el **Capítulo 4** del Estudio:

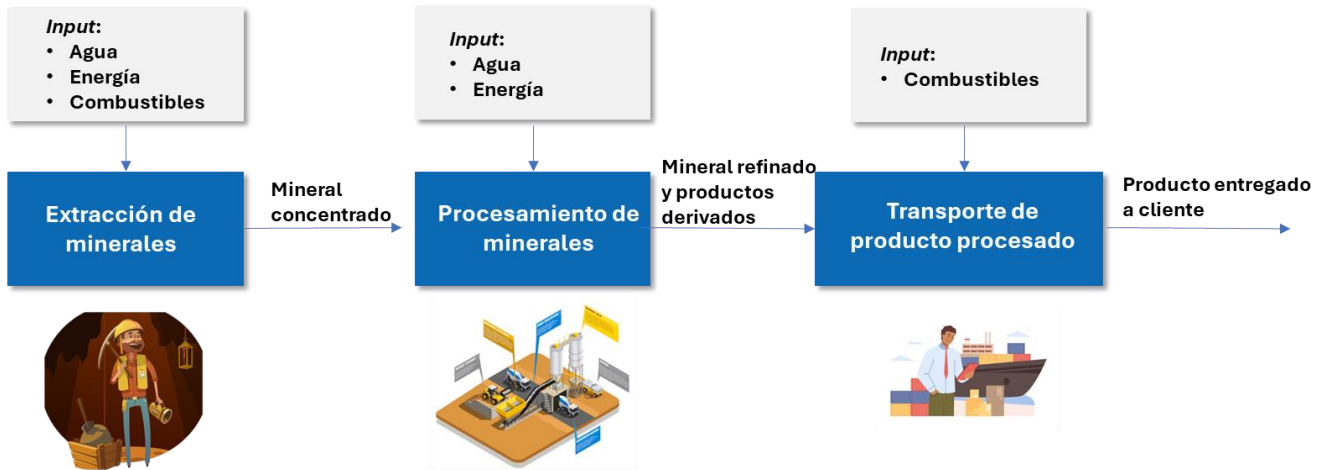
- **Semiconductores y Microelectrónica**
- **Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados**
- **Robótica y Sistemas Autónomos**
- **Tecnologías Cuánticas**
- **Bioteχνologías**
- **Tecnologías de la Energía**
- **Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**
- **Inteligencia Artificial**

Se incluyen también otros dominios tecnológicos o soluciones basadas en tecnología que son relevantes para cada sector en particular.



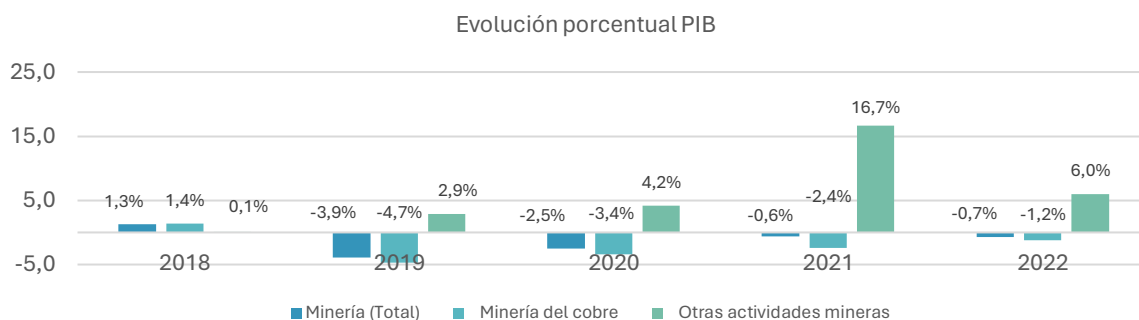
7.1 Minería

La cadena de valor de la minería incluye tareas desde la extracción de los minerales hasta su despacho a las siguientes cadenas de valor, donde se incorporan a nuevos productos.



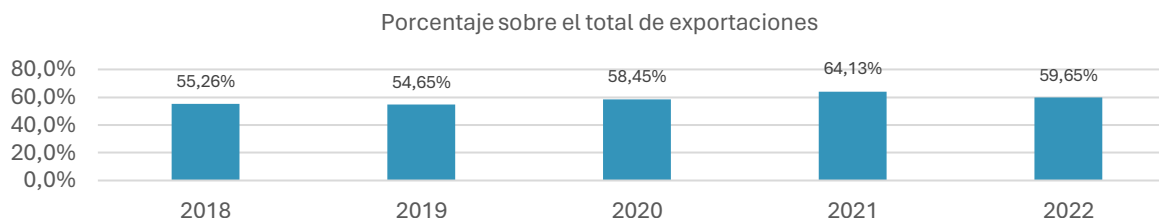
7.1.1 Análisis de la cadena de valor

- La **cadena de valor** de “**Minería**” en Chile, se compone de **tres eslabones** principales que incluyen todas las actividades desde la extracción hasta el procesamiento y distribución de los minerales y sus productos derivados.
 - **Extracción de minerales:** implica la obtención de minerales de la corteza terrestre. Para ello, se utilizan diferentes insumos como agua, para la perforación y transporte de minerales; y energía a partir de electricidad o combustibles para permitir el movimiento y la manipulación de los minerales. Este eslabón genera mineral concentrado que se transfiere al siguiente eslabón.
 - **Procesamiento de minerales:** el mineral concentrado se refina y se obtiene un producto de mayor valor agregado. Esta actividad requiere nuevamente de agua y energía como insumos clave.
 - **Transporte de producto procesado:** el mineral refinado se transporta al cliente final; esto incluye transporte terrestre dentro del país y marítimo para la exportación. El principal insumo del que necesita el proceso es el combustible que permite la operación de los medios de transporte.
- La minería es la actividad productiva con mayor peso en la economía chilena, con una participación del **14,2% en el PIB** y un **59,7% de las exportaciones**, según valores de 2022. Un **90% de la actividad minera chilena** tiene que ver con la **extracción y procesamiento de cobre**.
- Al analizar la **evolución temporal** de esta cadena de valor, se aprecia que el **aporte de la minería al PIB** se ha reducido en los últimos 4 años, debido a la caída en la producción de cobre. Solo se detecta un crecimiento en la cuenta de “Otras actividades mineras”, por el incremento en la **producción de litio**.



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- La relevancia histórica del sector minero en Chile tiene origen en las **grandes reservas de mineral de cobre** presentes en el país; Chile cuenta con el **21% de las reservas mundiales de cobre** y es el **principal productor mundial**, según el Informe de Cifras Actualizadas del Consejo Minero⁸⁶. Chile es también productor de minerales estratégicos como el litio, molibdeno, oro, plata y hierro.
- Por lo tanto, para analizar la cadena de valor productiva de la minería, se puede tomar como referencia la producción de cobre. Los eslabones claves de la cadena de valor son el de “**Extracción de minerales**”, que permite obtener **concentrado de cobre** y el “**Procesamiento de minerales**”, a partir del cual se obtiene un metal más puro (**cobre refinado**), con un contenido de cobre superior al 99,5%.
- La situación actual de la minería chilena indica que, según datos de Cochilco en 2022⁸⁷, **Chile exporta un 53% de mineral de cobre concentrado**; es decir, la mayoría del cobre se extrae y se exporta como concentrado. Solo un **40%** de la producción se exporta como **cobre refinado**, previa transformación y agregado de valor en el país.
- De este análisis se deduce que **Chile sigue siendo el principal generador de mineral de cobre**, pero con un **bajo valor agregado nacional**. Esto se remarca al analizar la participación mundial en producción de cobre en sus distintas fases: Chile sigue siendo el principal productor de cobre de mina (asociado a sus vastas reservas); pero si se analizan los datos referidos a **cobre de fundición y refinado**, se aprecia un **gran crecimiento de China**, que **en 2022 producía el 43,5% del cobre refinado del mundo** (frente a un 31,8% en 2013). Cabe destacar que China es el principal comprador de cobre chileno, siendo destino del **58% de las exportaciones en 2022**; por lo tanto, China compra cobre chileno para luego añadir valor y desarrollo en su territorio.
- Aunque las **exportaciones totales** han experimentado un notable aumento, las del sector minero presentan una **leve caída entre 2021 y 2022**. No obstante, se espera que pueda haber un nuevo **repunte** por el constante **crecimiento de la exportación de litio**.



Fuente: Indicadores de Comercio Exterior – Banco Central Chile

⁸⁶ Consejo Minero de Chile (2023). *Cifras actualizadas de la minería*. <https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/>

⁸⁷ Cochilco (2023). *Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales*. https://www.cochilco.cl/Lists/Anuario/Attachments/27/ANUARIO_ESTADISTICO_COCHILCO%20A%C3%91O%202022.pdf

- Por otro lado, el **73%** de los **proyectos ligados al cobre** en Chile son impulsados por el **sector privado**, según datos del Consejo Minero, mientras que el restante **27%** surge del **sector público** a través de **Codelco**. El creciente peso del sector privado se refleja en una **Inversión Extranjera Directa (IED)** de **5.429 millones de dólares en 2022** (frente a 1.983 millones de 2021), y que representa un 28% de la IED total recibida por el país, según datos del Banco Central.
- Otro mineral que ha tomado importancia en los últimos años, y que ocupa el **segundo lugar** en la **matriz productiva y exportadora** de la **minería** de Chile, es el **litio**. Solo de **2021 a 2022** la **producción de litio** se ha incrementado en **más de un 80%**, según datos de Cochilco⁸⁷; asimismo, las **exportaciones de carbonato de litio** (se utiliza para fabricar los cátodos de baterías eléctricas) significaron embarques por USD 7.763 millones, un **incremento del 777% con respecto al año 2021**. De esta forma, el **carbonato de litio** representó el **8% del valor total exportado en 2022**⁸⁸.
- Uno de los desafíos que afronta la minería chilena es **incrementar el valor agregado del litio** para que **las exportaciones no sean solo del mineral extraído** (carbonato de litio, principalmente), sino que se pueda **complejizar la cadena de valor productiva** y así tome mayor relevancia el eslabón de “Procesamiento de minerales”.
- La **generación de empleo** del sector minero se ha mantenido en **valores alrededor del 10%** del total de empleo generado en el país en la última década, con valores crecientes postpandemia, que llevan a un 10,9% en 2021.
- La siguiente tabla sintetiza la **situación actual** de la cadena de valor minera, en términos económicos.

Cadena de valor	%PIB	%Exportaciones	%Valor Agregado	%Empleo	IED	% Productividad
Minería	14,20%	59,70%	16%	3,05%	USD 5429 millones	2%

Fuente: Banco Central, Cochilco y Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2023)

7.1.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

Los **fenómenos y eventos climáticos extremos**, de ocurrencia cada vez más frecuente, son los factores de cambio con mayor influencia en la actividad minera; esto se debe especialmente a que la minería es una actividad de carácter extractivo y el valor agregado posterior a la extracción, en Chile, sigue siendo incipiente. Por otro lado, el **impulso a la movilidad eléctrica y sostenible**, así como la **demandas de minerales críticos** a nivel mundial, abren la puerta a una diversificación productiva de la minería chilena, impulsando la extracción y procesamiento de minerales como el litio.

- **Eventos climáticos extremos y desastres naturales**

Derivado de los **fenómenos climáticos extremos** cada vez más frecuentes, se alteran los patrones y frecuencia en las precipitaciones, llevando a aluviones o sequías prolongadas.

Las **altas precipitaciones** a menudo provocan inundaciones y deslizamientos de tierra que causan daños a la infraestructura y las redes de suministro, paralización de la actividad minera y contaminación ambiental, generando un riesgo para la salud y seguridad de las personas que se encuentran trabajando en los sitios de extracción de minerales⁸⁹.

⁸⁸ Subrei (2023). *Informe Comercio Exterior Diciembre 2022*. https://www.subrei.gob.cl/docs/default-source/estudios-y-documentos/minuta-mensual/informe-mensual-de-comercio-exterior-enero-diciembre-2022.pdf?sfvrsn=30c6bbf4_3

⁸⁹ Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2022). *Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*. <https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/server/api/core/bitstreams/f16337ab-f188-43e0-8076-18ec8bdb9ab0/content>

- **Riesgo inminente de una crisis global por escasez de recurso hídrico**

Las **sequías** impactan en una escasez de recurso hídrico y la consecuente reducción en la productividad minera. La minería es intensiva en consumo de agua, lo que incrementa la necesidad de soluciones para la desalinización y aprovechamiento de agua. Además, la **actividad minera chilena** (y, en particular, el eslabón de “Extracción de minerales”) se concentra **en las zonas más afectadas por la escasez de recurso hídrico** (centro y norte del país), como lo indica la Política Nacional Minera⁹⁰; en efecto, la sequía es uno de los factores que ha derivado en una **baja en la producción de cobre** en Chile, en los **últimos 2 años**⁹¹.

El cambio climático está impactando a través de la escasez de recurso hídrico en Chile, en especial en el norte del país. Como respuesta a esto, se han desarrollado **proyectos de instalación de plantas desalinizadoras y existen varias más en proceso de estudio y evaluación**. A partir de los datos procesados por el informe “*Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile*”, se identificaron **97 instalaciones y proyectos de impulsión de agua de mar y desalinización**, de los cuales 5 se refieren a sistemas de impulsión de agua de mar para la minería.

Incorporar la desalinización puede tener distintos objetivos, ya sea para un **uso permanente** entregando una fracción del agua requerida por el sistema para extracción y procesamiento, o **como respaldo** para enfrentar los períodos de mayor escasez.

- **Gobernanza social y ambiental (ESG) en empresas**

La creación de marcos que atraigan mayores inversiones en actividades de minería y procesamiento es fundamental para el éxito. La **OCDE**, en su informe “*Hacia la Resiliencia y Neutralidad Climática en América Latina y el Caribe: Prioridades políticas clave*”, remarca la necesidad del desarrollo de normativas e incentivos claros, al tiempo que se garantiza el estricto cumplimiento de las normas ESG (Gobernanza Social y Ambiental)⁹². De este modo, el país podrá prevenir y mitigar eficazmente los impactos adversos tanto sobre el medio ambiente como sobre las comunidades locales.

Para ello, Chile cuenta con el **Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN)**, que genera, mantiene y divulga datos sobre los recursos geológicos chilenos y fiscaliza el cumplimiento de normativa minera en materia de seguridad, propiedad y planes de cierre.

- **Exigencia transversal del enfoque en igualdad de género**

Aunque ha aumentado la presencia de mujeres en la industria minera, a 2022 la **participación femenina** en la **minería chilena** se situó **solo en 15,2%**, como señala el “*Monitoreo de Indicadores de Género de participación laboral de mujeres en la industria minera*”, elaborado por la alianza CCM-Eleva⁹³.

- **Creciente demanda global de minerales críticos**

La **Política Nacional Minera** indica que el **cobre** es el metal con **mayor demanda**, tanto en cantidad como en valor, en especial en el sector de energías renovables. Y se espera que esta tendencia se acreciente en el futuro, previéndose un aumento de un 40% en la demanda al año 2040. Además del cobre, el **litio** también es un mineral trascendental para el desarrollo de las

⁹⁰ Ministerio de Minería de Chile (2022). *Política Nacional Minera*. <https://www.minmineria.cl/wp-content/uploads/2022/03/Mineri%CC%81a-2050-Poli%CC%81tica-Nacional-Minera.pdf>

⁹¹ Bloomberg (2022). *Por qué las mineras de cobre en Chile están reportando caídas en su producción*. <https://www.bloomberglinea.com/2022/04/22/por-que-las-mineras-de-cobre-en-chile-estan-reportando-caidas-en-su-produccion/>

⁹² OCDE (2023), *Hacia la Resiliencia y Neutralidad Climática en América Latina y el Caribe: Prioridades políticas clave*, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a73c1364-es>

⁹³ Alianza CCM-Eleva (2022). *Monitoreo Indicadores de Género en la Industria Minera*. https://ccm-eleva.cl/wp-content/uploads/2023/09/Minuta-Monitero-Indicadores-de-Genero_CCM-Eleva-marzo-2022.docx.pdf

energías limpias. Las estimaciones apuntan a que la **demanda agregada** de litio se **cuadruplicará hacia el año 2030**, impulsada por el auge de los vehículos eléctricos. Chile cuenta, asimismo, con **yacimientos de zinc, cobalto, tierras raras y manganeso**, minerales críticos para la transición sostenible.

- **Impulso a la movilidad sostenible e inteligente**

Según datos de la Política Nacional Minera, un auto convencional cuenta con unos 23 kg de **cobre** en su estructura de materiales, mientras que un **vehículo eléctrico** contiene **unos 80 kg**. En cuanto a las **baterías eléctricas** utilizadas en estos vehículos, la tecnología más establecida es la de **litio**, pudiendo llegar **hasta 50 kg por vehículo**. De allí que se estime que las exportaciones de litio podrían alcanzar en valor a las de vino, en el corto plazo.

7.1.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

Según diferentes escenarios de transición energética modelizados por la **Agencia Internacional de la Energía (IEA)**, la **demanda** de cada uno de los **cinco minerales críticos más importantes (litio, cobalto, níquel, cobre y neodimio)** aumentará entre **1,5 y 7 veces** a 2030. Para satisfacer esta creciente demanda será necesario ampliar las operaciones existentes y desarrollar cientos de nuevos proyectos, procurando un crecimiento de la actividad minera sostenible y de mínimo impacto a nivel social y ambiental⁹⁴.

Para **minimizar el impacto** de la actividad minera en su entorno natural y social, haciendo frente a los FCG identificados, algunas de los **dominios tecnológicos** a tener en cuenta son:

- **Tecnologías de la Energía**
 - a. **Agregado de valor del litio**

El interés global por el litio para la transición energética es una oportunidad para Chile de convertirse en proveedor, no solo del mineral extraído, sino de **productos procesados de alto valor agregado (baterías eléctricas y componentes asociados)**. El desarrollo tecnológico en este ámbito requiere de la participación de **empresas internacionales** que producen baterías y participan de la **cadena de valor de la electromovilidad y el almacenamiento energético**, en alianzas público-privadas para propiciar la fabricación de baterías en Chile, impulsando inversiones y generación de empleos en el país.

Las empresas internacionales cuentan con el capital, el expertise y la tecnología para el desarrollo tecnológico, y el rol del Estado de Chile es asegurar una producción sostenible y respetuosa con el medio natural, así como la vinculación con el ecosistema científico-tecnológico nacional, para impulsar la I+D ligada al desarrollo de tecnología de almacenamiento basada en litio. Chile cuenta con un primer paso en esta materia, a partir de la **Estrategia Nacional del Litio**⁹⁵, elaborada en 2023, y el **acuerdo entre Codelco y SQM**⁹⁶.

- b. **Hidrógeno y Biocombustibles**

A nivel de extracción, operaciones y transporte, existen nichos de consumo energético directo de importante envergadura, incluyendo **camiones** que se utilizan para transportar minerales y equipos para extracción y manipulación (equipos de perforación, excavación y camiones cisterna). Estos funcionan tradicionalmente a partir de **combustibles fósiles**, y es muy **difícil migrar hacia la movilidad eléctrica** dadas las cargas que transportan y las potencias que requieren alcanzar. Aquí surge el **hidrógeno** como una **alternativa** que es obtenida a partir de

⁹⁴ CSIS (2023). *Environmental, Social, and Governance Best Practices Applied to Mining Operations*.

<https://www.csis.org/analysis/environmental-social-and-governance-best-practices-applied-mining-operations>

⁹⁵ Gobierno de Chile (2023). *Estrategia Nacional del Litio*. https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campa%C3%B1as/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES_14062023_2003.pdf

⁹⁶ Codelco (2023). *Codelco y SQM logran acuerdo para una asociación público privada para el desarrollo del litio en el Salar de Atacama*. <https://www.codelco.com/sin-titulo-169857987>

energías renovables y que funciona como combustible limpio para vehículos pesados. En este nicho, además, **Chile cuenta con financiamiento e interés del Banco Mundial**⁹⁷ por apoyar el despliegue de infraestructura e iniciativas concretas que permitan el crecimiento del mercado. El sector minero debe definir una estructura de suministro fiable de hidrógeno, que asegure su aprovisionamiento en el tiempo. En general, el **hidrógeno** se obtiene a partir del **excedente de energía de fuentes renovables**, por lo que el sector minero debe establecer acuerdos a nivel nacional para definir la ubicación y capacidad de las instalaciones de generación de hidrógeno y la forma de transporte a los yacimientos mineros (p.ej. a través de ductos o camiones).

Otra alternativa para el suministro energético en la extracción y operaciones surge de los **biocombustibles**, que permitirían integrar biomasa obtenida del sector agrícola-forestal y aprovecharla para cerrar esta brecha energética en la minería. En este caso, se ha de establecer la viabilidad de utilización en equipos o medios de transporte en el ámbito minero y estructurar una cadena de valor que permita producir estos biocombustibles e incorporarlos a los procesos mineros.

c. Energías renovables

Por otro lado, la minería requiere del suministro de energía eléctrica para las operaciones de procesamiento de minerales. El sector minero se encuentra en una **transición hacia fuentes de energía renovables** en Chile, incorporando especialmente energía de fuente solar y eólica. Para 2021, según datos recogidos en la Política Nacional Minera, las energías renovables representaban un **36,20% de la matriz energética minera**. Las estimaciones de reducción en los costos de suministro de energías renovables a futuro permiten estimar un crecimiento en el aprovisionamiento a partir de renovables. De allí que la demanda de energía eléctrica pueda estar cubierta de forma cada vez mayor por fuentes renovables.

d. Alternativas energéticas para la desalinización de agua

Derivado de la escasez de recurso hídrico a nivel país y de especial impacto en las regiones mineras, los proyectos de instalaciones de desalinización se están incrementando. Existe la posibilidad de **vincular estas plantas** a fuentes de **suministro de energías renovables**, para minimizar su impacto. No obstante, la energía solar y eólica, predominantes en Chile, tienen un carácter intermitente, por lo que muchos proyectos de desalinización a nivel global buscan integrar la **energía nuclear** como base de energía, a partir de su bajo impacto y su fiabilidad; en particular, el desarrollo de **reactores modulares pequeños (SMR)**, por sus siglas en inglés), permitiría incorporar la energía nuclear como suministro asequible, sin necesidad de elevadas inversiones en grandes plantas, como lo señala la **Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA)**⁹⁸; no se ha detectado de momento el desarrollo de este tipo de reactores en Chile, pero es una alternativa a contemplar para el futuro.

- **Inteligencia Artificial**

La Inteligencia Artificial permite el **aprovechamiento de datos en tiempo real** para **monitorear** la extracción de mineral o el consumo de agua, entre otros. Se trata de tecnologías que ya se están utilizando en el sector minero, pero solo a través de **iniciativas puntuales** de las grandes empresas privadas (p.ej., un proyecto conjunto entre la minera BHP y Microsoft⁹⁹). Uniendo esfuerzos con el sector público, se podría incrementar la transparencia con respecto al uso de los recursos en la actividad minera.

⁹⁷ Banco Mundial (2023). *Chile Green Hydrogen Facility to Support a Green, Resilient and Inclusive Economic Development*. <https://projects.bancomundial.org/es/projects-operations/project-detail/P177533>

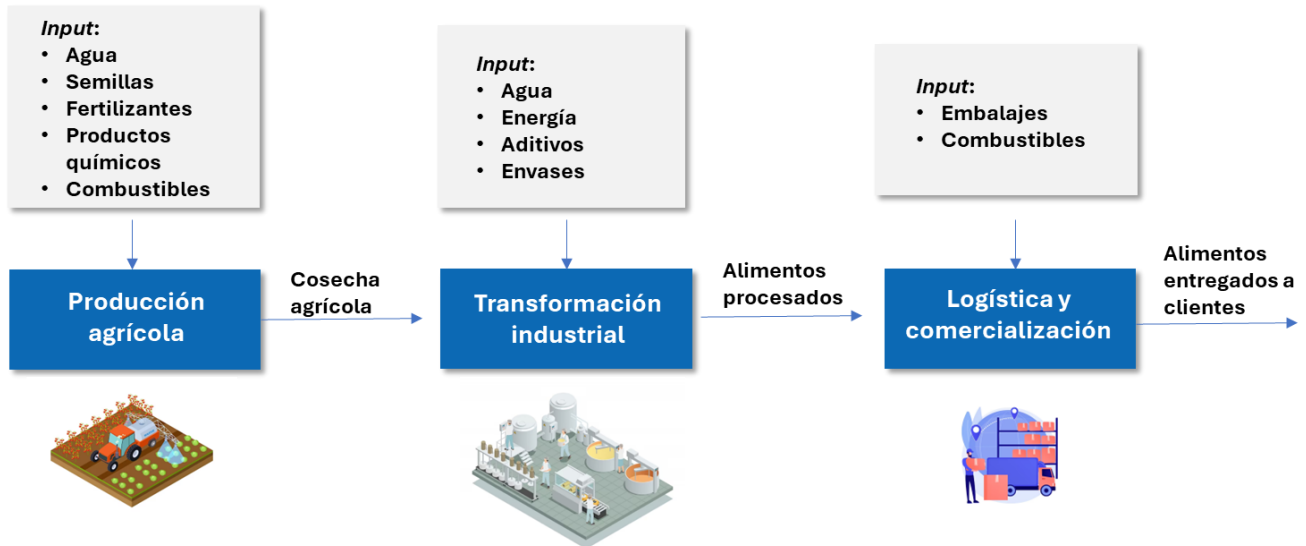
⁹⁸ IAEA (2022). *Harnessing Nuclear Power for Desalination to Secure Freshwater Resources*. <https://www.iaea.org/bulletin/harnessing-nuclear-power-for-desalination-to-secure-freshwater->

⁹⁹ Mining Digital (2023). *BHP uses Microsoft AI and ML to meet copper demand goals*. <https://miningdigital.com/technology/bhp-uses-microsoft-ai-and-ml-to-meet-copper-demand-goals>



7.2 Actividad agrícola y frutícola

Esta cadena de valor vincula toda la actividad productiva ligada al sector agrícola, incluso la gestión de residuos y desechos.

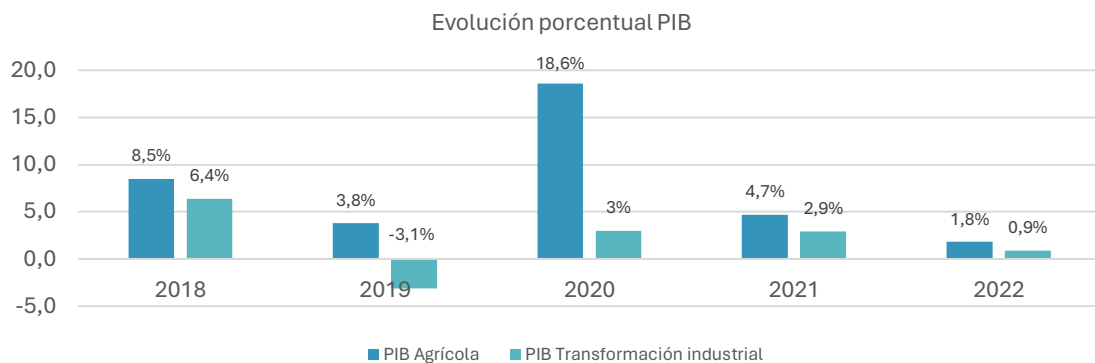


7.2.1 Análisis de la cadena de valor

- En la **cadena de valor** de la “**Actividad agrícola y frutícola**” en Chile, se identifican **tres eslabones** que involucran desde el ciclo de producción hasta la distribución de producto final en el mercado.
 - **Producción Agrícola:** la siembra y cosecha permiten obtener una amplia gama de frutas y hortalizas. Es un eslabón intensivo en consumo de agua, por las necesidades de riego que tiene el suelo; de fertilizantes para el mejor uso del suelo; y de productos químicos para evitar la aparición de malezas. Asimismo, se requiere de combustibles para la operación de la maquinaria agrícola. La cosecha obtenida pasa al siguiente eslabón, para su procesamiento.
 - **Transformación Industrial:** un eslabón que integra procesos industriales para transformar los productos de cosecha y otros aditivos en alimentos procesados. Utiliza otros insumos como agua, energía para la operación de los procesos y envases para la protección y manipulación de los productos obtenidos. Los alimentos procesados pasan al último eslabón de la cadena.
 - **Logística y Comercialización:** incluye el embalaje, almacenamiento y transporte de alimentos desde los centros de producción a cliente final (puede incluir exportación). Uno de los insumos críticos de esta actividad es el combustible utilizado por los vehículos de transporte.
- En Chile, el sector agrícola primario representa aproximadamente el **3% del PIB**, una proporción que ha disminuido en el pasado reciente debido al crecimiento más rápido de otros sectores de la economía. Sin embargo, esta cifra no refleja completamente la importancia del sector agroalimentario. Si se incluyen actividades como la silvicultura y la pesca, el valor agregado del sector primario aumenta al 4,4% del PIB¹⁰⁰.
- El **éxito del sector agrícola** se ha debido, en parte, al **crecimiento de la demanda interna y externa** de estos productos, que contribuyen significativamente a la economía, pero no se reflejan completamente en las mediciones del PIB agrícola. La actividad de **producción**

¹⁰⁰ Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2021). *Desafíos de la agricultura y desarrollo rural en Chile*. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71512/DesafiosAgricultura2022.pdf>

agrícola presenta un crecimiento constante del PIB en los últimos cinco años, mientras que la **industria de transformación de alimentos** muestra algunos altibajos¹⁰⁰.



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- La **agricultura** genera un **0,46%** de las exportaciones, mientras que la **fruticultura** representa un **6,1%** en las exportaciones totales del país (según valores de 2022 aportados por el Banco Central). Estas actividades conforman el primer eslabón de la cadena de valor, denominada **“Producción agrícola”**, que produce las frutas, hortalizas y otros cultivos que se exportan o son luego transformados por los siguientes eslabones de la cadena.
- El segundo eslabón, la etapa de **“Transformación industrial”**, que incluye la **industria alimentaria**, es decir, la transformación de los productos de cosecha en alimentos con mayor valor agregado contribuye a un **17,5%** de las exportaciones. Un 15,5% corresponde a alimentos, mientras que el restante 2% corresponde a las **bebidas, líquidos, alcoholes y tabaco**.
- A nivel de **“Logística y Comercialización”**, Chile saca provecho de sus puertos para exportar gran parte de su producción agrícola por **vía marítima (96,5% de la producción** en 2019, según datos de Invest Chile)¹⁰¹. 7 de los 10 puntos de salida principales se encuentran ubicados, de forma estratégica, en las regiones central y sur, precisamente donde se produce la mayor parte de la fruta y la acuicultura.
- Durante el 2022, Chile experimentó un **crecimiento del 7,3% en la exportación de hortalizas**, totalizando 522 millones de dólares FOB¹⁰². De este valor, el 49,5% corresponde a hortalizas procesadas, como pastas, jugos, deshidratados y conservas, seguido por un 31,6% de semillas de hortalizas. Las hortalizas congeladas y frescas representan el 9,2% y 9,7% respectivamente. El **tomate** lideró las exportaciones, representando el 41,8% del valor total exportado en hortalizas, alcanzando 218,4 millones de dólares FOB. El 95,9% de esta exportación fue en forma de pasta de tomate.¹⁰³
- Chile destaca en la exportación de más de 100 especies de frutas, desde **manzanas, arándanos, cítricos, cerezas y uvas** hasta **kiwis, naranjas, ciruelas y peras**. Como líder en la exportación del hemisferio sur, el país es el principal proveedor mundial de **arándanos, cerezas, uvas de mesa y ciruelas**.¹⁰⁴
- Esto conlleva una contribución del sector agrícola a más de un 20% del total de exportaciones en los últimos 5 años, como se aprecia en la siguiente gráfica:

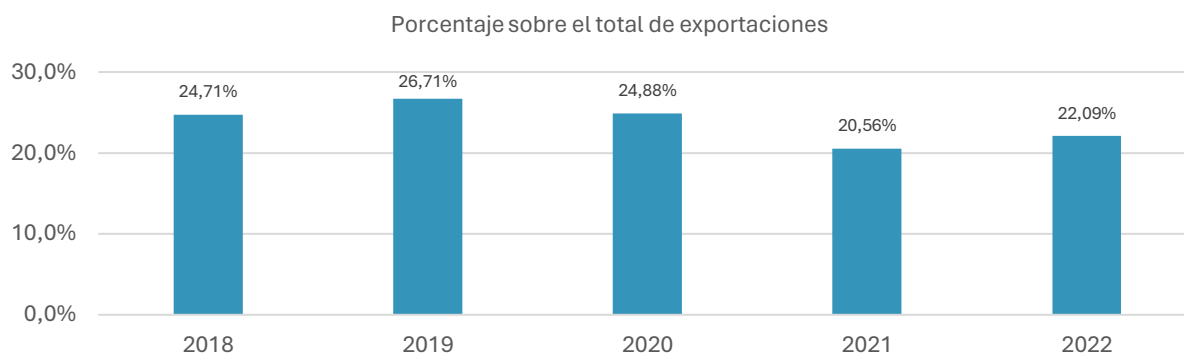
¹⁰¹ Invest Chile (2021). *Informe Industria Alimentaria en Chile*. <https://investchile.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/e-book-alimentos-esp.pdf>

¹⁰² Entendido como el valor de la mercancía puesta a bordo de un transporte marítimo, el cual abarca tres conceptos: costo de la mercancía en el país de origen, transporte de los bienes y derechos de exportación.

¹⁰³ Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2023). *Boletín de hortalizas, enero 2023*.

<https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-enero-2023>

¹⁰⁴ ProChile (s.f). *Agro & Alimentos. Frutas frescas*. <https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos>



Fuente: Indicadores de Comercio Exterior – Banco Central Chile

- ProChile ha priorizado 11 subsectores para el fortalecimiento de la promoción internacional de alimentos chilenos: **vinos, pisco, fruta fresca**, productos del mar, carnes, **apícola, frutos secos y deshidratados, vinos de nicho, productos orgánicos**, innovación alimentaria y **proveedores de servicios agrícolas**.¹⁰⁵ Además, cabe destacar que el producto agrícola de mayor **Complejidad Económica** del país son las bebidas, a pesar de estar por debajo de la media nacional.
- Los **flujos de inversión directa** en agricultura y pesca desde el exterior mostraron fluctuaciones significativas a lo largo de la última década en Chile, con picos en 2014 (USD 508 millones), 2015 (USD 619 millones) y 2020 (USD 568 millones), y una tendencia variable descendente hasta 2022 (USD 266 millones).
- Los datos de **Productividad Total en Agricultura, Caza y Pesca** hasta 2021 revelan fluctuaciones en el crecimiento anual promedio, con momentos de aumento significativo seguidos por períodos de crecimiento más moderado, evidenciando variaciones en la eficiencia de producción en este sector económico específico. Sin embargo, se observa una **tendencia general hacia un crecimiento más lento en los últimos años** (2,3% en 2021).¹⁰⁶
- Finalmente, es relevante resaltar el **notable descenso en el país en el porcentaje de empleos relacionados con la agricultura** con respecto al total de empleos. Este porcentaje se ha reducido a la mitad desde comienzos de siglo, disminuyendo desde el 14% en el año 2000 al 7% en el 2021.¹⁰⁷
- Finalmente, se sintetiza en la siguiente tabla la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos.

Cadena de valor	% PIB (Agropecuaria-silvícola)	% Exportaciones	% Valor Agregado	% Empleo (Agricultura)	IED (Agricultura y pesca)	% Productividad (Agricultura, Caza y Pesca)
Agrícola y frutícola	2,8%	22,1%	6%	7%	USD 266 millones	2,3%

Fuente: Banco Central, ODEPA, Invest Chile y Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2023)

¹⁰⁵ ProChile (s.f). *Agro&Alimentos*. <https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos>

¹⁰⁶ Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2022). *Informe anual 2022*. <https://cnepe.cl/informe-anual-2022/>

¹⁰⁷ Banco Mundial (2022). *Empleos en agricultura (% del total de empleos – Chile)*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SL.AGR.EMPL.ZS?locations=CL>

7.2.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

A continuación, se presentan los factores de cambio asociados a esta cadena de valor:

- **Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza**

El **26%** de la **población chilena vive en zonas rurales**, que presentan importantes brechas respecto a las comunas urbanas, especialmente en cuanto a niveles de pobreza, infraestructura, acceso a educación y salud de calidad, entre otros. Por otra parte, **cerca de un millón de chilenos trabajan en actividades agrícolas**, en la temporada alta, y aún existen desafíos en cuanto al marco laboral que requiere una modernización para adaptarse a la realidad actual de esta actividad.¹⁰⁸

- **Eventos climáticos extremos y desastres naturales**

Los **efectos del cambio climático** sobre las **temperaturas** y las **precipitaciones** sumados a la **erosión de los suelos**, fruto de las lluvias y la desertificación, tendrán diversos impactos sobre la productividad del sector agropecuario. En este sentido, la CEPAL identifica 3 tipos principales de impactos: **i)** impactos en la calidad de los suelos, **ii)** en la productividad y **iii)** en ocurrencia de plagas y enfermedades. Además, se espera que la **agricultura de secano** sea afectada por cambios en temperatura y precipitación, mientras que el riego solo se verá impactado por el aumento de temperatura en áreas sin cambios en la disponibilidad de agua. Por otro lado, se prevén **mejoras en la productividad en el sur y zonas del valle central**, pero pérdidas en otras áreas, especialmente con restricciones de riego, según reporta el INIA.¹⁰⁹

- **Riesgo inminente de una crisis global por escasez de recurso hídrico**

En el escenario actual de **riesgo inminente de una crisis global de escasez hídrica**, el **cultivo de trigo** en la **zona central** se verá **afectado** ya que, como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y del aumento de la evapotranspiración, los riesgos de sequía aumentarán gradualmente. A partir de la **Región de la Araucanía**, en algunos sectores, se aprecia una leve disminución de estos riesgos para las siembras de otoño-invierno, como consecuencia del acortamiento del ciclo vegetativo. En cuanto al **cultivo de maíz**, los riesgos de sequía se mantienen extremadamente altos en toda la zona central del país.¹⁰⁹

- **Gobernanza social y ambiental (ESG) en empresas**

A nivel nacional se identifican numerosas **iniciativas de finanzas sostenibles** relacionadas con el sector agrícola. Estas iniciativas son impulsadas por la **banca tradicional, instituciones financieras y fondos de inversión de impacto**. Estos avances indican un potencial de crecimiento que, con los incentivos y conexiones adecuadas, podría impulsar el desarrollo de un sistema financiero sostenible para el sector agrícola.¹¹⁰

- **Auge de prácticas en economía circular**

Durante los próximos años, el sector agroalimentario se enfrentará al reto de **aumentar la productividad de forma sostenible**, utilizando de manera más eficiente los recursos naturales y generando un impacto positivo en el medioambiente y la sociedad. Además, deberá satisfacer las **demandas de consumidores** cada vez **más informados y exigentes** en cuanto a la producción sostenible de alimentos. En este contexto, la **economía circular** emerge como

¹⁰⁸ Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2019). *Panorama de la agricultura chilena*. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf>

¹⁰⁹ Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (s.f). Cambios climático y sus efectos en la agricultura. [NR42833 \(inia.cl\)https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68502/Capitulo%201.pdf?sequence=2](https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68502/Capitulo%201.pdf?sequence=2)

¹¹⁰ Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2021). *Estudio finanzas sostenibles para el sector agrícola chileno*. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71179/EstFinanzasSustentables2021.pdf>

una herramienta clave que puede contribuir de manera integral a que el sector afronte estos desafíos, mediante la colaboración y sinergia entre diversos actores involucrados.¹¹¹

- **Barreras frente a fuga de carbono**

A nivel global se están implementando medidas paliativas contra la fuga de carbono, como el **CBAM (Mecanismo de Ajuste de Carbono en Frontera)**, por sus siglas en inglés; esta medida obligará a los importadores de ciertos bienes intensivos en carbono, producidos fuera de la UE, a pagar un impuesto adicional por su importación, involucrando a varios sectores entre los que se encuentran los fertilizantes¹¹². Por lo tanto, una **producción agrícola sostenible posicionará a Chile** como proveedor estratégico de los países y regiones que comiencen a implementar estas restricciones.

- **Crisis de las cadenas de suministro globales**

Debido al conflicto bélico, Ucrania, uno de los principales exportadores de cereales, ha experimentado un drástico descenso en sus exportaciones, lo que ha provocado una gran preocupación con respecto a la seguridad alimentaria a millones de personas en todo el mundo.¹¹³ Esta situación puede representar una **oportunidad para la agricultura chilena en el mercado internacional de cereales**. Como Ucrania enfrenta dificultades para mantener sus niveles habituales de exportación, otros países pueden suplir esa demanda en el mercado mundial de granos, abriendo una ventana para que otros productores, como Chile, aumenten sus exportaciones en aquellos cereales en los que son competitivos como el trigo, la avena o el maíz.

- **Incremento y volatilidad en el precio de las materias primas**

La **volatilidad** y el **aumento** en los **precios de las materias primas** pueden tener efectos mixtos en la agricultura chilena. Aunque podría resultar en mayores costos de producción, también puede abrir oportunidades de mayores ingresos si los precios de los productos agrícolas se elevan en los mercados internacionales.

- **Crecimiento del regionalismo comercial**

La **exportación** del sector agroalimentario de Chile alcanza cifras importantes, siendo **el principal si se excluye del análisis las exportaciones de cobre**, con alrededor de 970 productos diferentes, que van a más de 170 destinos, siendo los principales: Estados Unidos, China y Japón.¹¹⁴ En este sentido, y al existir relaciones comerciales cada vez más tensas entre China y el bloque Occidental, esto puede repercutir en las exportaciones de alimentos chilenas.

7.2.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

La **adaptación al cambio climático** será el principal desafío productivo que deberá enfrentar el sector agrícola, en el cual factores críticos como el manejo y gestión del recurso hídrico, capacidad de innovación tecnológica y manejo del riesgo, entre otros, determinarán el grado de desarrollo sectorial en el medio y largo plazo. Además, la población mundial está aumentando anualmente, y **se espera que hasta el 2050 la producción agrícola tenga que duplicarse** para satisfacer la demanda global.

Teniendo en cuenta la escasez de recursos naturales y la reducción de las tierras agrícolas, es necesario encontrar con urgencia una solución eficiente. En este sentido, para garantizar la resiliencia

¹¹¹ Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2021). *Economía Circular: Un camino para la sustentabilidad agrícola*. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70610/ArtEconomiaCircular202101.pdf>

¹¹² Comisión Europea (2023). *Carbon Border Adjustment Mechanism*. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en

¹¹³ Consejo de la Unión Europea (2023). *Como la invasión rusa de Ucrania ha agravado la crisis alimentaria mundial*. <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/how-the-russian-invasion-of-ukraine-has-further-aggravated-the-global-food-crisis/>

¹¹⁴ ProChile (2023). *Agro & Alimentos*. <https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos>

del sector agroalimentario, es determinante el **desarrollo** de los siguientes **dominios tecnológicos** de relevancia:

- **Robótica y Sistemas Autónomos**

La escasez hídrica junto con el cambio climático ha obligado a adaptarse a nuevas tecnologías para desarrollar la llamada **agricultura de precisión**¹¹⁵, un concepto agronómico de gestión de información basado en la variabilidad espacial a nivel de campo. En este sentido, y dada la complejidad de los sistemas naturales en su estudio, el uso de vehículos aéreos no tripulados se hace cada vez más necesario para apoyar el trabajo realizado con sensores remotos. Recientemente, el Ministerio de Agricultura, a través del Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN), ha adquirido un modelo de drones que permitirá planificar de manera estratégica la producción agrícola. La información que entregan está disponible en tiempo real pudiendo detectar el vigor de las plantas, enfermedades o plagas, determinar el estrés hídrico e incluso se podrá proyectar la cosecha de frutales.¹¹⁶

- **Biotecnologías**

La biotecnología ejerce un rol central en el desarrollo del sector agroalimentario chileno. Las empresas de insumos agrícolas concentran esfuerzos en mejorar las biotecnologías existentes, como el **desarrollo de nuevas características acumuladas en los cultivos o innovaciones en el mejoramiento genético**.

El **desarrollo de nuevas características acumuladas en los cultivos** se refiere a la incorporación de múltiples rasgos o características beneficiosas en un solo cultivo, por ejemplo, crear cultivos que sean resistentes a ciertas enfermedades, tolerantes a condiciones ambientales extremas y que tengan una mayor productividad. Por otro lado, mediante el **mejoramiento genético** se pueden manipular los genes de los cultivos para obtener rasgos específicos deseables, como resistencia a plagas o enfermedades, mayor contenido nutricional, mejor adaptación al clima, entre otros. En este sentido, Chile se ha convertido en un exportador líder de **semillas transgénicas** durante los últimos 30 años. De 2015 a 2020, las semillas transgénicas de maíz, soja y colza han representado el 99,9% de las semillas transgénicas cultivadas en el país.¹¹⁷

- **Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**

Tal y como se ha mencionado previamente, el marco conceptual de la agricultura de precisión es una oportunidad para el país chileno de modernizar las herramientas tecnológicas utilizadas en la producción agrícola. El sector agrícola chileno ha comenzado a implementar herramientas de Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas, como el **uso de imágenes satelitales para la gestión de los cultivos**. En este sentido, se han implementado proyectos como la Plataforma Agrícola Satelital (PLAS) de Chile, un esfuerzo de especialistas en climatología, riego y recursos hídricos, pertenecientes a diferentes institutos de investigación, universidad e instituciones públicas, junto con el cofinanciamiento de la Fundación para la Innovación Agraria (FIA). La creación de esta plataforma se está llevando a cabo gracias al trabajo conjunto de dos iniciativas que se complementan: la "Plataforma Agrícola Satelital", encargada de definir los requerimientos hídricos de los cultivos, y el "Mapa dinámico de Evapotranspiración de Referencia (ETo)", diseñado para determinar las necesidades de riego

¹¹⁵ Fundación para la Innovación Agraria (2021). *Innovaciones de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión*. <https://opia.fia.cl/601/w3-article-116120.html>

¹¹⁶ Ministerio de Agricultura (2022). *Los drones más modernos del país se ponen al servicio de la agricultura*. <https://www.minagri.gob.cl/noticia/los-drones-mas-modernos-del-pais-se-ponen-al-servicio-de-la-agricultura/#:~:text=El%20uso%20de%20estos%20drones%20permitir%C3%A1%20planificar%20de,de%20treinta%20hect%C3%A1reas%20en%20menos%20de%2025%20minutos.>

¹¹⁷ ChileBio (2022). *Estudio concluye que producción de semillas transgénicas no impacta al negocio de la agricultura orgánica en Chile*. <https://www.chilebio.cl/2022/01/06/estudio-concluye-que-produccion-de-semillas-transgenicas-no-impacta-al-negocio-de-la-agricultura-organica-en-chile/>

en Chile a escala diaria. A partir de estas dos iniciativas, se desarrollará un sistema en línea disponible en internet. Este sistema permitirá analizar el progreso de los cultivos, estimar sus necesidades de agua con precisión y establecer estrategias agronómicas detalladas para su manejo.¹¹⁸

- **Tecnologías de la Energía**

Frente a una necesidad de promover la economía circular en el sector, los residuos de la industria agrícola pueden utilizarse para la **producción de biogás y fertilizantes** (como subproducto). Para ello, se requiere de tecnología de biodigestores, que requieren de un importante esfuerzo de ingeniería para adaptarse a las condiciones del entorno donde se utilizarán y del tipo de residuo que se incorpore como insumo. En Chile, se trata de un sector de **desarrollo incipiente** por el momento; de hecho, en 2022 se puso en marcha la primera planta de energía basada en biogás, en Osorno¹¹⁹.

Por su parte, el **digestato** es un subproducto obtenido tras la digestión anaerobia (en ausencia de oxígeno) de la materia orgánica, con la que se obtiene el biogás. Es considerado un fertilizante orgánico, al tener como principal función el aporte de nutrientes a las plantas.

- **Inteligencia Artificial**

La inteligencia artificial (IA) ha permitido la predicción y respuesta rápida a situaciones imprevistas en la agricultura. Con las tecnologías de **inteligencia artificial** es posible mejorar una **amplia gama de tareas** relacionadas con la agricultura: por ejemplo, producir cultivos más sanos utilizando la fórmula del Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) y **rastreando los cambios en tiempo real, controlar las plagas y monitorizar el estado del suelo**. Los análisis avanzados, junto con las tecnologías de IoT ayudan a los agricultores a analizar datos en tiempo real como el clima, la temperatura, la humedad, etc¹¹⁵.

En 2019, la IA generó ingresos por 1091,9 millones de dólares en el mercado agrícola y se proyecta que alcance los 3807,3 millones de dólares para 2024. La región de Asia-Pacífico experimenta el crecimiento más rápido debido a la abundancia de tierras cultivables. No obstante, se espera que América del Norte lidere la generación de ingresos en este período.

Las **iniciativas vinculadas a la IA en Chile** son **puntuales** y surgen mayormente impulsadas por el sector público. El **CENIA** (Centro Nacional de Inteligencia Artificial) ha desarrollado un **proyecto para utilizar la IA en el control fitosanitario y gestión integrada de cultivos**¹²⁰. Al momento de redacción de este documento, el proyecto se encuentra en fase exploratoria y su objetivo es racionalizar el uso de fertilizantes y agroquímicos en el ecosistema local, los que, al ser aplicados indiscriminadamente, pueden terminar afectando a los campos y trabajadores.

Además, es muy importante **el rol del INIA** (Instituto de Innovaciones Agropecuarias), que creó la **plataforma Smartfield INIA** donde busca propiciar la colaboración público-privada para la implantación de las tecnologías emergentes de potencial impacto en el sector. La plataforma permite realizar un tour virtual por un marketplace, con fotos y videos 360°, donde se observan los beneficios de incorporación de sensores, IA, mapas, técnicas de riesgo, monitoreo satelital para visualizar déficit hídrico, planos de segmentación, información de maquinarias con aplicaciones digitales, etc.

¹¹⁸ Fundación para la Innovación Agraria (2019). *Plataforma agrícola satelital (PLAS)*. <https://opia.fia.cl/601/w3-article-111201.html>

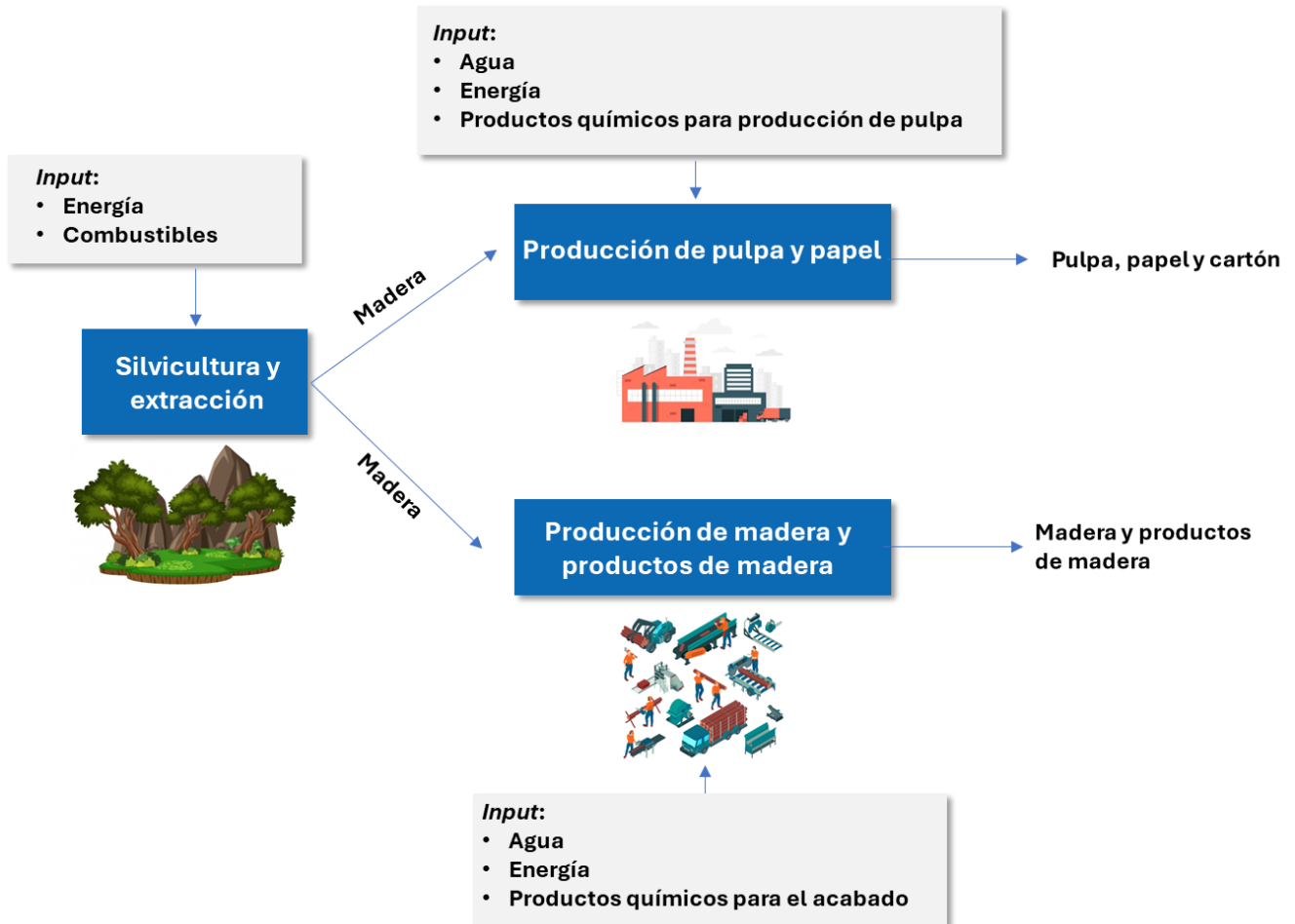
¹¹⁹ Ecociencias (2022). *Ecoprial construye la primera planta de Biogás en Chile que transformará los residuos en energía limpia*. <https://revistaecociencias.cl/2022/04/28/ecoprial-construye-la-primera-planta-de-biogas-en-chile-que-transformara-los-residuos-en-energia-limpia/>

¹²⁰ CENIA (2023). *Proponen sistema de IA para reducir contaminación con pesticidas en campos y trabajadores agrícolas*. <https://www.cenia.cl/2023/06/04/proponen-sistema-de-ia-para-reducir-contaminacion-con-pesticidas-en-campos-y-trabajadores-agricolas/>



7.3 Actividad forestal e industria del papel

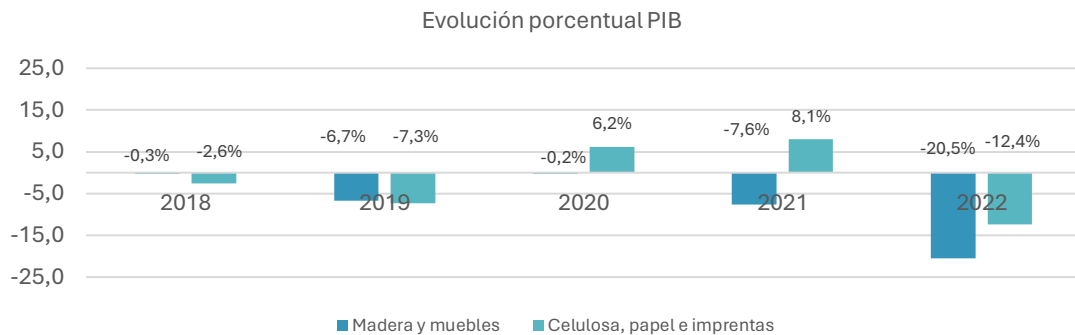
En esta cadena de valor se incluye tanto la actividad forestal, vinculada a la obtención de madera como la producción industrial de pulpa y papel.



7.3.1 Análisis de la cadena de valor

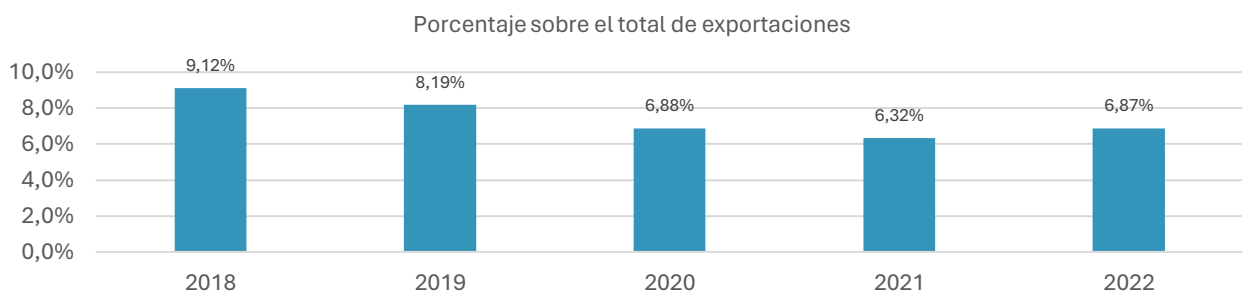
- La cadena de valor de “**Actividad forestal e industria del papel**” en Chile cuenta con tres eslabones principales:
 - **Silvicultura y extracción:** incluye todas las actividades para la obtención de madera de los bosques, que requiere la utilización de energía para la operación de las máquinas para la tala y manipulación de madera. El producto obtenido sirve de materia prima a los dos eslabones subsiguientes de la cadena.
 - **Producción de pulpa y papel:** a partir de la madera, y con la utilización intensiva de agua y energía, se obtiene la pulpa, papel y otros productos derivados; esta actividad requiere también de productos químicos para separar las fibras de celulosa de la madera.
 - **Producción de madera y productos de madera:** la madera en bruto extraída de los bosques se procesa para obtener diversos productos; esta actividad utiliza como principales insumos el agua y la energía que permite poner en marcha todos los equipos. También son necesarios productos químicos como barnices o pinturas para un mejor acabado y protección.

- La estructuración de la cadena de valor se basa en la caracterización sectorial presentada por el **Instituto Forestal de Chile (INFOR)**. En su Informe “Anuario 2023”¹²¹ y a partir de las Estadísticas Forestales registradas en su portal web¹²², INFOR reporta que el eslabón de “**Silvicultura y extracción**” ha generado en 2022 más de **40 mil toneladas de madera**, procedente principalmente de las especies pino radiata y eucaliptus.
- En cuanto al peso de cada eslabón en el **PIB** de Chile, la contribución es liderada por los sectores que transforman la madera extraída: “**Producción de pulpa y papel**” con una participación de **41,8%**; seguido del subsector de “**Producción de madera y productos de madera**” con **33,7%**, según indica el Anuario 2023 de INFOR. Sin embargo, si se analiza la evolución del PIB en los últimos 5 años, se aprecia una caída en la producción en ambos eslabones, excepto para la producción de pulpa y papel en los años 2020 y 2021.



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- Cabe destacar que el eslabón de “Silvicultura y Extracción” genera la materia prima de los otros dos eslabones. Se trata de una cadena de valor que confluye en **productos de elevado valor agregado**, según su aporte al PIB y el análisis realizado por el Atlas de Complejidad Económica¹²³.
- Los **productos obtenidos** de esta cadena de valor incluyen tanto la **madera** resultante del eslabón de “Producción de madera y productos de madera” (en forma de madera aserrada, tableros, y/o astillas), así como el **papel y cartón** resultante de “Producción de pulpa y papel”.
- En efecto, el sector en su conjunto contribuye a un **6,87% de las exportaciones** (3,6% como papel y cartón y el resto como madera y derivados) y a un **1,2% del valor agregado**. El monto exportado de productos forestales se incrementó un 11,9% en 2022, un alza explicada principalmente por los incrementos de precios de la pulpa química, aunque en los últimos años ha perdido peso en la matriz exportadora chilena.



Fuente: Indicadores de Comercio Exterior – Banco Central Chile

¹²¹ INFOR (2023). *Anuario 2023*. <https://wef.infor.cl/index.php/publicaciones/boletines-estadisticos/anuario-forestal>

¹²² INFOR (2023). *Estadísticas Forestales*. <https://wef.infor.cl/index.php/sector-forestal>

¹²³ University of Harvard (2021). *Growth Lab – Chile*. <https://atlas.cid.harvard.edu/countries/42/paths>

- Por lo tanto, se aprecia que es un sector de menor envergadura que otros como el minero, pero con una importante creación de valor y complejidad en los productos generados.
- Se sintetiza la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos, en la siguiente tabla.

Cadena de valor	%PIB (Madera)	%PIB (Pulpa y papel)	%Export. (Madera)	%Export. (Pulpa y papel)	%Export. (Silvicultura)	%Valor agregado
Forestal y Papel	1,6%	0,7%	3,2%	3,6%	0,075%	1,2%

Fuente: Banco Central e INFOR (2023)

7.3.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

Debido a la capacidad de los **ecosistemas boscosos de capturar y secuestrar grandes cantidades de CO₂** a través de la acumulación de biomasa aérea y terrestre y el depósito de materia orgánica en el suelo, la actividad forestal es el único **sector con contribución de emisiones negativas en Chile**, es decir, un sumidero de dióxido de carbono, como lo refleja la **Estrategia Climática de Largo Plazo de Chile**¹²⁴.

Sin embargo, la **transformación de la madera en papel**, a través de la industria papelera, consiste en una serie de procesos que **generan emisiones de CO₂** al medio ambiente. A nivel global, según datos de la **Agencia Internacional de la Energía (IEA)**¹²⁵, la industria de la pulpa y el papel contribuye **a alrededor de un 2% de las emisiones**, principalmente a partir de un uso intensivo de energía eléctrica y de calor (necesario para el secado de la pulpa y el papel) obtenidos de fuentes no renovables.

En ese marco, esta cadena de valor se enfrenta a una serie de desafíos ambientales, destacando los siguientes factores de cambio global asociados:

- **Pérdida de biodiversidad y colapso de ecosistemas**

A nivel regional (América Latina y el Caribe), la agricultura y la ganadería son responsables del 70% de la conversión de hábitats, y las tasas de deforestación son tres veces superiores al promedio mundial, según un reporte de la FAO¹²⁶. En Chile, la **pérdida de biodiversidad** se ha visto intensificada por la **degradación y fragmentación de los ecosistemas** debido principalmente al **cambio de uso del suelo** atribuible a la **deforestación, expansión urbana** y de la **industria agropecuaria, incendios forestales**, y la **ocupación masiva del borde costero** (en especial en la región central), entre otras. No obstante se han implementado medidas para contrarrestar estos efectos y, en base a datos de la OCDE, se logró incrementar la cubierta forestal en un 15% entre 2000 y 2020¹²⁷.

Sin embargo, mitigar los impactos de la deforestación sigue siendo un desafío importante para el país, y así se refleja en la **Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales de Chile**¹²⁸, que establece “**reducir las emisiones de GEI asociadas a la degradación y deforestación en un 20% al año 2025**” como una de sus principales metas.

- **Riesgo inminente de una crisis global por escasez de recurso hídrico**

El crecimiento de la **demanda de recursos hídricos** hace prever la intensificación del mercado **déficit estructural de la zona norte del país y de la zona central**. El cambio climático se ha manifestado en la intensificación de la reducción de la masa de hielo de los ventisqueros

¹²⁴ Gobierno de Chile (2021). *Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP)*. <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf>

¹²⁵ IEA (2023). *Industry: Paper*. <https://www.iea.org/energy-system/industry/paper>

¹²⁶ FAO (2016). *2016 State of the World's Forests*. <https://www.fao.org/3/i5588e/i5588e.pdf>

¹²⁷ OCDE (2022). *Latin American Economic Outlook 2022: Towards a Green and Just Transition*. <https://doi.org/10.1787/3d5554fc-en>.

¹²⁸ Ministerio de Agricultura (2016). *Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales*. <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3372>

(glaciares), en especial en la zona central, y de las precipitaciones, especialmente en las zonas centro y sur.

Este factor está particularmente asociado a la **industria de la pulpa y papel, intensiva en consumo de agua** (es la tercera industria en volumen de consumo a nivel mundial, solo por detrás de la siderúrgica y química¹²⁹); el agua se utiliza para desteñir la pulpa y luego se va eliminando progresivamente.

- **Gobernanza social y ambiental (ESG) en empresas**

En general, las empresas papeleras integran también la actividad forestal, por lo que son responsables de muchas actividades en la cadena de valor. De allí que tome relevancia la **necesidad de exigencias y normativas para asegurar la protección de las especies autóctonas, la preservación de los bosques nativos y el cuidado de las comunidades locales**. Para limitar el impacto de la actividad en el entorno natural, se estableció la **Ley N° 20.283**, que indica, en su Artículo 5°, que **“toda acción de corta de bosque nativo, cualquiera sea el tipo de terreno en que éste se encuentre, deberá hacerse previo plan de manejo aprobado por la Corporación Nacional Forestal”**¹³⁰.

Por otro lado, **la actividad de producción de pulpa y papel**, en particular, **requiere de exigencias similares** para minimizar su impacto, ya que es un sector de ciclos cortos (el papel producido se consume y desecha rápidamente en el mercado) y la mayor parte del CO₂ producido acaba en la atmósfera en menos de un año¹²⁷.

- **Auge de prácticas en economía circular**

La **industria de pulpa y papel** genera **grandes cantidades de lodos y aguas residuales** para tratamiento. Los lodos de la pulpa y papel consisten en un desecho sólido formado por fibra celulosa y cenizas; por cada tonelada de papel producido pueden generarse hasta 50 kg de lodos. **La evidencia científica destaca la falta de respuestas para su desecho o disposición, tanto en Chile como en el resto de países productores**¹²⁹.

Asimismo, **existe una necesidad de establecer prácticas para la gestión de los desechos de papel** (referido a papel y cartón como producto de consumo).

- Adicionalmente, cabe destacar otro factor asociado a este sector, que es su **elevado consumo energético** de distintas fuentes (gas, vapor y electricidad). Existe **preocupación a nivel internacional por reducir estos niveles de consumo y por una migración hacia fuentes de energía de origen renovable**; p.ej. la Confederación de Industrias Papeleras de Europa (CEPI), a través de su Foro de Soluciones de Eficiencia Energética, lanzado en 2020, está fomentando el desarrollo y la adopción de bombas de calor de alta temperatura para reducir significativamente el consumo de energía en este sector. En Chile, no se han identificado iniciativas dirigidas a promover un cambio de paradigma en este sector.

¹²⁹ D.D. Furszyfer Del Rio et al. (2022). *Decarbonizing the pulp and paper industry: A critical and systematic review of sociotechnical developments and policy options*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112706>.

¹³⁰ CONAF (2020). *Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal*. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368741650LibroLey_Bosque_NativoReglamentos.pdf

7.3.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

El gran desafío para este sector es el intensivo consumo de energía y agua en la industria de la pulpa y papel, así como los volúmenes de aguas residuales generadas. De allí que las principales propuestas tecnológicas para el desarrollo sostenible tengan que ver con tecnologías de la energía.

- **Tecnologías de la Energía**
 - a. **Generación de calor**

Las **bombas de calor** que reutilizan el calor latente del secado del papel para producir vapor para el secado podrían ser una tecnología clave. La Confederación Europea de Industrias Papeleras (CEPI) y la Asociación Europea de Bombas de Calor (EHPA) han colaborado para determinar cómo integrar las bombas de calor de alta temperatura en las fábricas de papel. Esto no sólo reducirá potencialmente las emisiones mediante la sustitución de combustibles, sino que también puede conducir a una reducción de la demanda energética para el secado en un 50%.

- b. **Electrificación**

Se trata de una alternativa para la **generación de vapor**, en reemplazo de las calderas tradicionales. Algunos estudios indican que la electrificación total de procesos como el secado podrían mitigar las emisiones hasta un 70%¹³¹.

- c. **Captura y utilización de carbono**

Aunque con escasa implementación práctica por el momento, algunos estudios avalan el potencial de utilizar los efluentes de la **quema de biomasa para la captura y almacenamiento de carbono (BECCS, por sus siglas en inglés)**. Esto implica capturar el CO₂ de los gases emanados por las calderas y hornos de cal, a partir de la quema de biomasa, y su posterior almacenamiento o utilización. En Chile, el desarrollo de la captura, almacenamiento y utilización de carbono es incipiente.

- d. **Otras tecnologías vinculadas a la energía**

La Agencia Internacional de la Energía¹²⁵ plantea algunas líneas de acción en las que se podría avanzar, a través de esfuerzos conjuntos a nivel global, para propiciar la reducción en el uso intensivo de recursos (agua y energía):

- i) **Uso de vapor sobrecalentado** para promover la recuperación de energía térmica dentro de los procesos;
- ii) **Eliminación de agua sin evaporación** tomando como referencia un consorcio de universidades técnicas de los Países Bajos que inició un proyecto de I+D para desarrollar tecnologías no térmicas de eliminación de agua basadas en fuerzas eléctricas¹³²;
- iii) **Producción de papel sin necesidad de agua**, a partir del trabajo de la empresa sueca PulPac y la alemana BIO-LUTIONS, que han desarrollado “Dry Moulded Fiber”, una máquina para crear productos de papel sin agua¹³³.

¹³¹ Gerres T, Avila JPC, Llamas PL, Roman TGS. *A review of cross-sector decarbonization potentials in the European energy intensive industry*. J Clean Prod 2019; 210: 585–601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.088>.

¹³² Wageningen University (2022). *Electric technology to save energy in drying processes*. <https://www.wur.nl/en/newsarticle/electric-technology-to-save-energy-in-drying-processes.htm>

¹³³ Bio-lutions (2021). *A bond of moral fibre*. <https://www.bio-lutions.com/bio-based-tech-companies-bio-lutions-international-ag-and-zelfo-technology-gmbh-announce-a-fusion-of-their-interests/>

- **Inteligencia Artificial**

Hacer un seguimiento del estado de los bosques es un reto debido a su tamaño e inaccesibilidad. Los métodos tradicionales de monitoreo, basados en mediciones sobre el terreno y escaneado láser, pueden ser lentos; por ello, el monitoreo satelital puede dar respuestas a partir de la trazabilidad integral que permite. El desafío es incorporar la inteligencia artificial (IA) como herramienta que permita sacar el mayor provecho posible a los datos monitoreados, generando alertas automáticas y otros mecanismos de prevención ante posibles situaciones de conflicto en los bosques.

Un ejemplo de aplicación es el proyecto **EnviNavigator**, desarrollado en **Finlandia**, que permitió al Centro Forestal Finandés controlar en tiempo real las talas ilegales¹³⁴. Otro caso de implementación a destacar es el de la **Universidad Purdue, de Estados Unidos**, que ha desarrollado un algoritmo basado en IA para predecir modelos de crecimiento forestal para los principales tipos de bosques de todo el mundo; más del 50% de los países en desarrollo de todo el mundo aún no disponen de un modelo de crecimiento forestal¹³⁵.

En Chile, cabe destacar el papel de la **CONAF** para promover la utilización de nuevas técnicas y tecnologías para el cuidado de los bosques. A partir del impacto de los incendios de comienzos de 2023, surgió una iniciativa conjunta entre la CONAF y el Centro Avanzado de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, **AC3E**, de la **Universidad Técnica Federico Santa María**¹³⁶, para contrarrestar este escenario a través de la utilización de una solución que integra inteligencia artificial, sensores, análisis de datos, construcción de modelos de expansión de bosque nativo, análisis matemáticos y estadísticas geográficas, entre otras, para anticiparse a estos siniestros.

- **Tecnologías de la Información y Comunicaciones Avanzadas**

El estudio “Buenas prácticas e innovaciones digitales para una industria forestal sostenible” de la “**Red de Regiones de la UE sobre la Movilización Sostenible de la Madera**” recomienda el desarrollo de nuevas herramientas que permitan recopilar datos y medir información en los bosques de forma más sencilla, precisa y eficiente. En los últimos años han surgido muchas empresas y startups que ofrecen servicios de información a medida para la topografía, la evaluación analítica y el seguimiento periódico de los bosques, pudiendo también hacer uso de la IA, como se mencionaba en el apartado anterior. Chile cuenta con una base a partir del **Sistema Integrado de Monitoreo de Ecosistemas Forestales Nativos de Chile (SIMEF)**, un programa promovido por el **Ministerio de Agricultura y ejecutado colaborativamente por el Instituto Forestal (INFOR)**, la **Corporación Nacional Forestal (CONAF)** y el **Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN)**, para implementar y fortalecer un sistema integrado de monitoreo y evaluación de los ecosistemas forestales nativos del país; pero sería oportuno promover la innovación y la solución a retos para promover la generación de nuevas soluciones basadas en tecnología.

¹³⁴ European Space Agency (2021). *EnviNavigator*. <https://business.esa.int/projects/envinavigator>

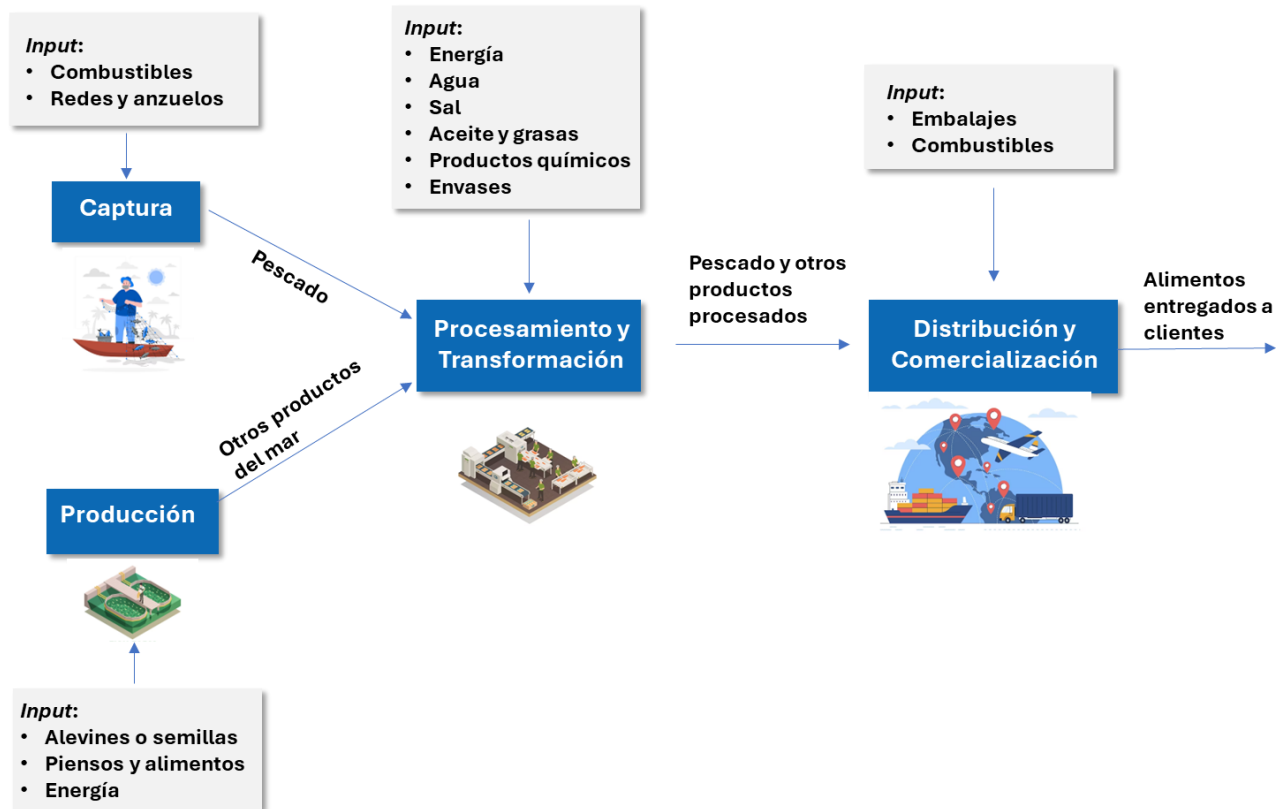
¹³⁵ Purdue University (2023). *Future of AI in Natural Resource Management: Self-Learning Forest Growth Model*. <https://ag.purdue.edu/news/department/fnr/2023/05/future-of-ai-in-natural-resource-management-self-learning-forest-growth-model.html>

¹³⁶ Universidad Técnica Federico Santa María (2023). *AC3E y CONAF desarrollarán tecnologías que previenen incendios forestales*. <https://usm.cl/noticias/ac3e-y-conaf-desarrollaran-tecnologias-que-previenen-incendios-forestales/>



7.4 Pesca y acuicultura

Se integran las actividades de pesca y de acuicultura, referidas tanto a la crianza y cuidado de peces como de la vegetación acuática.

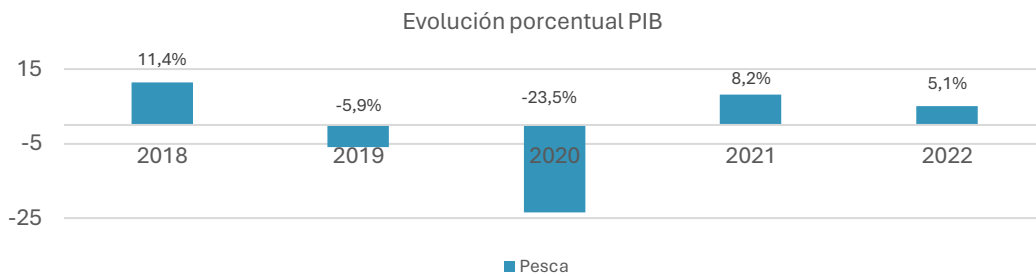


7.4.1 Análisis de la cadena de valor

- La **cadena de valor** de la “**Pesca y acuicultura**” cuenta con cuatro eslabones principales.
 - Captura:** comprende la actividad de pesca, que implica la utilización de embarcaciones (requieren de combustibles para su operación) desde donde se atrapan peces, para lo que se utilizan redes y/o anzuelos. El pescado resultante sirve de materia prima para el insumo de “Procesamiento y Transformación”.
 - Producción:** comprende la actividad de acuicultura, que implica la cría y cultivo de organismos acuáticos (alevines o semillas), alimentados con piensos u otros alimentos de acuerdo con la especie; este eslabón también utiliza energía para poner en funcionamiento diversos equipos (como sistemas de aireación o filtración). Los productos de mar obtenidos pasan al eslabón de “Procesamiento y Transformación”.
 - Procesamiento y Transformación:** el pescado capturado y los productos de la industria acuícola se someten a procesos industriales que utilizan insumos como agua, sal, productos químicos, aceites y grasas, y envases para obtener alimentos procesados y envasados; se utiliza energía para la puesta en operación de los diferentes procesos. El output de este eslabón consiste en pescado y otros productos del mar procesados y envasados.
 - Distribución y Comercialización:** incluye el embalaje, almacenamiento y transporte de alimentos desde los centros de producción a cliente final (puede incluir exportación).
- Chile** se posiciona entre los **12 principales países pesqueros** a nivel mundial. Su sector pesquero y acuícola es un pilar fundamental de la economía nacional, al representar el **0,7% del PIB nacional** al año 2022. Sin embargo, la cantidad total de peces que se capturan se ha

reducido a menos de la mitad, desde 4,3 millones de toneladas en 2005 hasta casi 2 millones de toneladas en 2021.

- La **evolución del peso de la pesca en el Producto Interior Bruto** del país ha mostrado variaciones respecto a sus años predecesores a lo largo de los últimos 5 años. En 2018, el peso del sector creció un 11,4%, mientras que en 2019 experimentó una disminución del 5,9%. La tendencia negativa continuó en 2020 con una caída del -23,5%. Sin embargo, en 2021, hubo una recuperación con un aumento del 8,2%, seguido por otro incremento en 2022 del 5,1%. Si se analizan los últimos 5 años, la caída se acentúa en 2019 y 2020, períodos caracterizados por el **estallido social en el país** y la **pandemia de Covid-19**.



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- El sector de pesca extractiva (vinculado al eslabón **“Captura”**) participó con el **60,8%** del volumen total desembarcado en 2021, con 2,21 millones de toneladas, valor que, además, fue un 14,7% superior respecto de 2020. En tanto, el Sector Acuícola (vinculado al eslabón **“Producción”**) sumó un **39,2%** con un volumen cosechado de 1,43 millones de toneladas, cifra menor en un 2,8% respecto a igual período de 2020.¹³⁷
- En 2020, la **acuicultura** en Chile alcanzó su punto más alto con 1,48 millones de toneladas producidas. Al año siguiente, en 2021, la producción bajó ligeramente a 1,4 millones de toneladas. Esta industria se compone de capital privado y cuenta con niveles altos de organización empresarial, desarrollo tecnológico y capital humano cualificado en aspectos científicos y técnicos. A pesar de la reducción, Chile continúa siendo el **segundo mayor productor mundial de salmón cultivado**.¹³⁸
- Asimismo, las exportaciones de pescado y productos pesqueros generaron ingresos por un total de 8.500 millones de dólares durante el año 2022. Al ahondar en el análisis de los productos de exportación de Chile, a través del **Atlas de Complejidad Económica de la Universidad de Harvard**, se obtiene que, a valores de 2021, los **filetes y demás carnes de pescado** (incluso picada), frescos, refrigerados o congelados acumulan el 3,3% de las exportaciones totales del país, mientras que el **pescado congelado** (excluyendo filetes) el 1,49%. De esta forma, en 2021, Chile destacó como el segundo mayor exportador de filetes de pescado a nivel mundial, con un total de USD3,13 millones en exportaciones de este producto. Durante ese mismo año, los filetes de pescado se posicionaron como el tercer artículo más exportado desde Chile. Los destinos principales de estas exportaciones fueron Estados Unidos (USD2,18 millones), Japón (USD390 millones), México (USD126 millones), Canadá (USD63,9 millones) e Israel (USD50,2 millones).¹³⁹ En base a cifras del informe “Indicadores de Comercio Exterior 2022”¹⁴⁰ elaborado por el Banco Central de Chile, el **pescado, crustáceos y moluscos correspondieron al 8,07% de las exportaciones del país**. Esto pone de manifiesto

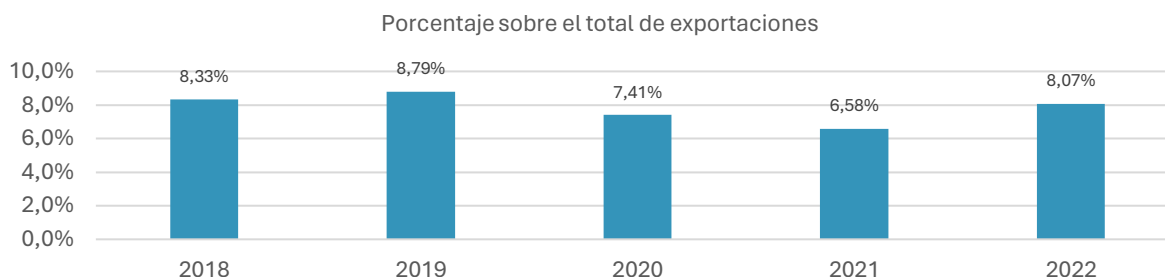
¹³⁷ Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2022). *Informe sectorial de pesca y acuicultura consolidado (2020-2021)*. https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-114306_documento.pdf

¹³⁸ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). *Fishery and Aquaculture Country Profiles – Chile*. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/chl>

¹³⁹ Observatorio de Complejidad Económica (s.f). *Filetes de pescado en Chile*. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/fish-fillets/reporter/chl>

¹⁴⁰ Banco Central de Chile (2023). *Indicadores de Comercio Exterior. Cuarto trimestre 2022*. https://www.bcentral.cl/documents/33528/133362/ICE_2022_IV.pdf/8c7bcd20-33e4-12c3-7930-aa183a3d1b1e?t=1695685834103

una recuperación respecto a los dos años precedentes, como se aprecia en la gráfica de evolución de las exportaciones de pescado, crustáceos y moluscos respecto al total de exportaciones en los últimos 5 años ha sido la siguiente:



Fuente: Indicadores de Comercio Exterior – Banco Central Chile

- El **sector industrial pesquero (eslabón de “Procesamiento y Transformación”)** da empleo a alrededor de 3.500 personas en las **naves** y 26.502 en las **plantas de procesamiento** a nivel nacional. En cuanto a la **actividad pesquera**, más de 92.000 pescadores artesanales y más de 12.750 embarcaciones están registrados en el Registro Pesquero Artesanal. En **acuicultura**, el Registro Nacional de Acuicultura cuenta con 1.537 titulares de centros, mayormente en la región de Los Lagos. Además, hay 8.270 **trabajadores en centros de acuicultura**, con un 72% de mano de obra permanente, de los cuales el 77% son hombres y el 23% mujeres; mientras que el 28% restante es mano de obra eventual.¹⁴¹
- Por último, se sintetiza en la siguiente tabla la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos.

Cadena de valor	% PIB	% Exportaciones	% Valor Agregado	% Empleo
Pesca y acuicultura	0,7%	8,07%	0,7%	2,5%

Fuente: Banco Central y Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2023)

7.4.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

A continuación, se presentan los factores de cambio asociados a esta cadena de valor:

- **Eventos climáticos extremos y desastres naturales**

Los **cambios ambientales** drásticos están forzando a los pescadores artesanales y a los pequeños acuicultores a lo largo de los 6.400 kilómetros de costa del país a **adaptar o diversificar sus actividades**, debido a la disminución en la disponibilidad y abundancia de especies.¹⁴² Un estudio liderado por el profesor David Véliz, de la **Universidad de Chile**, y colaboradores franceses, destaca la amenaza del cambio climático para las especies marinas. Mientras **algunas especies tienen mayor capacidad para adaptarse, otras con menor movilidad enfrentan riesgo de extinción**. En este sentido, se proyecta impacto en la pesca artesanal e industrial en Chile, además de la urgencia de establecer estrategias de adaptación. El cambio climático requerirá cambios drásticos en el estilo de vida y la gestión de recursos para minimizar riesgos en estas áreas costeras. Del mismo modo, existen áreas que cuentan con un impacto significativo, especialmente cerca de las islas oceánicas chilenas, pero también se prevé una zona más estable en términos de temperatura, próxima a la costa del norte de Chile.¹⁴³

¹⁴¹ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). *Pesca y Acuicultura*. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/ch>

¹⁴² Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). *Cómo se vive el cambio climático en la costa de Chile*. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1452804/>

¹⁴³ Parouffe A, Garçon V, Dewitte B, Paulmier A, Montes I, Parada C, Mecho A and Veliz D (2023) *Evaluating future climate change exposure of marine habitat in the South East Pacific based on metabolic constraints*. *Front. Mar. Sci.* 9:1055875. doi: 10.3389/fmars.2022.1055875

Durante **El Niño**, la productividad del plancton en los ecosistemas marinos de Chile disminuye, afectando al zooplancton, larvas, invertebrados y peces pelágicos que dependen de él. Esto puede llevar a escasez de alimento para mamíferos y aves marinas, especialmente si especies como la anchoveta o sardina migran hacia aguas más frías y nutritivas lejos de la costa. Dependiendo de su intensidad, El Niño puede aumentar significativamente la temperatura del mar en el norte y centro sur de Chile (fenómeno fuerte) o moderadamente (El Niño costero), con diferentes impactos ecológicos¹⁴⁴. Chile estableció, en 2023, un Comité de Gestión de Riesgo de Desastres para anticiparse a las potenciales consecuencias que podrían acaecer en los próximos años¹⁴⁵.

- **Riesgo inminente de una crisis global por escasez de recurso hídrico**

Con más del 40% de la población mundial ya enfrentando problemas de escasez de agua, la disponibilidad limitada de este recurso se convierte en **un obstáculo significativo para la expansión y sostenibilidad de tanto la pesca extractiva como la producción acuícola**. La disminución de los caudales de los ríos impacta en los hábitats naturales de los peces, reduciendo sus poblaciones y afectando su reproducción. Además, los **cambios en los ecosistemas acuáticos** debido a esta escasez comprometen la biodiversidad marina y la pesca costera. En el caso de la acuicultura, la falta de agua de calidad limita la capacidad de cría y el acceso a recursos esenciales para mantener y criar especies acuáticas, lo que genera desafíos para la producción sostenible. La gestión adecuada del agua se vuelve crucial para mitigar estos impactos y garantizar la viabilidad a largo plazo de ambas industrias pesqueras en Chile.¹⁴⁶

- **Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas**

Los ecosistemas marinos y su biodiversidad asociada proporcionan una amplia variedad de bienes y servicios ecosistémicos. Una **proporción importante de la población mundial vive y depende de las zonas costeras y sus recursos**; por lo tanto, la pérdida de servicios ecosistémicos puede traer importantes consecuencias para el bienestar humano. El informe **“Acuicultura, pesca y biodiversidad en ecosistemas costeros de Chile”** reporta que, por un lado, la acuicultura no solo tiene repercusiones ambientales dentro de sus propias instalaciones de producción, sino que también afecta a los ecosistemas de ríos y cuencas, con consecuencias cuyo alcance total aún no se ha medido por completo. Además, los efectos a gran escala espacial y la acumulación de impactos a lo largo del tiempo tampoco han sido completamente documentados. Por otro lado, la **sobreexplotación pesquera** es reconocida como un problema ambiental y socioeconómico prioritario, que ha reducido la biodiversidad y modificado el funcionamiento de los ecosistemas marinos.¹⁴⁷

- **Auge de prácticas en economía circular**

El **modelo económico actual** ejerce **presión sobre el sector pesquero y acuícola** para que se capture y produzca la mayor cantidad de pescado posible, en el menor tiempo y coste posible. Esto deriva en la **pesca excesiva de especies** que más se consumen y son más baratas gestionar, mientras que en la acuicultura las altas concentraciones de pescado dan lugar a una serie de riesgos medioambientales. En este sentido, y tal y como establece el documento

¹⁴⁴ Oceana (2023). *El Niño y La Niña: ¿cómo afectan a los ecosistemas marinos y las pesquerías de Chile?*

<https://chile.oceana.org/blog/el-nino-y-la-nina-como-impactan-a-los-ecosistemas-marinos-y-a-las-pesquerias-de-chile/>

¹⁴⁵ La Tercera (2023). *Chile se prepara para El Niño: crean Comité de Gestión de Riesgo de Desastres para anticiparse al fenómeno.* <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/chile-se-prepara-para-el-nino-crean-comite-de-gestion-de-riesgo-de-desastres-para-anticiparse-al-fenomeno/142IR3L54FD6TLRTIRF3VVA7OQ/>

¹⁴⁶ Ajmal Hussan, S Adhikari, Arabinda Das, Farhana Hoque y BR Pillai (2019). *Fish culture without water.*

https://www.researchgate.net/publication/335684815_Fish_Culture_Without_Water_Does_Aquaculture_contribute_to_Water_Scarcity_Is_Aquaculture_without_Water_Possible

¹⁴⁷ Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2020). *Acuicultura, pesca y biodiversidad en ecosistemas costeros de Chile.* https://cdn.digitial.gob.cl/filer_public/86/3b/863b82f8-b481-4c93-b83b-ac1ad69cb9b9/8biodiversidad-acuicultura-buschmann.pdf

elaborado por la **Comisión Europea “La economía circular en las zonas pesqueras y acuícolas”**, es necesario diseñar **sistemas de producción que sean regenerativos y no agoten las poblaciones de peces o dañen los ecosistemas acuáticos como habilitador de una economía pesquera circular**. De esta forma, las actividades pesqueras y acuícolas resultarán más resilientes y sostenibles.¹⁴⁸ En Chile se han implementado diferentes mecanismos e iniciativas para implementar modelos económicos circulares como la **plantas de economía circular** de productos de mar en **Coquimbo**, o el **plan de acción** liderado por **SUBPESCA** para reducir pérdida y desperdicio de recursos marinos en caletas.

- **Desaceleración económica en China**

En 2021, los destinos principales para los productos del sector extractivo chileno estuvieron en Asia. Específicamente, Asia lideró con un 41,5% del valor total, siendo China el mercado principal con un 23,5% de las exportaciones. Sin embargo, la disminución en el valor de las importaciones chinas en los últimos meses representa un riesgo para las exportaciones de pescado chileno, como se refleja en el **“Informe sectorial de pesca y acuicultura”**¹⁴⁹. La reciente caída en el valor de las importaciones chinas plantea un riesgo significativo para las exportaciones de pescado chileno hacia ese mercado.

- **Crecimiento del regionalismo comercial**

Una vez más, las crecientes **tensiones comerciales entre China y el bloque Occidental** podrían **afectar las exportaciones de pescado provenientes de Chile**. Como se ha destacado en el párrafo previo, el 23,5% de las exportaciones de pescado chileno en 2021 tuvieron a China como destino.

7.4.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

El **sector de acuicultura** ha logrado avanzar en **prácticas ligadas a la sostenibilidad** para el **aumento de la producción de peces**, una **mejor selección de especies**, la **mitigación de enfermedades**, la **reducción del desperdicio**, la **prevención de la contaminación ambiental** y la **generación de más empleo a nivel global**.

El avance tecnológico y la adopción generalizada de herramientas como fibras sintéticas, equipamiento hidráulico, dispositivos electrónicos para la localización del pescado, tecnología satelital para navegación y comunicación, así como el uso cada vez mayor de motores fuera de borda en la pesca a pequeña escala, han sido fundamentales para el significativo crecimiento tanto de la pesca como de la acuicultura en las últimas décadas. Estos avances han generado una operación más eficiente y rentable en la pesca, reduciendo la intensidad física necesaria por unidad de producto y mejorando el acceso a los recursos disponibles.¹⁵⁰ La interacción de diferentes factores climáticos y económicos, especialmente eventos climáticos como El Niño o el peso de China en las exportaciones de pescado chileno, resalta la necesidad de desarrollar dominios tecnológicos para asegurar la resiliencia y sostenibilidad de la cadena de valor pesquera.

¹⁴⁸ Comisión Europea (2019). *La economía circular en las zonas pesqueras y acuícolas*.

https://webgate.ec.europa.eu/fpfis/cms/farnet2/sites/default/files/publication/es_farnetguide17_0.pdf

¹⁴⁹ Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2022). *Informe sectorial de pesca y acuicultura*.

https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-114684_documento.pdf

¹⁵⁰ Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022*. <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1565527/>

Estos dominios tecnológicos son los siguientes:

- **Robótica y Sistemas Autónomos**

La implementación de los sistemas autónomos y la robótica en la pesca y acuicultura aborda diversos desafíos y aplicaciones, y se anticipa que impulse la reducción de costos, garantizando su sostenibilidad futura.¹⁵¹

La industria acuícola y pesquera nacional está comenzando a utilizar soluciones basadas en los sistemas autónomos y la robótica. En la **Región de los Lagos**, donde se focaliza gran parte de la actividad pesquera, la empresa chilena **Tech Stream SpA** diseñó el **ROV** (vehículo operado de forma remota, por sus siglas en inglés) "**Kraken**", un vehículo submarino controlado remotamente para inspeccionar redes pesqueras hasta 150 metros de profundidad sin necesidad de recargar baterías. En 2021, incorporaron un brazo electromagnético al vehículo para reparar rápidamente roturas en las redes y prevenir la pérdida de peces.¹⁵² Del mismo modo, el **Servicio Nacional de Pesca y Acuicultura (SERNAPESCA) de la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena** utiliza desde 2022 un robot submarino que apoya la fiscalización y el resguardo de las áreas marinas protegidas de la región.¹⁵³

- **Biotecnologías**

Según la **Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)**, la aplicación de la biotecnología a la acuicultura y la pesca incluye actividades como mejoras genéticas y control de la reproducción, bioseguridad y control de enfermedades, gestión medioambiental y biorremediación, y conservación de la biodiversidad y gestión pesquera. En esta línea, en **Chile** se están desarrollando **iniciativas para generar redes y fortalecer vínculos para la investigación en genómica e inmunología de peces a nivel internacional**¹⁵⁴, así como diferentes iniciativas para **fortalecer la bioseguridad en los peces**, especialmente en **salmónidos**. Además, se están desarrollando proyectos pioneros en el **uso de residuos agroindustriales** (de la industria cervecera, producción de quesos o rastrojos agrícolas) para la **producción de prebióticos para la nutrición acuícola**.

- **Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**

Las tecnologías de comunicación avanzada, como el 5G o las comunicaciones basadas en satélites, están transformando radicalmente la forma en que se llevan a cabo las operaciones en la pesca y la acuicultura. Por un lado, se están implementando **sistemas de monitoreo de embarcaciones pesqueras, herramientas para el monitoreo, control y vigilancia (MCV) de las actividades**. Los sistemas de monitoreo de embarcaciones pesqueras proporcionan a las agencias de gestión pesquera información precisa y relevante acerca de la ubicación y actividad de embarcaciones pesqueras reguladas. Del mismo modo, la acuicultura ha sido transformada mediante la **implementación de sensores inteligentes** que permiten **monitorear las condiciones de manera remota**. Estos sensores, impulsados por tecnologías como el 5G, posibilitan un **monitoreo en tiempo real** de los parámetros clave en la acuicultura, como la calidad del agua, la temperatura y otros factores ambientales.¹⁵⁵

¹⁵¹ Verma, P., Ranjan, D., Sahu, A., Verma, D. K. and Singh, H. 2023. *Automation Technology and Robotics in Fisheries and Aquaculture Sector*. Chronicle of Aquatic Science 1(5): 99- 104.

¹⁵² Pontificia Universidad Católica de Chile (2021). *Aumenta la penetración de la robótica en diferentes industrias chilenas*. <https://educacionprofesional.ing.uc.cl/aumenta-la-penetracion-de-la-robotica-en-diferentes-industrias-chilenas/>

¹⁵³ SERNAPESCA (2022). *Robot submarino apoyará fiscalización y gestión ambiental de SERNAPESCA en Magallanes*. <http://www.sernapesca.cl/noticias/robot-submarino-apoyara-fiscalizacion-y-gestion-ambiental-de-sernapesca-en-magallanes>

¹⁵⁴ Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (2019). *Investigadores PUCV se adjudican Proyecto Conicyt de Genómica e Inmunología de Peces en 1° convocatoria conjunta Chile-Suecia*. <https://pucv.cl/pucv/noticias/primera-persona/investigadores-pucv-se-adjudican-proyecto-conicyt-de-genomica-e>

¹⁵⁵ Kanaga Suba Raja Subramanian (2017). *IOT based Automation of Fish Farming*. https://www.researchgate.net/publication/345895043_IOT_based_Automation_of_Fish_Farming

- **Inteligencia Artificial**

El potencial de la Inteligencia Artificial en la acuicultura se vincula a la capacidad para mejorar aspectos clave en la producción de peces, a través de diferentes técnicas como el empleo de **tecnologías de análisis de datos o la visión por computadora**. Por ejemplo, a través de las dos herramientas mencionadas, es posible identificar el sexo de los peces incluso en especies si marcadas diferencias visuales de género. Además, la IA puede optimizar el proceso de pigmentación muscular en salmones y truchas, reduciendo la necesidad de sacrificar peces para el control biológico.¹⁵⁶ En los últimos años, en el caso chileno, se está implementando IA, tecnologías de análisis de datos y modelos predictivos para mejorar los procesos de la salmonicultura y la pesca chilena. Algunos de los avances concretos realizados en Chile son los sistemas de monitorización de captura y comportamiento del arte de pesca con tecnología acústica, las cámaras alta resolución y software de análisis, y los sistemas de identificación remota de especies¹⁵⁷.

Cabe destacar el caso de **Camanchaca**, una de las empresas más importantes en la salmonicultura chilena, que **seleccionó a la empresa chilena Altum Lab para el proyecto que incorpora analítica de datos de avanzada para optimizar su programa de cosecha**, considerando capacidades de producción, demanda irrestricta e históricos de precio del salmón a nivel internacional. Esta colaboración nació del **programa de innovación abierta en acuicultura desarrollado por la organización SinergiaMe y ProChile**, junto al apoyo de **Intesal de SalmonChile** y el financiamiento de **Corfo**¹⁵⁸.

¹⁵⁶ Wilfredo Vásquez-Quispesivana, Marianela Inga, Indira Betalleluz-Pallardel (2022). *Inteligencia artificial en acuicultura: fundamentos, aplicaciones y perspectivas futuras*. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172022000100079

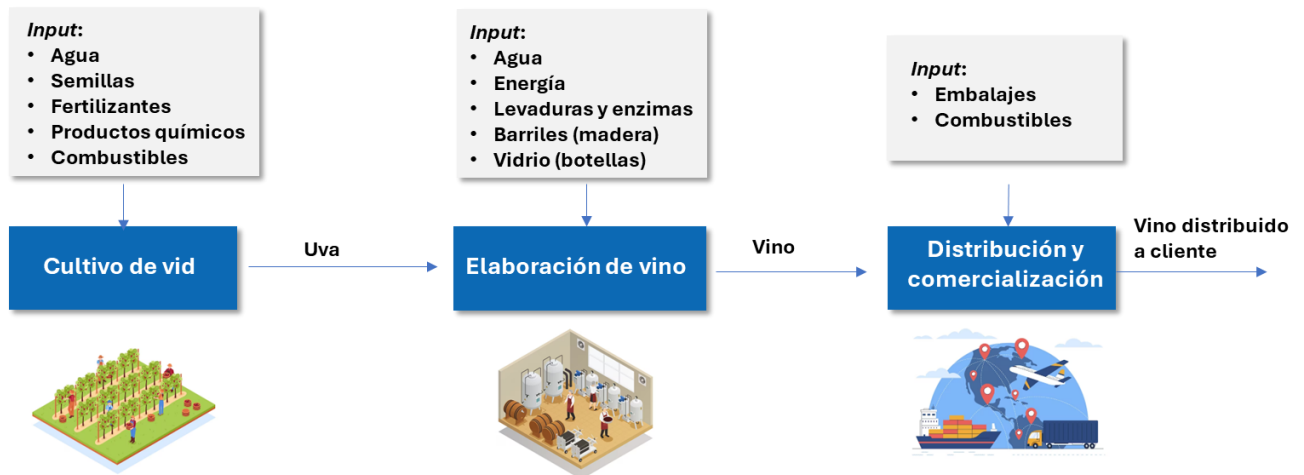
¹⁵⁷ Sociedad Nacional de Pesca (SONAPESCA) (2022). *Tecnología e innovación: Claves para el avance de la pesca*. <https://www.sonapesca.cl/tecnologia-e-innovacion-claves-para-el-avance-de-la-pesca/>

¹⁵⁸ Salmón Chile (2021). *Programa de innovación abierta logra primer contrato entre startup y salmonicultora*. <https://www.salmonchile.cl/noticias/programa-de-innovacion-abierta-logra-primer-contrato-entre-startup-y-salmonicultora/>



7.5 Elaboración de vino

Una cadena de valor que contempla el cultivo de la vid, la elaboración de vino y su comercialización.



7.5.1 Análisis de la cadena de valor

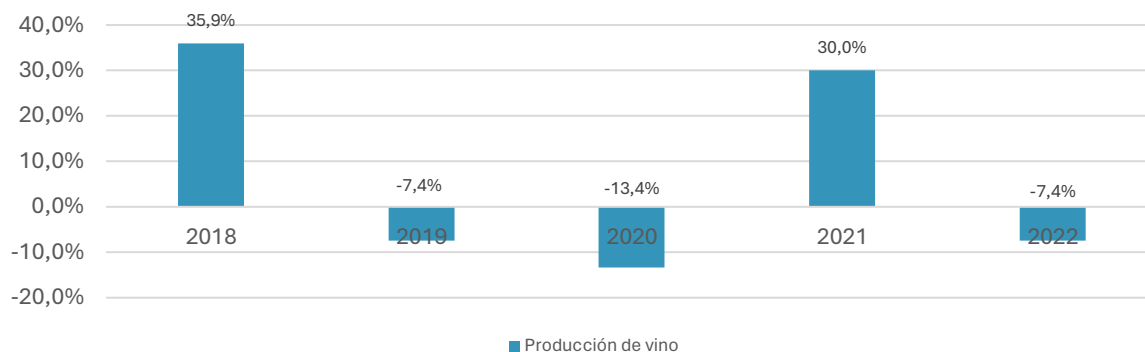
- La cadena de valor de “**Elaboración de vino**” se compone de tres grandes eslabones:
 - **Cultivo de vid:** consiste en la producción de uvas, principalmente destinadas a la elaboración de vino. Los insumos requeridos son fertilizantes para el enriquecimiento y optimización de uso de suelos, el agua para riego, productos químicos para evitar la aparición de malezas, y combustibles para la operación de la maquinaria agrícola. El output de este nodo es la uva que servirá de materia prima para la producción de vino.
 - **Elaboración de vino:** referida a la producción industrial de vino y su conservación en bodegas. Además de la uva, principal materia prima, se requiere de otros insumos como agua, energía para poner en marcha los procesos y equipos, levaduras y enzimas para la fermentación del vino, barriles para su conservación y botellas de vidrio para el envasado en botellas. El producto final de este nodo es el vino embotellado y listo para su comercialización.
 - **Distribución y comercialización:** incluye el embalaje, almacenamiento y transporte del vino, tanto para mercado nacional como para exportación.
- En base a datos de la **OIV (Organización Internacional del Vino)**¹⁵⁹, **Chile fue el mayor productor de vino del hemisferio sur en 2023**, aunque con una **caída** de alrededor de un **20% respecto al año anterior** y un 18% por debajo de su media en el pasado quinquenio.
- En cuanto a la **producción de los últimos 5 años** (de 2018 a 2022, para los que se cuenta con datos a nivel nacional del Boletín del Vino, de ODEPA¹⁶⁰), se presentan **altibajos**, con una **caída del 7% en la producción en 2022** (y con expectativas de que los datos de 2023 continúen a la baja según el mencionado reporte de la OIV).

¹⁵⁹ OIV (2023): *World Wine Production Outlook 2023*.

https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_World_Wine_Production_Outlook_2023_2.pdf

¹⁶⁰ Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2023). *Boletín del vino: producción, precios y comercio exterior*. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/73115/Bolet%c3%adn%20Vino%20diciembre%202023.pdf>

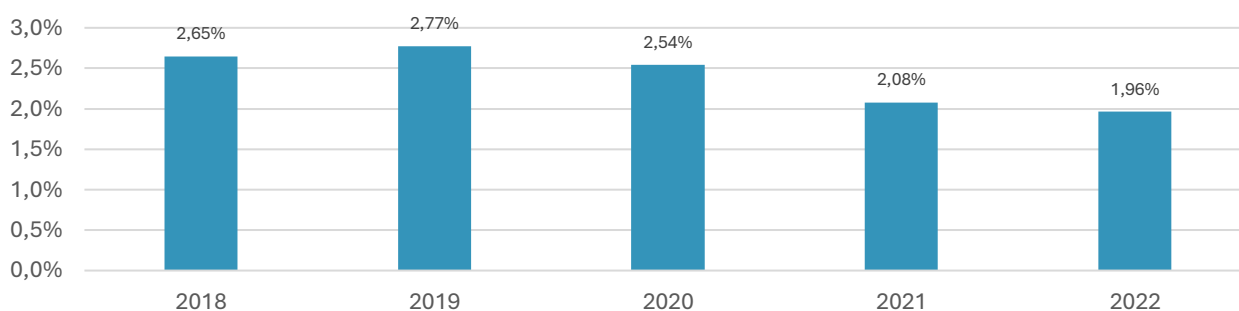
Evolución producción de vino



Fuente: Boletín del Vino (ODEPA)

- En Chile, el sector reporta una **disminución** en la **superficie total dedicada** a la actividad de “**Cultivo de la vid**”, una tendencia que se mantiene en los últimos diez años, a partir del Catastro elaborado por el Servicio Agrícola y Ganadero (SAG) ¹⁶¹. En relación con las variedades de vid viníferas declaradas a nivel nacional, el 73,63% de la superficie corresponde a variedades tintas y un 26,37% a variedades blancas; a nivel regional, la región del Maule concentra la mayor superficie dedicada a la actividad, con el 40,7% del total nacional.
- La “**Elaboración de vino**”, eslabón dedicado a la transformación de la uva en vino, da lugar a la obtención de **3 tipos principales** de **producto final** comercializable, según el Informe de Producción Anual de la SAG ¹⁶²: **vinos con denominación de origen, vinos sin denominación de origen y vinos elaborados con uva de mesa**.
- A pesar de representar la proporción predominante en la matriz vitivinícola chilena, los **vinos con denominación de origen** sufrieron una **baja en la producción de 10,9%**, en 2022; la única variedad que experimentó crecimiento fue la de vino elaborado con uva de mesa (crecimiento del 58,6%).
- **A nivel comercial**, la actividad también se encuentra **a la baja**, con una **disminución interanual del 20,8% de las exportaciones**, a noviembre de 2022, según el Boletín del Vino de ODEPA. En cuanto al valor de las exportaciones, la caída interanual es del 21,5%. El porcentaje de exportaciones de vino respecto al total del país ha variado durante los 5 últimos años de la siguiente manera:

Porcentaje sobre el total de exportaciones



Fuente: Indicadores de Comercio Exterior – Banco Central Chile

¹⁶¹ SAG (2023). *Catastro Vitícola Nacional 2022*. <https://www.sag.cl/noticias/sag-presenta-catastro-viticola-nacional-2022>

¹⁶² SAG (2023). *Informe Final Producción de Vinos 2023*.

<https://www.sag.cl/sites/default/files/Informe%20Final%20Cosecha%202023.pdf#:~:text=El%20Servicio%20Agr%C3%ADcola%20y%20Ganadero%2C%20a%20trav%C3%A9s%20del,todas%20correcciones%20o%20rectificaciones%20a%20las%20declaraciones%20presentadas.>

- Este **panorama a la baja no es exclusivo de Chile**, sino que se reitera en los principales países productores. Un conjunto de circunstancias climáticas extremas y la presión inflacionaria vigente afectan tanto la oferta como la demanda global, según la OIV¹⁵⁹. En base a los datos analizados de **caída en exportaciones** en los últimos 3 años, se justifica la **caída en la producción** a partir de los stocks disponibles que no se venden.
- Por último, se sintetiza en la siguiente tabla la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos.

Cadena de valor	%PIB	%Exportaciones (total)	%Export. (Vino denominación origen)	%Valor agregado
Elaboración de vino	0,8%	2%	1,53%	1%

Fuente: Banco Central y ODEPA (2023)

7.5.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

La industria del vino tiene, en general, **bajo impacto sobre su entorno natural** y genera numerosos puestos de trabajo en una extensa cadena de valor. No obstante, su **dependencia del cultivo de la vid** hace que se vea especialmente afectada por los fenómenos climáticos extremos que ocurren cada vez con mayor frecuencia. Además, la crisis económica global y la persistencia de elevados niveles inflacionarios han derivado en una reducción en los niveles de consumo, y el vino es uno de los productos que se ha visto más afectado.

- **Eventos climáticos extremos y desastres naturales; y Riesgo inminente de una crisis global por escasez de recurso hídrico**

A comienzos de 2023, el país se vio afectado por una **ola de calor extremo y por más de 400 incendios forestales**, en especial en la zona centro-sur, que provocaron la quema de unas 300 hectáreas asociadas al cultivo de la vid y la muerte de más de 20 personas. Estos incendios de origen prevalentemente humano se encuadran en un contexto caracterizado por varios años de deficiencia hídrica y veranos con récords de temperaturas altas¹⁶³.

Asimismo, a partir de que los incendios han acontecido principalmente en pequeñas plantaciones pertenecientes a **familias productoras**, el **principal impacto** se ha dado en las consecuencias que tiene para estas familias, que quedan sin ingresos hasta el momento en que puedan reparar los daños provocados por los incendios.

A nivel global, el reciente reporte de la **Organización Internacional de la Viña y el Vino (OIV)** indica que la **producción mundial de vino cayó este año a su nivel más bajo en seis décadas**¹⁶⁴, a causa de fenómenos naturales como sucesión de heladas, sequías y lluvias diluvianas.

- **Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza**

De acuerdo con el informe **“Estado del Mercado Internacional del Vino en 2022”**, de la revista Economía y Política del Vino (WEP, por sus siglas en inglés), a nivel de demanda, los incrementos de costos en los precios de la energía y las interrupciones en cadenas de suministros se trasladan a los consumidores de vino a través de un **elevado nivel inflacionario**. El efecto de estos fenómenos tiene especial efecto en el mercado de vinos de precio bajo y medio, es decir, donde la demanda es elástica; una alteración en el precio de los productos provoca una reducción drástica en la demanda. Sin embargo, no ha tenido tanta injerencia a nivel de productos premium y de lujo, donde la demanda es inelástica y el incremento del precio no tiene el mismo efecto; en consecuencia, los países con mayor consumo de vino en 2022 han sido aquellos que representan a estos mercados de lujo, como los Estados Unidos.

¹⁶³ ONU (2023). *Chile Incendios forestales 2023, Reporte de Situación N5*. <https://chile.un.org/es/227052-chile-incendios-forestales-2023-reporte-de-situacion-n5>

¹⁶⁴ OIV (2023). *Statistics*. <https://www.oiv.int/what-we-do/statistics>

- **Crisis de las cadenas de suministro globales**

Los principales factores que afectan a la cadena de valor del vino son los **incrementos en los costos de los principales insumos de los que necesita el sector (energía, vidrio, papel)**; las disrupciones en las cadenas de suministro a nivel global; y la recesión económica global. Así lo expresa la **Asociación Vinos de Chile**¹⁶⁵, que destaca el **sobrestock internacional** derivado de la pandemia; los países incrementaron sus reservas ante la incertidumbre de la extensión temporal de la crisis, por lo que ahora se busca reducir esos inventarios para retomar niveles de producción prepandémicos.

Esto provoca un **riesgo de caída de precios** a partir de un exceso de demanda lo que, sumado a los costos elevados que afronta el sector, afectaría negativamente a los productores, especialmente a las pequeñas empresas.

- **Desaceleración económica en China**

Vinos de Chile indica que el **cierre del mercado chino** durante la pandemia provocó una **caída drástica en exportaciones**, que se espera retornen a la normalidad en el corto plazo. Chile es el segundo país productor de vino con mayor llegada a China; hoy en día es el destino número uno de casi todas las viñas de Chile.

El **informe de Estado Internacional del Vino** no es tan optimista acerca de la recuperación total de la demanda en China; dado que el consumo de vino en China ha estado estrechamente vinculado a una actitud positiva hacia un estilo de vida occidental, no se sabe a ciencia cierta qué efectos tendrán el cambio geopolítico, la desglobalización, el desarrollo de la producción nacional y el envejecimiento de la población china en las futuras importaciones de vino.

- **Gobernanza social y ambiental (ESG) de las empresas**

Existe un creciente interés a nivel global por promover el desarrollo sostenible de la cadena de valor vitivinícola. **Chile** cuenta con un **Código de Sustentabilidad** que las empresas pueden certificar de forma voluntaria; se ha establecido también un sistema de certificación que establece el procedimiento de certificación y la periodicidad de auditorías y seguimiento para las empresas¹⁶⁶. Otros países están, de la misma manera, desplegando iniciativas similares, como Australia con su certificación “Australian Wine Industry Standards of Sustainable Practice”.

- **Auge de prácticas en economía circular**

Al momento de analizar la **huella de carbono** de la industria del vino, el packaging tiene un importante peso a partir de la tradicional **utilización de botellas de vidrio** (cuya producción es intensiva en energía)¹⁶⁷. De allí que surjan numerosas iniciativas para propiciar el reciclaje del vidrio utilizado, o migrar hacia otros materiales cuyo reciclaje sea más sencillo y que sean más ligeros (dado el peso de las botellas de vidrio tradicionales); así surgen alternativas como el vino en lata, en botellas biodegradables o el sistema *bag-in-box* (integra un film plástico y una caja).

¹⁶⁵ La Tribuna (2023). *Analizaron las amenazas y oportunidades para el vino chileno*.

<https://www.latribuna.cl/agroforestal/2023/04/06/analizaron-las-amenazas-y-oportunidades-para-el-vino-chileno.html>

¹⁶⁶ Sustentavid (2023). *Código de Sustentabilidad*. <https://www.sustainable.cl/el-codigo/>

¹⁶⁷ WEF (2023). *What can the wine industry teach us about sustainability?* <https://www.weforum.org/agenda/2021/07/what-can-the-wine-industry-teach-us-about-sustainability/>

7.5.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

Los factores de cambio identificados tienen como base el impacto del cambio climático en el medio natural donde se cultiva la vid, insumo esencial para la producción de vino. Para hacer un uso sustentable y eficiente de los recursos naturales surge el concepto de agricultura de precisión, que promueve la implementación de tecnología para incrementar la cantidad y calidad de la producción mientras se minimiza el impacto ambiental de la actividad.

- **Robótica y Sistemas Autónomos**

De especial utilidad a nivel de cultivo de vid, donde los **robots y sistemas de precisión controlados por robots pueden permitir el monitoreo de los cultivos, optimizar el riego y la aplicación de herbicidas.**

Algunos ejemplos de soluciones de este tipo las lideran startups como Optronia, que desarrolló un sistema de pulverización selectiva, que solo arroja pesticida donde efectivamente haya malezas¹⁶⁸. Asimismo, esto permite promover la seguridad de los trabajadores y evitar la necesidad de actividades manuales laboriosas y de importante riesgo. En general, se trata de soluciones de nicho adaptadas a cada mercado y tipología de cultivo; por lo que desarrollar este tipo de soluciones requiere no solo de la tecnología sino del conocimiento sectorial local.

En **Chile**, es destacable la tecnología de **sistema teleoperado que puede navegar de manera autónoma en terrenos planos e inclinados, desarrollado por la Universidad de Concepción**. Tiene la capacidad de discriminar entre racimos y hojas de la vid mediante fotografías, procesadas utilizando técnicas de Inteligencia Artificial diseñadas para extraer información de las áreas de uva y hojas, permitiendo definir la aplicación de pesticidas y otros indicadores agronómicos¹⁶⁹. La universidad cuenta con una sistemática de transferencia por licenciamiento para promover la implementación de este tipo de tecnologías en conjunto con agentes privados.

- **Inteligencia Artificial (IA)**

En un contexto de elevados gastos de suministro de energía e insumos críticos, la optimización de la producción a través de IA puede conllevar importantes ahorros.

Por otro lado, puede permitir **mejorar la eficacia de los mecanismos de predicción de fenómenos meteorológicos**, teniendo en cuenta los efectos que tienen de forma cada vez más frecuente eventos como sequías o inundaciones. En esta línea, cabe destacar al **Centro de Innovación CII de la bodega Concha y Toro**, de la Región de Maule; entre sus principales iniciativas se encuentran el proyecto de pronóstico de volumen de cosecha mediante datos de tecnología satelital, sensores remotos interconectados y sistemas micro-meteorológicos¹⁷⁰.

Además, en el marco de la crisis de recurso hídrico que afronta Chile, la IA permite **optimizar la operación de los sistemas de irrigación de agua**, integrándolos con sensores y cámaras para capturar datos sobre la humedad en el suelo y utilizándolos como base para algoritmos de IA que optimicen la irrigación. Para facilitar el desarrollo de iniciativas vinculadas al riego, es destacable la existencia del Sistema de Información Integral del Riego, plataforma abierta diseñada por la Comisión Nacional de Riego, de Chile.

También toman relevancia las tecnologías ligadas a la **predicción de la ocurrencia de los diferentes estados fenológicos de la vid** a lo largo de su ciclo de crecimiento. El Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) desarrolló una herramienta digital para evaluar la evolución del desarrollo fenológico de la vid creando un prototipo de aplicación celular para mejorar los modelos fenológicos en uva de mesa y uva vinífera.

¹⁶⁸ Optronia (2023). *Presentación web de Optronia*. <https://optronia.com/#optical-sensors>

¹⁶⁹ Universidad de Concepción (2023). *Sistema autónomo de cultivo de vides*. https://otluddec.udec.cl/portafolio-tecnologico/sistema-autonomo-de-cultivo-de-vides/#link_acc-1-2-d

¹⁷⁰ CII (2023). *Programas Estratégicos de I+D+i*. <https://cii.conchaytoro.com/programas>

- **Tecnologías de la Energía**

Han surgido numerosas iniciativas para **incorporar fuentes de energías renovables a nivel de viñedos, en especial energía solar fotovoltaica a partir de las condiciones climáticas que suelen caracterizar a este tipo de asentamientos**. Un caso para destacar es el proyecto Winesolar, de la empresa Iberdrola¹⁷¹. La propia tecnología fotovoltaica cuenta con *trackers* que modifican la posición de los paneles solares en base a un algoritmo de inteligencia artificial para regular la incidencia de la luz solar; la información proviene de sensores colocados en los viñedos que registran datos relativos a la radiación solar, la humedad del suelo, las condiciones del viento y el grosor del tronco de la vid, entre otros. Esta tecnología permite suministrar de energía renovable a las bodegas donde se procesa el vino.

En **Chile**, el foco está en las **mejoras de eficiencia energética** en el proceso de elaboración de vinos, con equipos más eficientes (p.ej. líneas de embotellado con sistemas de generación de vapor más eficientes) y un suministro de energía de origen renovable, en especial de energía fotovoltaica¹⁷².

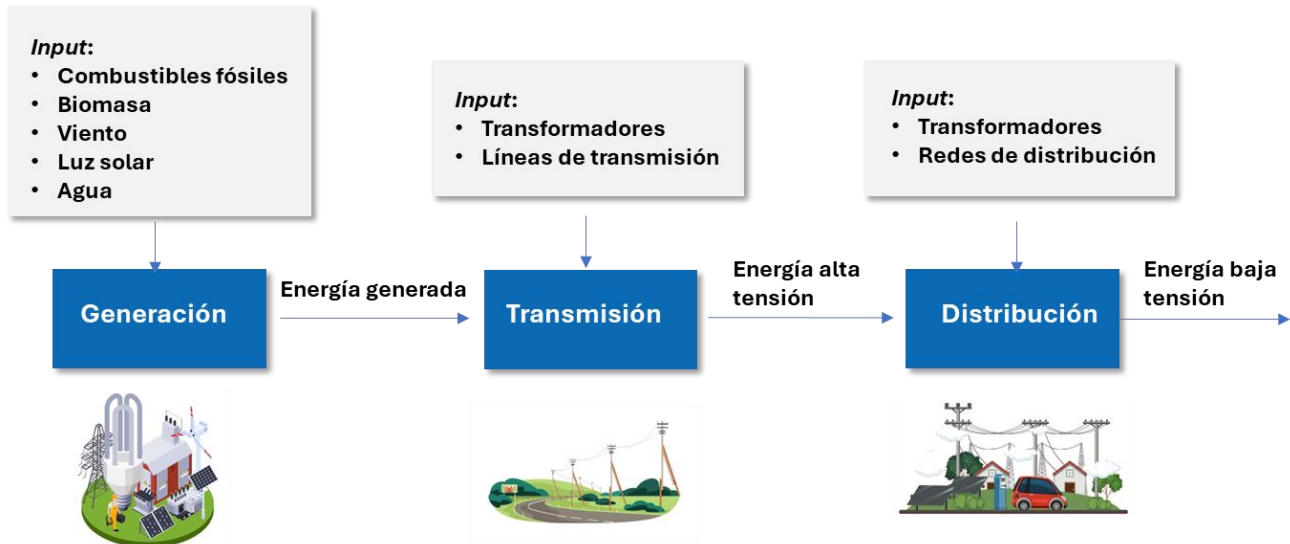
¹⁷¹ Iberdrola (2022). *Iberdrola starts up Spain's first smart agrovoltaic plant in Toledo*. <https://www.iberdrola.com/press-room/news/detail/iberdrola-starts-up-spain-first-smart-agrovoltaic-plant-in-toledo>

¹⁷² InvestChile (2022). *Chile es uno de los productores de vino más sostenibles del mundo*.

<https://blog.investchile.gob.cl/bloges/chile-productor-vino-sostenible#:~:text=El%20foco%20los%20%C3%BAltimos%20a%C3%B1os%20est%C3%A1%20en%20conseguir,solar%20sus%20bodegas%20C%20riegos%20de%20vi%C3%BDedos%20y%20oficinas>.

7.6 Suministro de energía eléctrica

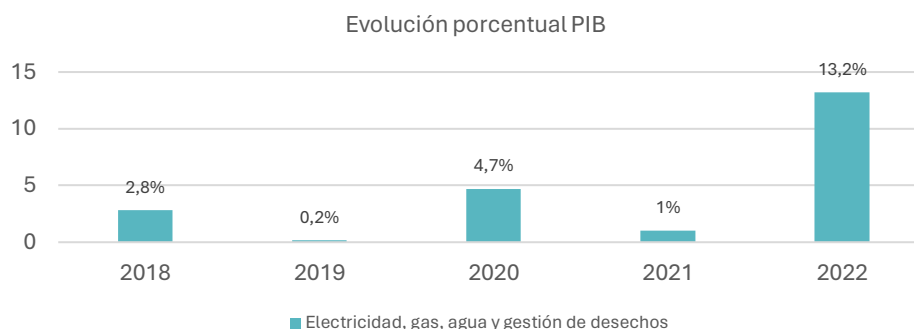
Incluye toda la cadena de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica, a partir de la relevancia de un suministro fiable en toda la actividad económica nacional.



7.6.1 Análisis de la cadena de valor

- En la cadena de valor del “**Suministro de energía eléctrica**”, se distinguen tres eslabones que reflejan el proceso desde la generación hasta el suministro efectivo de la energía eléctrica a los usuarios:
 - Generación:** existen diferentes alternativas de insumos a utilizar, como combustibles fósiles, biomasa, viento, luz solar o agua para generar energía eléctrica. En todos los casos se trata de recursos naturales que se convierten en energía eléctrica.
 - Transmisión:** se eleva el voltaje de la energía generada (utilizando transformadores), para facilitar su transmisión (a más de 23 kV según normativa del país) a través de líneas de transmisión.
 - Distribución:** implica la entrega de energía a los usuarios industriales y residenciales, y requiere de transformadores para reducir la tensión a los niveles de consumo que correspondan (menores a 23 kV), así como redes de distribución a los usuarios.
- Durante el segundo trimestre de 2023, uno de los sectores económicos más dinámicos fue el de Electricidad, Gas, Agua y Gestión de Desechos (EGA), cuyo principal componente es el **suministro de energía eléctrica**. Esta cuenta, que representó el **2,1% del PIB en 2022**, experimentó un crecimiento anual del 13,2% interanual, convirtiéndose en uno de los principales impulsores en la variación anual de la producción¹⁷³.
- Asimismo, si se analiza la evolución del sector en los últimos 5 años, se presenta un crecimiento en su aporte al PIB, algo menor en los años 2019 y 2021.

¹⁷³ Banco Central de Chile (2023). *Rol reciente de la generación eléctrica en la actividad y sus perspectivas*. <https://www.bcentral.cl/contenido/-/detalle/rol-reciente-de-la-generacion-electrica-en-la-actividad-y-sus-perspectivas>



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- La actividad del suministro de electricidad, gas, agua y gestión de desechos (EGA) en Chile mostró un crecimiento anual del 13,2%, **impulsado principalmente** por el eslabón de **“Generación eléctrica”**. Este incremento se debió en gran parte a la **adopción de insumos más económicos**, especialmente con la **disminución en la generación térmica**, principalmente basada en carbón, y la **transición hacia energías renovables** como la solar, eólica e hídrica.¹⁷⁴ En este sentido, el sector de electricidad, gas, agua y gestión de desechos contribuyó con 6.027 miles de millones de pesos chilenos, es decir, un **2,8% del Valor Agregado** total a nivel nacional.
- El sector de suministro de energía eléctrica representó el **0,48% del total de empleos en 2022**, evidenciando su relevancia en la transición energética actual. En el sector del suministro de electricidad, se registraron un total de 51.580 empleos en el año 2020, seguido de una ligera disminución en 2021 con 50.660 empleos. Sin embargo, en 2022, se registró un descenso más notorio, disminuyendo a 42.960 empleos. Esta tendencia muestra una variación interanual de -1,8%, -0,92%, y -15,2% respectivamente en estos tres años consecutivos.¹⁷⁵
- A nivel de **“Transmisión”** y **“Distribución”**, en el año 2022 **Chile y Argentina** llegaron a un acuerdo que permitirá el **intercambio de electricidad** entre ambos países. El acuerdo contempla la viabilidad de importar y exportar electricidad entre Chile y Argentina mediante la línea de transmisión Andes-Cobos (345 kV). Esta línea ha estado inactiva desde 2017; sin embargo, a través de la emisión de un decreto por parte del Ministerio de Energía, se ha otorgado nuevamente la **autorización para el intercambio de energía entre los sistemas eléctricos de ambos países**. Esta medida presenta un aspecto destacado: **Chile exportará electricidad generada a partir de la energía solar**. Esta iniciativa promoverá un intercambio energético que reducirá costos operativos y aumentará la seguridad en ambos sistemas eléctricos, tanto el chileno como el argentino, generando beneficios mutuos.¹⁷⁶ A pesar de ello, las exportaciones de energía eléctrica chilenas presentan valores ínfimos, por lo que se pueden considerar nulas para el objeto de este análisis¹⁷⁷.
- El **flujo de Inversión Extranjera Directa (IED)** hacia Chile hasta 2021 provino principalmente de países como Canadá, Estados Unidos, Países Bajos, Reino Unido y España. El segmento energético ha sido un receptor destacado en los últimos años, impulsado en gran medida por el **desarrollo de energías renovables**. Uno de los proyectos emblemáticos ha sido la construcción del **Complejo Termosolar Cerro Dominador**, con una inversión total de USD

¹⁷⁴ Banco Central de Chile (s.f). *Cuentas nacionales 2018-2022*.

https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/informes/AnuarioCCNN/pdf/ANUARIO_CCNN_2022_2.pdf

¹⁷⁵ Instituto Nacional de Estadísticas (2023). *Separata Técnica Anual: Encuesta Nacional de Empleo*.

<https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/ocupacion-y-desocupacion/publicaciones-y-anuarios/separatas/anuales/separata-2022.pdf>

¹⁷⁶ Ministerio de Energía (2022). *Chile y Argentina acuerdan intercambio energético*.

<https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-y-argentina-acuerdan-intercambio-energetico>

¹⁷⁷ Banco Central de Chile (2023). *Indicadores de Comercio Exterior. Cuarto trimestre 2022*.

https://www.bcentral.cl/documents/33528/133362/ICE_2022_IV.pdf/8c7bcd20-33e4-12c3-7930-ea183a3d1b1e?t=1695685834103

1.210 millones. Se espera que esta tendencia inversora continúe en crecimiento: **Enel**, a través de su filial Enel Chile, planea invertir 1.700 millones de dólares entre 2022 y 2024 en proyectos de energía renovable. De igual forma, la compañía energética francesa **Engie** anunció una inversión en Chile de aproximadamente 1.800 millones de dólares para los próximos tres años. Además, en el sector del hidrógeno verde, han sido anunciados proyectos de gran envergadura aún en fase de estudio, como el **Proyecto H2 Magallanes** de la compañía francesa Total y el Proyecto Hoassis de la empresa española TCI.¹⁷⁸

- El sector de Electricidad, Gas y Agua de Chile ha experimentado un **crecimiento desigual en la productividad** durante los últimos 28 años, con períodos de crecimiento positivo impulsados, especialmente, por las inversiones en infraestructura. Sin embargo, la productividad laboral ha disminuido en los últimos años, lo que representa un reto para el sector.¹⁷⁹
- En síntesis, el eslabón de “**Generación**” es el que presenta mayor dinamismo y un crecimiento exponencial a partir del auge de los **proyectos de energía renovable** (y, especialmente, solar). Frente a esto, las **redes de transmisión y distribución** deben optimizarse para dar cabida a la creciente capacidad de generación.
- Por último, se sintetiza en la siguiente tabla la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos.

Cadena de valor	% PIB	% Valor Agregado	% Empleo (Suministro eléctrico)	IED (Electricidad, gas y agua)	% Productividad (Electricidad, gas y agua)
Suministro de energía eléctrica	2,1%	2,8%	0,48%	USD 9.612 millones	-1,3%

Fuente: Banco Central, Ministerio de Energía y Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2023)

7.6.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

Bajo este contexto, la red de generación, transmisión y distribución de electricidad chilena debe dar respuesta a los siguientes FCG:

- **Crisis del costo de vida e incremento de la pobreza**

La conexión entre energía, desarrollo social y pobreza está ganando cada vez más relevancia tanto a nivel global como en las políticas públicas nacionales. Este creciente interés se debe, en gran medida, al reconocimiento de los servicios energéticos como factores cruciales para mejorar la calidad de vida de las personas. El acceso a una **energía segura, asequible y sostenible** no solo eleva las condiciones de vida dentro de los hogares, sino que también abre oportunidades para mejorar la salud y la educación, diversifica las posibilidades laborales y fomenta el desarrollo productivo y cultural en diversas regiones. La **pobreza energética** presenta desafíos multifacéticos que requieren diversas acciones en el ámbito de la política pública. Para abordar este problema, se identifican cuatro dimensiones fundamentales e interrelacionadas: **i)** la habitabilidad, que se refiere a las condiciones de las viviendas; **ii)** el acceso físico a fuentes de energía y dispositivos necesarios para satisfacer las necesidades energéticas; **iii)** la calidad del suministro eléctrico y la utilización de fuentes de energía sostenibles; **iv)** y la asequibilidad, relacionada con el gasto en energía y su impacto en la economía doméstica.¹⁸⁰

En esta línea, se han implementado iniciativas a nivel nacional como “**Ruta de la Luz**”, que busca reducir las brechas de acceso a la energía eléctrica que aún persisten en zonas rurales y aisladas del país.

¹⁷⁸ Oficina Económica y Comercial de España en Santiago de Chile (2023). *Informe económico y comercial*. <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/105/documentos/2023/09/documentos/IEC%202023.pdf>

¹⁷⁹ Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2022). *Informe anual 2022*. <https://cnepe.cl/informe-anual-2022/>

¹⁸⁰ Ministerio de Energía (s.f). *Pobreza energética*. <https://energia.gob.cl/pobrezaenergetica>

- **Creciente demanda global de minerales críticos**

La creciente **demanda global de minerales críticos** puede influir en la disponibilidad, costos y acceso a estos recursos clave, lo que, a su vez, puede tener repercusiones en el desarrollo y mantenimiento de la infraestructura eléctrica en Chile. Los minerales críticos como el cobre y el litio, presentes en Chile, tienen un impacto significativo en las redes de transmisión y distribución de electricidad debido a su relevancia en la fabricación de componentes esenciales para estas infraestructuras, como lo evidencia el informe “Potencial de minerales críticos en Chile”, del Ministerio de Minería¹⁸¹.

- **Impulso a la movilidad sostenible e inteligente**

El compromiso con la **neutralidad de carbono** se apoya en el creciente despliegue de energías renovables, promoviendo una transformación del país hacia una mayor electrificación y eficiencia energética. Esta transición es fundamental para fortalecer y potenciar la electromovilidad, destacando la importancia del hidrógeno verde. Este enfoque no solo impulsa una movilidad más sostenible, sino que también habilita la entrega de energía limpia a los hogares y desempeña un papel crucial en la descontaminación de las zonas urbanas.¹⁸²

El **transporte sustentable y la electromovilidad** constituyen uno de los principales lineamientos estratégicos de la Agenda Nacional de Energía 2022-2026, en donde se indica que un requerimiento fundamental es que el país en toda su extensión cuente con una red de carga adecuada a los distintos usos que se le dará a la electromovilidad.¹⁸³

- **Incorporación de la energía nuclear como sostenible**

Según la **IEA**, la **energía nuclear** es una importante fuente de electricidad de bajas emisiones, que proporciona alrededor del 10% de la generación mundial de electricidad. Una de sus ventajas es que permite complementar a las energías renovables en la reducción de las emisiones del sector eléctrico con un suministro fiable y estable, además de ser una opción para producir calor e hidrógeno de bajas emisiones.¹⁸⁴

En estos momentos, **Chile no dispone de centrales nucleares**. No obstante, se han realizado diferentes estudios para el emplazamiento de centrales nucleares en el país. En un principio, la Comisión Chilena de Energía Nuclear realizó una evaluación inicial que indicó que el desarrollo de la energía nuclear en Chile está en consonancia con las políticas nacionales y regionales, alineándose con las estrategias de energía limpia, estabilidad y seguridad. A medida que el proceso avanzó hacia etapas posteriores y se eligieron localidades concretas para la ubicación de centrales, la planificación territorial adquirió mayor importancia, ya que los planes reguladores comunales podrían imponer restricciones. Tras un análisis de zonas de exclusión a nivel nacional, se identificó que el norte del país ofrece áreas más viables para proyectos nucleares, aunque no se descartaron estudios futuros en áreas más limitadas en el sur. A la fecha aún no se han identificado lugares específicos, ya que este proceso requerirá estudios detallados de suelo, fallas y otros factores, además de una inversión significativa por parte del eventual operador.¹⁸⁵

¹⁸¹ Ministerio de Minería (2022). *Potencial de minerales críticos en Chile*.

<https://www.minmineria.cl/media/2022/01/MinMineri%CC%81a-2022-Minerales-Cri%CC%81ticos.pdf>

¹⁸² Ministerio de Energía (2021). *Transición Energética de Chile – Política Energética Nacional*.

https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/actualizacion_anteproyecto_pen_2021_lr.pdf

¹⁸³ Ministerio de Energía (2022). *Agenda de Energía 2022-2026*. https://radio.uchile.cl/wp-content/uploads/2022/08/agenda_energia_2022_-_2026-1.pdf

¹⁸⁴ IEA (s.f). *Nuclear energy*. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/nuclear-power>

¹⁸⁵ Comisión Chilena de Energía Nuclear (2020). *Informe Energía Nuclear de Potencia. Revisión de temáticas relevantes para una discusión*. <https://www.cchen.cl/pdf/estudios/Informe-Nucleoelectricidad2020.pdf>

- **Obsolescencia de redes eléctricas (transmisión y distribución)**

La **fiabilidad del suministro eléctrico** varía significativamente entre economías avanzadas, y aún más al comparar a los países en desarrollo con mercados emergentes (EMDEs). Comparar la fiabilidad de las redes eléctricas en diferentes países es un desafío, ya que los conjuntos de datos tienen niveles variables de completitud y rara vez diferencian explícitamente entre interrupciones originadas por generadores o por redes de transmisión y distribución. **En cuatro países que proporcionan esta información -Estados Unidos, Japón, Australia y Chile-, más del 90% de las interrupciones en el suministro eléctrico se originan en las redes de distribución.**¹⁸⁶

El **25% de los usos energéticos** en Chile se basan en la **electrificación**, es decir, un 25% de la actividad que requiere energía utiliza como base la electricidad. Sin embargo, la carbono neutralidad implica que al 2050 esté en torno al 60-70%, aumentando la dependencia en el sistema eléctrico a partir de vehículos y flotas eléctricas, procesos industriales basados en energía eléctrica y el suministro de energía limpia a los hogares. Esto requiere robustecer la infraestructura, integrar nuevas tecnologías, digitalizar y mejorar el desempeño operativo para mantener un elevado estándar de funcionalidad de servicio.¹⁸⁷

7.6.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

El avance tecnológico está transformando la industria energética en Chile. Esto implica cambios en modelos de negocios, regulaciones y enfoques hacia una matriz energética más limpia y universal. Para las empresas de servicios públicos, la innovación en modelos de negocio se focaliza en energía limpia, tecnologías de red, servicios de conexión, datos y sistemas energéticos. Además, se están desarrollando nuevos modelos para garantizar el acceso universal a la electricidad, abarcando innovaciones en la monetización, monitoreo y financiamiento. La viabilidad financiera de la infraestructura eléctrica depende de estos modelos de negocio, siendo el desarrollo tecnológico fundamental para su reestructuración y para afrontar desafíos como la universalización del servicio eléctrico.¹⁸⁸

En este sentido, son de relevancia los siguientes **dominios tecnológicos** para la resiliencia de la cadena de **suministro de electricidad** en Chile:

- **Tecnologías de la Energía**

Chile ha avanzado en la **adopción de energías renovables**, como la solar y la eólica, para reducir su dependencia de combustibles fósiles. La incorporación de estas tecnologías no solo ayuda a diversificar la matriz energética, sino que también contribuye a la resiliencia del suministro eléctrico al ser fuentes limpias y sostenibles. Respecto a la capacidad instalada en el Sistema Eléctrico Nacional (SEN), el 53,3% proviene de tecnologías de generación en base a fuentes renovables como hidroeléctrica, solar fotovoltaica, biomasa y geotermia. El restante 46.7% corresponde a centrales termoeléctricas basadas en gas natural, carbón o derivados del petróleo.¹⁸⁹

En este sentido, a nivel nacional existen proyectos tractores y de referencia basados en el desarrollo de tecnologías de generación de energía limpia:

¹⁸⁶ IEA (2023). Electricity Grids and Secure Energy Transitions. <https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions>

¹⁸⁷ Ministerio de Energía (2021). *Transición Energética de Chile – Política Energética Nacional*. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/actualizacion_anteproyecto_pen_2021_lr.pdf

¹⁸⁸ Banco Interamericano de Desarrollo (2019). *Nuevos modelos de negocios: el impacto de la innovación en el sector eléctrico*. <https://blogs.iadb.org/energia/es/nuevos-modelos-de-negocios-el-impacto-de-la-innovacion-en-el-sector-electrico/>

¹⁸⁹ Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2021). *Matriz energética y eléctrica en Chile*. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf

a) Hidrógeno verde

En el año 2021 se inició el proyecto de hidrógeno verde en Magallanes. El **Proyecto H2 Magallanes**, el más grande de Chile, estará ubicado en la comuna de San Gregorio y contará con hasta 10 GW de capacidad instalada eólica, junto con hasta 8 GW de capacidad de electrólisis, una planta desalinizadora y una planta de amoníaco (NH₃). Los cuatro proyectos anunciados en la región implican inversiones superiores a los 15.000 millones de dólares, más de 10.000 MW de electrólisis, una capacidad de generación eléctrica superior a los 13.000 MW, y una producción de más de un millón de toneladas de hidrógeno verde al año 2027.¹⁹⁰

b) Energía eólica

Desde 2013, la generación de electricidad en base a energía eólica ha aumentado sostenidamente, llegando a contribuir **el 7% del total en el año 2020**. Chile ha liderado la implementación de proyectos de energía eólica en América Latina, aprovechando su extensa costa, especialmente en regiones como Atacama y Coquimbo, para establecer alrededor de 80 plantas eólicas en operación. El gobierno chileno ha respaldado activamente este desarrollo mediante políticas y regulaciones favorables.

c) Energía solar

Del mismo modo, la generación de electricidad en base a energía solar contribuyó al **10% de la generación total en el año 2020**. En Chile, la zona norte, especialmente el desierto de Atacama dispone de la mayor incidencia solar del mundo. La generación solar se realiza en base a dos tipos de tecnologías: los sistemas fotovoltaicos y los sistemas solares térmicos¹⁸⁹.

d) Electrificación industrial

Con el objetivo de reducir el impacto de la actividad productiva e industrial en su entorno, se promueve la migración de fuentes de energía fósiles a fuentes renovables para la generación de energía eléctrica y, en los casos en que fuera factible y asequible, la electrificación de ciertos procesos, como lo promueve la **Política Energética de Chile 2050**.

- **Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**

Por un lado, las redes inalámbricas de próxima generación como el 5G van a permitir la consolidación de redes inteligentes y la medición de los consumos eléctricos. Esta tecnología supone un impulso a la digitalización en el sector eléctrico, especialmente en actividades de monitoreo, control y mantenimiento de la infraestructura en centrales de generación, subestaciones, líneas de transmisión y en redes de distribución.¹⁹¹

Además, en el ámbito de la Ciberseguridad, el **Sistema Eléctrico Nacional (SEN) dispone de sus propios estándares y protocolos para el sector eléctrico**, en donde se establecen los requisitos y medidas de control para el resguardo de la seguridad cibernética aplicables al sector eléctrico con el fin de proteger las instalaciones eléctricas y activos informáticos contra amenazas que puedan poner en riesgo la seguridad y continuidad del servicio del SEN.¹⁹²

¹⁹⁰ Ministerio de Energía (2021). *El más grande de Chile: Ministro Jobet anuncia nuevo proyecto de hidrógeno verde en Magallanes*. <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/el-mas-grande-de-chile-ministro-jobet-anuncia-nuevo-proyecto-de-hidrogeno-verde-en-magallanes>

¹⁹¹ Revista Energética de Chile - Electricidad (2020). *El potencial de la tecnología 5G para el sector energético*. <https://www.revistaeci.cl/informes-tecnicos/el-potencial-de-la-tecnologia-5g-para-el-sector-energetico/>

¹⁹² Coordinador Eléctrico Nacional (2022). *Estándar de ciberseguridad para el sector eléctrico*. <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2022/10/Estandar-Ciberseguridad-SEN-October-2022.pdf>

- **Inteligencia Artificial**

El uso de la Inteligencia Artificial en el suministro eléctrico dispone del potencial para transformar y mejorar el sector. En este sentido, se puede utilizar para la predicción y gestión de la demanda energética o el mantenimiento predictivo.

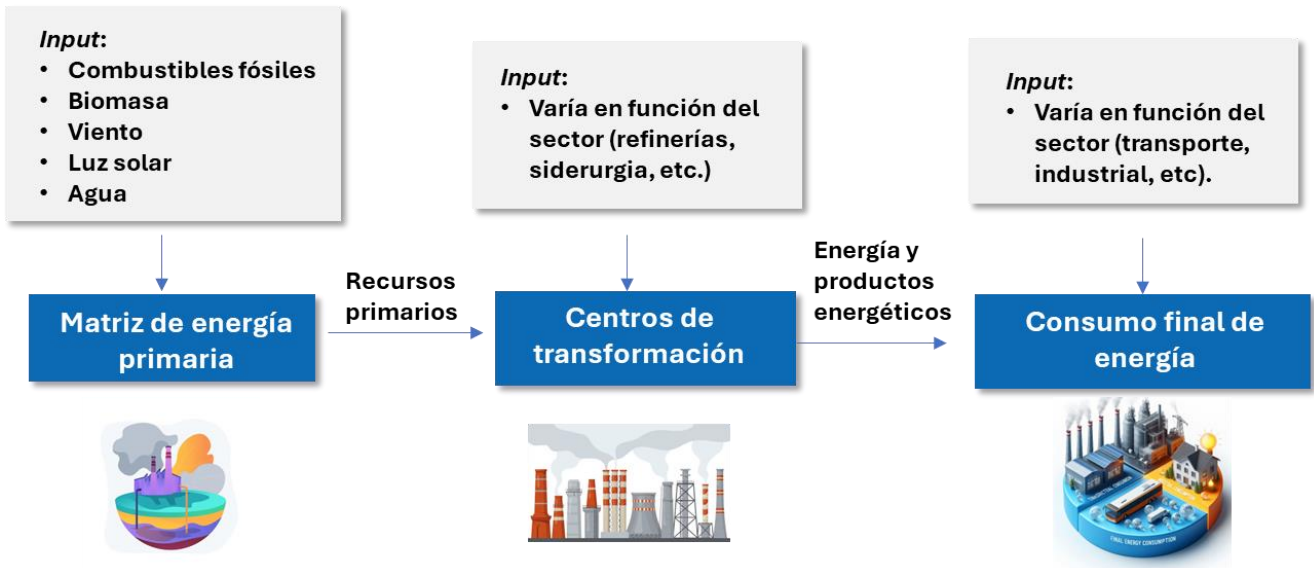
La **Universidad de Chile** está desarrollando una iniciativa destinada a **anticipar el comportamiento del sistema en respuesta a configuraciones específicas del Sistema Eléctrico Nacional** y a un conjunto predefinido de fallas o contingencias. Esta iniciativa se basa en el análisis de datos históricos para crear algoritmos capaces de aprender del funcionamiento del SEN en situaciones de contingencia. El objetivo es proporcionar una herramienta de predicción fiable y en tiempo real que permita anticipar el comportamiento del SEN frente a eventos o fallas.¹⁹³

¹⁹³ Espinoza, C. Miembro del Consejo Directivo del Coordinador Eléctrico Nacional (2021). *Inteligencia artificial en el sector eléctrico*. *Electricidad – La revista energética de Chile*. <https://www.revistaei.cl/columnas/inteligencia-artificial-en-el-sector-electrico/#>



7.7 Generación de otras formas de energía

Esta cadena de valor integra la actividad de obtención de materias primas energéticas, su transformación y su consumo.

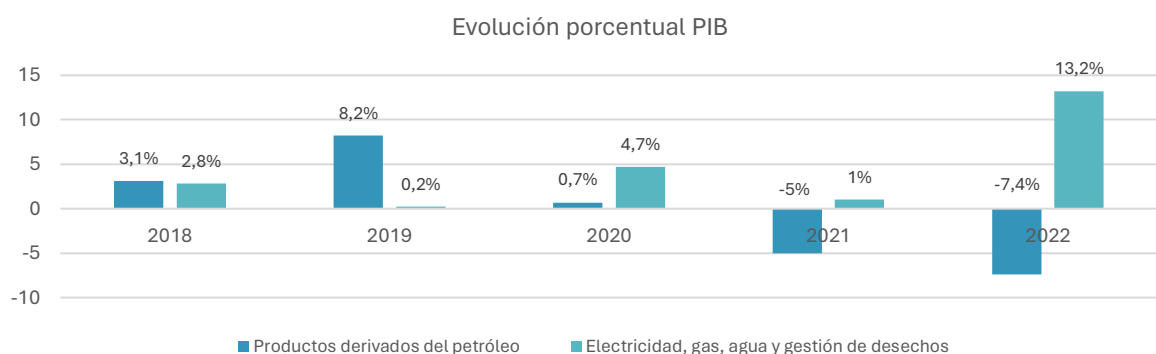
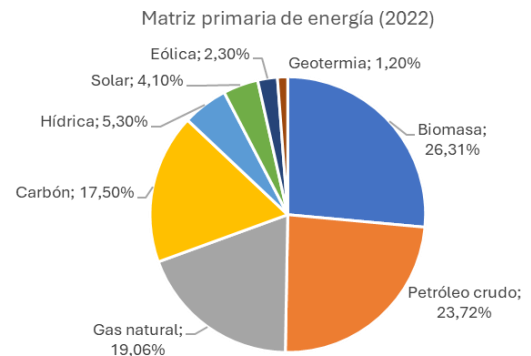


7.7.1 Análisis de la cadena de valor

- La cadena de valor de la **Energía** cuenta con tres grandes eslabones:
 - **Matriz de energía primaria:** la energía primaria es aquella obtenida de fuentes en su estado natural (que no han sufrido ninguna transformación por intervención humana). Dado que existen diversas fuentes y recursos para la obtención de esta energía, se conforma una Matriz Primaria. Este primer eslabón consiste en la obtención y aprovisionamiento de los recursos para la conformación de esta matriz, que incluyen la compra o extracción de combustibles fósiles (petróleo y gas), el establecimiento de emplazamientos para la obtención de energía solar y eólica, y la obtención de biomasa, entre los principales.
 - **Centros de transformación:** incluyen toda la actividad de obtención de energía a partir de los recursos primarios obtenidos en el eslabón anterior. La refinación (industria del Oil&Gas) utiliza principalmente petróleo y gas para obtener diversos productos de refinación como combustibles e insumos para la industria petroquímica; también se incluye la generación de energía eléctrica, abordada de forma individual en la sección 7.6, y la utilización de recursos primarios en la industria, como la siderúrgica, que utiliza mineral de hierro para producir acero.
 - **Consumo final de energía:** la energía y productos energéticos son utilizados por distintos sectores de la economía, como el transporte, la industria o uso residencial.
- En Chile, el Ministerio de Energía desarrolla anualmente un análisis de balance energético para la identificación de los componentes de la Matriz Primaria nacional¹⁹⁴.

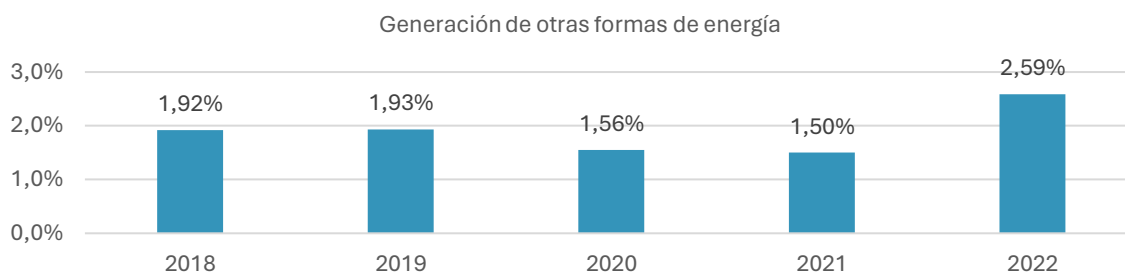
¹⁹⁴ Energía Abierta (Ministerio de Energía, 2023). *Balance Energético 2022*. <http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/balance-energetico/>

- En el año **2022**, la **matriz energética primaria** en Chile fue de 327.752,91 teracalorías (Tcal), con una **predominancia de recursos fósiles** (petróleo crudo, petróleo diésel, carbón mineral y gas natural), que representaron **60,3% del total**, destacándose además la participación de **26,31% de biomasa**. Cabe destacar que los combustibles fósiles tienen origen importador.
- Continúan su **senda de crecimiento** las **fuentes de origen renovable**, que cuentan a 2022 con una participación del **7,6% en la Matriz**, principalmente **energía solar** (4,1%, con crecimiento interanual de 48,7%), **eólica** (2,3%) y **geotérmica** (1,2%).
- La utilización de la energía primaria se da en diversos “**Centros de transformación**”, que permiten transformar estos recursos en otras formas de energía para uso industrial o doméstico. Se ha dado transformación a 283.437,94 Tcal, destacando la **generación de energía eléctrica** (58%) y la **refinería** (37%).
- El tercer eslabón de la cadena corresponde al “**Consumo de energía**”, que en 2022 se debió principalmente al **Sector Industrial y Minero** (37,3%), **Transporte** (34,1%) y al **Sector Comercial, Público y Residencial** (23,9%).
- En síntesis, se trata de una cadena de valor fundamentalmente basada en la **utilización de recursos fósiles**, aunque con **creciente presencia de fuentes renovables de obtención de energía**, que suministra **combustibles y energía eléctrica** que permiten la **operación normal de las principales actividades económicas** (producción minera e industrial, transporte y suministro energético residencial).
- A nivel de indicadores económicos, el **aporte de la cadena de valor al PIB** se concentra en el eslabón de “Centros de transformación”: la **producción de electricidad**, por un lado, y la **obtención de productos de refinería y otros derivados del petróleo**. En los últimos años, la cuenta de Electricidad, gas, agua y gestión de desechos presenta un comportamiento variable pero de crecimiento, mientras que los productos derivados del petróleo muestran caídas en los últimos dos años.



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- En cuanto a las **exportaciones**, se pueden destacar las ventas internacionales de **productos derivados del petróleo**, como **químicos, plásticos, caucho y otros productos obtenidos de la industria petrolera y petroquímica**. La generación de energía eléctrica permite el suministro interno y su aporte a las exportaciones es residual, por lo que no se contempla en el análisis.



Fuente: Indicadores de Comercio Exterior – Banco Central Chile

- El sector energético es, asimismo, uno de los **más atractivos para la inversión extranjera**. Así lo reporta **Invest Chile** en su informe “Inversión Extranjera en Chile 2022”¹⁹⁵; Chile es la economía emergente más atractiva para el desarrollo de proyectos ligados a energías renovables no convencionales (ERNC); los principales países de donde surgen las inversiones son Canadá y Estados Unidos. Invest Chile reporta un total de inversiones en Energía de USD 11.535 millones; un 71% del monto de la inversión proyectada para el quinquenio 2022-2026 es llevado adelante por empresas extranjeras. En otras palabras, el mencionado **crecimiento exponencial** de las **fuentes renovables** en la **matriz energética primaria** es impulsado por **flujos de inversión extranjera**.
- Se sintetiza la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos, en la siguiente tabla.

Cadena de valor	%PIB	%Exportaciones	%Valor Agregado	Nº proyectos de IED	Cartera IED
Energía	2,4%	2,6%	1,8%	62	USD 11.536 millones

Fuente: Banco Central y Ministerio de Energía (2023)

7.7.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

Los principales factores de cambio asociados tienen que ver con el impacto que la generación de energía a partir de combustibles fósiles tiene en el medio ambiente, impulsando una serie de medidas para encontrar fuentes alternativas que, asimismo, aseguren el suministro en el largo plazo.

- **Crisis de las cadenas de suministro globales**

Los conflictos geopolíticos han incrementado la incertidumbre en cuanto al suministro de recursos energéticos indispensables, como el petróleo y gas, además de desencadenar un incremento de los precios internacionales. De allí que tome importancia la **diversificación de la matriz energética** y la relevancia de recursos alternativos como la biomasa. En **Chile**, la **biomasa de origen forestal representa un 26% de la oferta en la matriz energética primaria** y permite evitar la dependencia del suministro externo de hidrocarburos.

Asimismo, la diversificación de la matriz energética permite hacer frente a un **sector de petróleo y gas poco resiliente**, tanto en Chile como a nivel global; la **Agencia Internacional de la Energía** destaca que **las empresas de este sector solo han contribuido a un 1% de la inversión total en energías limpias**, mientras que representan casi un 15% de las emisiones de gases de efecto invernadero derivadas de la energía¹⁹⁶.

- **Incorporación de la energía nuclear como fuente de energía vinculada al desarrollo sostenible**

Nuevamente derivado de la crisis global de suministro de energía, se ha dado impulso a la **energía nuclear** a partir de su **bajo impacto ambiental y de la fiabilidad de suministro**. La

¹⁹⁵ Invest Chile (2023). *Inversión Extranjera en Chile 2022*. <https://www.investchile.gob.cl/wp-content/uploads/2023/05/informe-preliminar-ied-esp-word-2023.pdf>

¹⁹⁶ IEA (2023). *The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions*. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a6e9b926-2349-4bee-856e-4997aab5399f/TheOilandGasIndustryinNetZeroTransitions.pdf>

Agencia Internacional de Energía Atómica destaca que, a nivel global, se espera que el consumo global de energía se incremente en un 30%¹⁹⁷. Si los países buscan reducir el consumo de fuentes como el carbón, de carácter no renovable, la energía nuclear puede ser clave en la transición. Por el momento, **en Chile** no hay centrales nucleares; **existen dos reactores de investigación**, el Reactor Experimental Chileno N°1 (RECH-1) ubicado en el Centro de Estudios Nucleares La Reina, en la comuna de Las Condes, y el Reactor Nuclear Experimental Educativo (RNE-1) ubicado en el Centro de Estudios Nucleares Lo Aguirre, en Pudahuel.

- **Diversificación de la matriz de proveedores energéticos**

En búsqueda de incrementar su independencia energética, surge el **hidrógeno verde** como alternativa a los combustibles fósiles. La novedad está en su carácter de energía “verde”, es decir, que permite aprovechar el excedente de la energía eléctrica obtenida de fuentes renovables intermitentes, como la solar y eólica y, a partir del proceso de electrólisis permite obtener hidrógeno verde. Además, permite reemplazar combustibles para producir electricidad, calor y diversos compuestos. **Chile ha sido pionero en el diseño de una Estrategia Nacional de Hidrógeno Verde** y, asimismo, en el desarrollo de proyectos piloto como “**H2 Magallanes**”: se trata de una iniciativa pionera que permite transformar energía eólica en hidrógeno, y obtener a posteriori combustibles sintéticos para la propulsión de vehículos sin utilizar recursos fósiles.

- **Impulso a la movilidad sostenible e inteligente**

La incorporación de nuevas fuentes de energía como el hidrógeno permite también abrir la posibilidad de **nuevas aplicaciones para la descarbonización de la movilidad**. A partir de hidrógeno verde y de CO₂ capturado, puede obtenerse **metanol y combustibles sintéticos**, que serán utilizados en reemplazo de los combustibles fósiles tradicionales; por lo tanto, la movilidad sostenible dejaría de depender exclusivamente de la electrificación de flotas.

En el caso del proyecto H2 Magallanes antes mencionado, se ha validado la producción de estos combustibles sintéticos, testeados en vehículos de Porsche, uno de los partners involucrados en el proyecto¹⁹⁸.

7.7.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

Tratándose de una cadena de valor enfocada en la generación de energía, el dominio tecnológico identificado como respuesta a los factores de cambio es el de Tecnologías de la Energía.

- **Tecnologías de la Energía**

- a. **Tecnologías de generación de energía limpia**

En el marco de la transición energética, la Agencia Internacional de la Energía menciona la importancia del financiamiento y apoyo internacional para alinear las matrices energéticas de los países con la transición a una industria “cero emisiones”¹⁹⁶. De allí que se destaque el **compromiso de desembolsar 350 millones de dólares por parte del Banco Mundial en Chile**⁹⁷, **con el objetivo de desarrollar infraestructura y proyectos ligados al hidrógeno verde**.

Como se ha mencionado previamente, el hidrógeno verde es la tecnología elegida por Chile para liderar la transición hacia una energía basada en fuentes sostenibles. El proyecto **H2 Magallanes** es el piloto que permitirá validar las capacidades de Chile en generación de hidrógeno verde y de combustibles sintéticos derivados.

¹⁹⁷ IAEA (2023). *Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050*. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-1-43_web.pdf

¹⁹⁸ Porsche (2022). *eFuels pilot plant in Chile officially opened*. <https://newsroom.porsche.com/en/2022/company/porsche-highly-innovative-fuels-hif-opening-efuels-pilot-plant-haru-oni-chile-synthetic-fuels-30732.html>

Esta producción de hidrógeno verde podría extenderse al sector de petróleo y gas, que en sus refinerías precisa de hidrógeno para diversos procesos; no obstante, este hidrógeno no es verde, ya que no se produce a partir de energías renovables y es intensivo en emisiones de CO₂. Por lo tanto, migrar hacia una producción de hidrógeno verde propiciaría la descarbonización de este sector y requeriría del aprovisionamiento de energía de fuentes renovables y de la inversión en electrolizadores para producir el hidrógeno.

b. Captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS)

La **industria del petróleo y el gas** participa en el 90% de proyectos vinculados a CCUS en todo el mundo. Es una alternativa para la reducción de emisiones en las operaciones *downstream*, es decir, una vez que se cuenta con el crudo extraído y procesado (ya que en Chile se importa en su gran mayoría). La refinación del crudo representa un 34% de las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero); para contrarrestar estos elevados niveles, se realiza la captura del dióxido de carbono (CO₂) de los gases de combustión de los procesos de refinación mediante una variedad de métodos, como la absorción con aminas, la absorción con solventes físicos y la adsorción con materiales sólidos.

Una **alternativa de aplicación** es la que se va a testear en Magallanes, dirigido a **capturar CO₂ directamente del aire (tecnología DAC**, por sus siglas en inglés) para su posterior reacción con hidrógeno y la resultante obtención de metanol. Esto amplía el abanico de posibilidades de captura de carbono, dado que no dependería de los efluentes de un proceso productivo, sino que podría obtenerse a través del aire.

Por último, y dado el peso de la **energía generada a partir de biomasa en la matriz energética chilena, cabe destacar la potencial captura del CO₂** emitido durante el proceso de generación y su posterior almacenamiento. Se trata de una variante del CCUS, denominada BECCS (Bioenergía con Captura y Almacenamiento de Carbono).

c. Energía nuclear

La **energía nuclear** puede ser una **alternativa para la generación de hidrógeno** (en este caso, el producto se conoce como “hidrógeno rosa”) y para el escalado de los proyectos. Según un informe de la Agencia de Energía Nuclear¹⁹⁹, el costo del hidrógeno procedente de reactores nucleares es similar al costo del hidrógeno procedente de las energías renovables intermitentes (solar y eólica) en la mayoría de los lugares del mundo. Esto es de especial interés para el sector industrial que, en caso de requerir suministro de hidrógeno, lo haría en cantidades elevadas y necesitaría fiabilidad en su aprovisionamiento; este es el caso de las refinerías, como se mencionó anteriormente.

d. Bioenergía

Chile cuenta con un **punto de partida** muy positivo para la transición energética, a partir de una **base de utilización de biomasa** (madera, principalmente) para la generación de energía. Sin embargo, el escenario de cero emisiones (NZE, por sus siglas en inglés) que **plantea la Agencia Internacional de la Energía como ideal para 2030, promueve la utilización de biomasa obtenida como subproducto o desecho de otros procesos.**

Por lo tanto, Chile debería promover la utilización de madera, leña u otros tipos de biomasa que no sean específicamente producidos para utilizarse como combustible. Chile cuenta con capacidad de producir bioenergía de otras fuentes, como el licor negro subproducto de la industria de pulpa y papel, que es utilizado como fuente de energía en las mismas plantas papeleras.

¹⁹⁹ NEA (2022), *The Role of Nuclear Power in the Hydrogen Economy*, OECD Publishing, Paris. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_73133/the-role-of-nuclear-power-in-the-hydrogen-economy



7.8 Servicios empresariales

Este último segmento agrupa a aquellos servicios de soporte al resto de las cadenas de valor productivas. Se trata de servicios empresariales que cada vez tienen más importancia en el desarrollo económico y productivo.

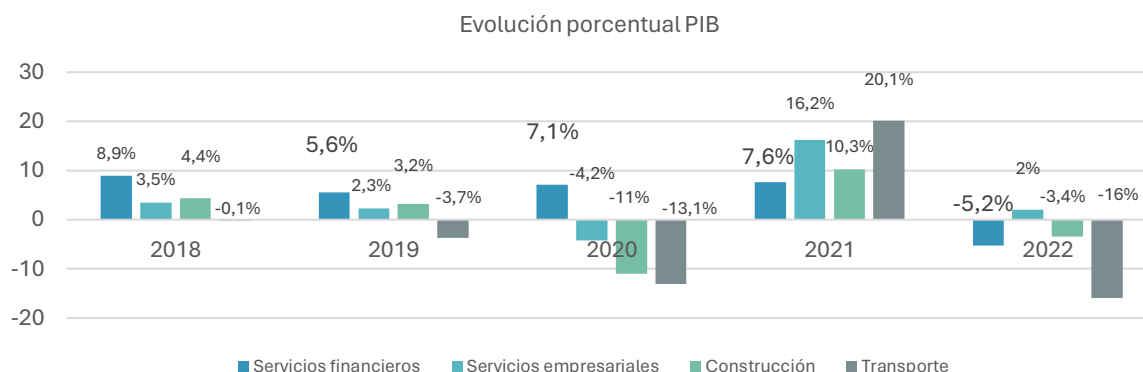


7.8.1 Análisis de la cadena de valor

- Una cadena de valor conformada por eslabones que dan soporte al resto de cadenas de valor. Por ello, **esta cadena no tiene una estructura de flujo**, sino que cada **eslabón** opera de forma **independiente** y tienen en común la **prestación de servicios** de valor para la **economía chilena**.
 - Logística**: los servicios logísticos incluyen todas las actividades para asegurar el almacenamiento y transporte de distintos tipos de productos, desde los centros productivos a los centros de consumo. Para ello, los principales insumos de los que hace uso son los combustibles para la operación de vehículos y distintos equipos de manipulación de materiales; energía para la operación de los centros de almacenamiento; embalajes para la integración de productos; e infraestructura como almacenes. El resultado de este servicio es la entrega de productos a clientes en tiempo, forma, lugar y condiciones pactadas.
 - Contabilidad y finanzas**: los principales insumos para estos servicios son la energía y la infraestructura de conectividad que permiten la operación de computadores para la preparación de informes, realización de transacciones financieras, seguimiento de operaciones, etc.
 - Consultoría y servicios ligados a las tecnologías de información**: una vez más, la conectividad y el suministro de energía permiten el desarrollo de este tipo de servicios.
 - Ingeniería, construcción y arquitectura**: implican la planificación, diseño, construcción y gestión de proyectos relacionados con infraestructuras y edificaciones. Los insumos requeridos para ello incluyen el suministro de energía para el desarrollo de la actividad, combustibles para la operación de equipos de construcción y el suministro de materiales de construcción.
- La cuenta de **Servicios Empresariales** del **PIB** tiene un peso de **9,1%** en la economía chilena, según datos de 2022. El Banco Central indica que esta cuenta incluye servicios profesionales, científicos y técnicos, así como también, de apoyo y administrativos; esto incluye principalmente

al eslabón definido como “**Consultoría y servicios ligados a las tecnologías de la información**”, en la **cadena de valor** establecida.

- Cabe destacar, asimismo, otras cuentas del PIB incluidas como servicios empresariales; estas son la **Construcción (5,9% del PIB en 2022 y asociada al eslabón definido como “Ingeniería, construcción y arquitectura”)**, **Transporte (4,5% del PIB y vinculado al eslabón de “Logística”)** y los **Servicios Financieros (3% del PIB y asociado al eslabón de “Contabilidad y finanzas”)**. Así, **se totaliza una contribución del 22,5% del PIB**.
- La **evolución** de estas cuentas del **PIB** en los **últimos 5 años** muestra la volatilidad de los sectores de servicios en función de las condiciones de coyuntura; p.ej. en 2020 se aprecia una caída general por el parón económico que implicó la pandemia.



Fuente: Estadísticas de Cuentas Nacionales – Banco Central Chile

- Desde un punto de vista de **Valor Agregado**, la contribución de los servicios empresariales también es sustancial. La cuenta de **Servicios Empresariales (“Consultoría y servicios ligados a las tecnologías de la información”)** representa un **9,5%** del valor agregado, la **Construcción (“Ingeniería, construcción y arquitectura”)** un **6,6%**, el **Transporte (“Logística”)** un **5,3%** y los **Servicios Financieros (“Contabilidad y finanzas”)** un **3,9%**; esto totaliza un **25% del valor agregado de la economía chilena**.
- Por lo tanto, el eslabón de “**Consultoría y servicios ligados a las tecnologías de información**” es el que **genera mayor valor a nivel de servicios** en el país, y esto se ratifica al analizar los valores de **Inversión Extranjera Directa** aportados por el Banco Central e Invest Chile¹⁹⁵. Se reportan **218 proyectos de inversión extranjera** por un total de **USD 7.070 millones**, solo superados en volumen de inversión por el sector energético. Chile se ha transformado en un **hub digital** dentro de **América Latina**, con la presencia de Microsoft, Google, AWS y Oracle, que han instalado en el país sus Data Centres o Clouds regionales.
- Las **razones de este auge** en la concentración de la actividad de servicios IT y del establecimiento de Data Centres internacionales son, de acuerdo a Invest Chile, la **excelente conectividad** con el mundo a través de su **red de 5G y red de fibra óptica**, además de la conexión directa con Estados Unidos y próximamente con Asia a través del **cable transoceánico Humboldt**. Además, se destaca la creciente disponibilidad de **energía de origen renovable**, valorado positivamente por empresas e inversores.
- Los datos de exportación de servicios⁸⁸ también indican el predominio de “**Consultoría y servicios ligados a las tecnologías de la información**”, con un **48%** de las **exportaciones**.
- Por último, se sintetiza en la siguiente tabla la **situación actual** de la cadena de valor, en términos económicos.

Cadena de valor	%PIB	%Valor Agregado	%Export. Servicios IT	Nº proyectos de IED	Cartera IED
Servicios	22,5%	25%	48%	218	USD 7.070 millones

Fuente: Banco Central e Invest Chile (2023)

7.8.2 Factores de cambio global asociados y su impacto en Chile

Los factores de cambio asociados a estos servicios transversales son:

- **Impulso a la movilidad sostenible e inteligente**

La logística y transporte de mercancías depende de distintos medios de transporte para asegurar el suministro de productos en tiempo y forma. Tradicionalmente, la directriz que guiaba la operación logística era de minimizar los tiempos de entrega de productos, asegurando la calidad de los productos enviados. Sin embargo, en los últimos tiempos **se ha incrementado la demanda de entregas sostenibles**, es decir, un equilibrio entre la conveniencia y un bajo impacto en el medio ambiente²⁰⁰; de allí toman importancia los medios de transporte sostenibles. Esto involucra también al sector de transporte y logística marítimo; en Chile, la **Agencia de Sustentabilidad y Cambio Climático (ASCC) impulsó los Acuerdos de Producción Limpia (APL)**, convenios voluntarios que buscan el desarrollo de terminales sustentables y comprometidos con el medio ambiente, por medio de la legitimación de la actividad logística portuaria. El sector logístico y portuario de Chile ha suscrito a 6 APL.

- **Estándares para reducir el uso de plástico**

A partir de las exigencias que están estableciendo los países y el interés de los consumidores finales por reducir el consumo de plástico, las cadenas de suministro globales comienzan a tener en cuenta el reciclaje del packaging de plástico. En Chile, la **Ley 21.368 regula y limita la entrega de plásticos de un solo uso y botellas plásticas**, lo que afecta a las cadenas de suministros vinculadas y obliga a establecer mecanismos de reutilización de los envases comercializados²⁰¹.

- **Gobernanza social y ambiental (ESG)**

El **sector de servicios financieros** tiene la oportunidad de **catalizar y acelerar la transición hacia una nueva economía**, basada en ecosistemas que satisfagan las necesidades y deseos humanos fundamentales, al tiempo que aborden los urgentes retos sociales que exigen nuevas soluciones²⁰². Las finanzas sostenibles implican tener debidamente en cuenta las consideraciones medioambientales, sociales y de gobernanza (ESG) a la hora de tomar decisiones de inversión, lo que conduce a un aumento de las inversiones a largo plazo en actividades y proyectos económicos sostenibles²⁰³.

- **Pérdida de biodiversidad y colapso de los ecosistemas**

La **Agencia Internacional de la Energía** indica que **los edificios representan el 30% del consumo mundial de energía y el 26% de las emisiones mundiales relacionadas con la energía**²⁰⁴. Asimismo, el avance de la construcción provoca la pérdida de biodiversidad y la urbanización de terrenos naturales, sin medidas de mitigación.

Ante eso, surgen buenas prácticas de ingeniería y construcción sostenible y se incrementa la utilización de materiales más eficientes para propiciar la neutralidad de las construcciones. Estrategias como la reducción del carbono incorporado en los materiales de construcción, los principios de diseño pasivo y el uso de equipos energéticamente eficientes pueden acelerar la

²⁰⁰ DHL (2023). *Logistics and delivery trends for 2023*. <https://www.dhl.com/discover/en-us/global-logistics-advice/logistics-insights/logistics-and-delivery-trends-2023>

²⁰¹ Ministerio del Medio Ambiente (2022). *Entra en vigencia Ley de Plásticos de un solo uso*. <https://mma.gob.cl/entra-en-vigencia-ley-de-plasticos-de-un-solo-uso/>

²⁰² Deloitte (2021). *How financial services can use ESG initiatives to help build a brighter future for all*. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/financial-services/articles/esg-in-financial-services-industry.html>

²⁰³ Banco Mundial (2021). *Sustainable Finance*. <https://www.worldbank.org/en/topic/financialsector/brief/sustainable-finance>

²⁰⁴ IEA (2023). *Buildings*. <https://www.iea.org/energy-system/buildings>

descarbonización al minimizar las emisiones totales de CO₂ asociadas tanto a la construcción como al funcionamiento de un edificio²⁰⁵.

Chile cuenta con el **Green Building Council (Chile GBC)** que promueve la adopción de prácticas de construcción sustentable y la difusión de sistemas de certificación en el país. Portal Verde es la plataforma perteneciente a Chile Green Building Council, que alberga los principales portafolios de educación e información técnica y comercial relacionados con Construcción Sustentable en Chile²⁰⁶. Asociado a ello, existe el **Portal de Profesionales Chile GBC** una plataforma única que tiene como objetivo el ser un directorio con información verificada, validada y vigente de profesionales relacionados con Edificación Sustentable y que posean acreditaciones o certificaciones nacionales y/o internacionales²⁰⁷.

Por otro lado, se diseñó una “**Estrategia de Economía Circular en Construcción**”, lanzada por la Cámara Chilena de la Construcción (CChC), el Instituto de la Construcción (IC) y Construye2025, cuyo objetivo es tener una postura proactiva por parte de la industria ante la irrupción de la temática en la agenda sectorial y nacional, y ante las oportunidades de desarrollo sostenible, negocio, innovación y productividad, identificadas en torno a la Economía Circular²⁰⁸.

7.8.3 Dominios Tecnológicos para el Desarrollo Productivo Sostenible en el sector

Las tecnologías vinculadas a los servicios que promueven el desarrollo productivo sostenible son, en especial, aquellas vinculadas con la logística y con los servicios de ingeniería, construcción y arquitectura. Surgen, por un lado, de una mayor conciencia de los consumidores por el impacto que las actividades de transporte y logística tienen sobre su entorno, y por la creciente evidencia del impacto de las construcciones en la huella de carbono de las ciudades.

- **Inteligencia Artificial; y Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**

A nivel de servicios logísticos, la integración de sensores permite monitorear en tiempo real los niveles de inventario en almacenes y minimizar pérdidas. La IA aporta el componente predictivo para anticiparse a posibles faltantes en stock y evitar incumplimientos en pedidos con cliente; asimismo, permite estimar necesidades de capacidad y niveles de demanda a futuro. En Chile, cabe destacar el surgimiento de **startups como Tet4D y SimpliRoute**, que utilizan la **IA para optimizar procesos logísticos y otras que desarrollan software para la gestión y monitoreo, como Tranciti**.

- **Robótica y Sistemas Autónomos**

En el eslabón de servicios logísticos, los sistemas autónomos tienen cada vez mayor relevancia al permitir maximizar la eficiencia de las operaciones, reducir errores y reprocesos, y sustituir a las personas en entornos peligrosos, en el manejo de cargas excesivas y en tareas repetitivas o monótonas²⁰⁹. En general, las **primeras empresas en implementar la automatización de almacenes e instalaciones son los grandes grupos multinacionales** que cuentan con capital para invertir en flotas de robots y sistemas de automatización a gran escala. Así se ha dado en **Chile**, donde **Walmart ha implementado por primera vez un sistema Goods-to-Person**, el que utilizará 16 robots autónomos para eliminar el desplazamiento redundante de los trabajadores, mejorar la precisión del picking y reducir la intensidad del trabajo, todo ello

²⁰⁵ Larry Strain (2023). *10 steps to reducing embodied carbon*. <https://www.aia.org/articles/70446-ten-steps-to-reducing-embodied-carbon>

²⁰⁶ Chile GBC (2023). Portal Verde. <https://portalverde.chilegbc.cl/>

²⁰⁷ Chile GBC (2023). Portal de Profesionales Chile GBC. <https://www.chilegbc.cl/profesionales/>

²⁰⁸ CDT (2023). *Estrategia de Economía Circular en Construcción*. <https://www.economicircularconstruccion.cl/>

²⁰⁹ Deloitte (2017). *Using autonomous robots to drive supply chain innovation*.

<https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/autonomous-robots-supply-chain-innovation.html>

impulsado por inteligencia artificial, lo que representará un aumento de productividad del 400%, sólo en su primera etapa²¹⁰.

- **Tecnologías de la Energía**

Los servicios de construcción, ingeniería y arquitectura promueven la utilización de materiales y técnicas que permitan diseños e instalaciones más eficientes, que consumen menos energía y reducen las emisiones de GEI asociados a la construcción. Por ejemplo, **limitar la utilización de materiales intensivos en carbono, como el aluminio, los plásticos y la espuma aislante; incorporar estructuras de madera y otros elementos cuya obtención sea menos perjudicial con el medio ambiente; así como reutilizar y reciclar materiales.**

Chile cuenta con varios **casos de éxito** en el impulso de la construcción sostenible y el desarrollo de nuevas tecnologías y soluciones que promueven un menor consumo energético y la reutilización de materiales, como:

- **Dexfloor:** una losa plástica modular de alta resistencia, reutilizable y para aplicación industrial.
- **Green Dots:** gestión de residuos de las empresas de la construcción de manera eficiente, reutilizando estos descartables como materias primas tratadas para el desarrollo de productos sustentables, como pinturas y revestimientos sustentables.
- **Ecofibra:** empresa que transforma desechos textiles en paneles de aislación térmica y acústica.

- **El rol transversal del ecosistema financiero**

Los informes de prospectiva destacan el **rol de los servicios financieros** como **aceleradores del desarrollo de soluciones tecnológicas** para abordar cada uno de los retos identificados a partir de los factores de cambio²⁰².

²¹⁰ MasContainer (2023). *Los robots que podrían cuadruplicar operación logística en E-Commerce*.
<https://www.mascontainer.com/los-robots-que-podrian-cuadruplicar-operacion-logistica-en-e-commerce/>

8. TRAYECTORIAS TECNOLÓGICAS PARA LA RESILIENCIA EN CHILE

En este capítulo se identifican las principales **trayectorias tecnológicas** que permiten abordar las oportunidades y amenazas que implican los factores de cambio para cada una de las **cadena de valor** establecidas. Estas trayectorias surgen de asociar las **capacidades y fortalezas detectadas en Chile**, con las **oportunidades identificadas** a partir de avances que se dan a nivel internacional.

8.1 Minería

Chile cuenta con una oportunidad por la creciente **demanda global de minerales**, para lo que debe **incrementar su producción** minera. Los desafíos que afronta son la **escasez hídrica**, la necesidad de **reducir emisiones** en la cadena de valor, la necesidad de un **compromiso de las empresas** con las comunidades donde se desarrollan los proyectos.

	Capacidades existentes	Trayectorias tecnológicas identificadas
Minería	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Capacidad de extracción de litio: principalmente en forma de carbonato de litio. ▪ Plantas desalinizadoras vinculadas a proyectos mineros que aseguran el suministro hídrico. ▪ Existencia del SERNAGEOMIN, como base de datos geológica para el monitoreo del cumplimiento de normativa. ▪ Estrategia Nacional de Hidrógeno y compromiso del Banco Mundial de apoyar el desarrollo de hidrógeno en Chile. ▪ Creciente utilización de energía de fuentes renovables en el sector minero. ▪ Iniciativas puntuales de empresas para implementar la IA en minería. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impulso al valor agregado del litio: a través de la fabricación de baterías y componentes en el país, para impulsar exportaciones de mayor valor agregado. ▪ Propiciar la utilización de nuevas tecnologías de desalinización: como la energía nuclear, que asegura un suministro continuo de energía. ▪ Evolución de la matriz energética minera: eliminando progresivamente el uso de combustibles fósiles. El impulso del hidrógeno y los combustibles sintéticos derivados (como el metanol) puede ser una de las alternativas más adecuadas. ▪ Impulso de la inteligencia artificial para monitoreo de la actividad minera: es adecuado impulsar la colaboración con las grandes empresas del sector, que son quienes han impulsado los proyectos existentes hasta el momento. ▪ Promover el desarrollo de cadenas de valor asociadas a minerales cuya extracción y/o utilización es más perjudicial para el medio ambiente: promoviendo la adaptación de productos y procesos de sectores que utilizan minerales como materias primas o insumos. Por ejemplo, en la industria siderúrgica existen iniciativas a nivel mundial para reemplazar el uso de mineral de carbón que se alimenta en los altos hornos para producir acero, por hierro de reducción directa. La investigación y desarrollo de este tipo de alternativas se traducirá al sector en minero en una demanda menor de los minerales más contaminantes.

8.2 Actividad agrícola y frutícola

Las actividades agrícola y frutícola tienen un **importante peso** en la **economía chilena** pero se enfrentan, en la actualidad, a una serie de **desafíos** entre los que destaca el **cambio climático** y sus consecuencias a nivel de **sequías** y otros **desastres naturales**. Para mantener el crecimiento del sector en un marco de sostenibilidad de los recursos naturales en el tiempo, se detectan posibles trayectorias a través de la **tecnificación de la actividad productiva**, la **implementación de la economía circular** a través de la producción de **biogás** y el aprovechamiento de los **avances en inteligencia artificial**.

	Trayectorias tecnológicas identificadas
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Actividad agrícola y frutícola</p> <p>Capacidades existentes</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Utilización de drones para monitoreo de cultivos. ▪ Líder en desarrollo de semillas transgénicas. ▪ Existencia de la Plataforma Agrícola Satelital (PLAS) de Chile y del Mapa Dinámico de Evapotranspiración de Referencia. ▪ Ley 21.368: regulación existente en Chile que limita el uso de plásticos de un solo uso, promoviendo servicios de logística y gestión de cadenas de suministro sostenibles. ▪ Iniciativas de IA incipientes, como los proyectos liderados por el CENIA. ▪ Plataforma Smartfield del INIA para promover tecnificación del agro. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Extender las iniciativas de agricultura de precisión más allá de la utilización de drones: esto incluye la incorporación de sensores y dispositivos para el monitoreo de cultivos en tiempo real y la ejecución de tareas de una manera más eficiente. ▪ Integración de la energía solar fotovoltaica: bajo el concepto de “agrivoltaics”, se promueve la práctica de cultivar bajo paneles solares. Utiliza el espacio sombreado bajo los paneles solares para cultivar, evitando la exposición de los cultivos a la luz solar y promueve un uso más eficiente del suelo. El testeado de esta modalidad productiva para el brócoli en Corea del Sur permitió comprobar que la calidad del cultivo se mantenía en niveles similares al cultivo tradicional²¹¹. ▪ Producción de biogás: aprovechando los residuos de la industria agrícola se puede producir biogás. Esto lleva asociada una necesidad de investigación y desarrollo para el diseño e ingeniería de biodigestores locales, o de acuerdos internacionales con empresas con trayectoria en el sector. ▪ Producción de fertilizantes: asociado con el punto anterior, el proceso de generación de biogás genera digestatos, que pueden utilizarse para mejorar la salud del suelo y los rendimientos de los cultivos. ▪ Implementación de mecanismos para reducir el uso de plásticos en la cadena de valor: continuando con los esfuerzos que el país está realizando para disminuir la proporción de plásticos en los productos de consumo. ▪ Promover nuevos proyectos para implementar soluciones basadas en IA: a través de instancias donde se planteen desafíos que enfrenta el agro y para los que la IA pueda dar respuesta; p.ej. la predicción de variables ligadas a escasez hídrica y condiciones climáticas, que afectan a la producción.

²¹¹ WEF (2022). *Can crops grow better under solar panels? Here's all you need to know about 'agrivoltaic farming'*. <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/agrivoltaic-farming-solar-energy/>

8.3 Actividad forestal e industria del papel

La cadena de valor de **actividad forestal y procesamiento de pulpa y papel** tiene un importante **impacto en el medio ambiente** y en las **comunidades** donde las empresas operan. En Chile, organismos como la CONAF promueven una **actividad forestal sostenible**, con una serie de regulaciones y propuestas para el manejo sostenible de bosques y tierras. Sin embargo, se detectan **mayores brechas** a nivel de **industria de pulpa y papel**, un **sector intensivo en energía y agua**, donde a nivel mundial se están buscando alternativas en procesos y generación de energía para minimizar su impacto; en este eslabón es donde surgen las principales trayectorias tecnológicas.

	Capacidades existentes	Trayectorias tecnológicas identificadas
Actividad forestal e industria del papel	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Contribución de emisiones negativas (sumidero) de CO₂. ▪ Cuenta con la Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales de Chile. ▪ Ley Nº 20.283 que obliga a elaborar un plan de manejo con la CONAF ante cada acción de corta de bosque nativo. ▪ Existencia del Sistema Integrado de Monitoreo de Exosistemas Forestales Nativos de Chile. ▪ Iniciativas puntuales de IA vinculada a la industria forestal (impulsadas por organismos como la CONAF). ▪ No se detectan capacidades locales en cuanto a soluciones para minimizar el impacto de la actividad de producción de pulpa y papel. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Necesidad de investigación y desarrollo de soluciones para la gestión de los desechos de la industria de pulpa y papel: a nivel industrial, para la gestión de los lodos generados en las papeleras y, a nivel de consumo, para la gestión de los desechos de papel y cartón. ▪ Necesidad de investigación y desarrollo de nuevas soluciones para reducir el consumo de agua y energía en la industria de pulpa y papel: siendo una industria altamente intensiva en ambos recursos. En otros territorios se están destinando muchos recursos para desarrollar e integrar soluciones nuevas que den respuesta a este desarrollo, como indica la IEA¹²⁵. En estos dos primeros apartados, se habla de investigación y desarrollo por el escaso nivel de desarrollo de soluciones para la industria de la pulpa y papel. ▪ Desarrollo de nuevas alternativas para generación de calor: para reducir la utilización de combustibles fósiles. A nivel global, se opta por la utilización de bombas de calor. ▪ Captura, utilización y almacenamiento de carbono: se requiere fomentar la implementación de tecnologías para la captura de CO₂ adaptado a la industria papelera y, asimismo, establecer incentivos para su implementación (ya que implican un costo adicional para las empresas).

8.4 Pesca y acuicultura

Como en otros sectores, la pesca y acuicultura de Chile han incorporado **mejoras e innovación basada en tecnología a partir de iniciativas puntuales**, pero se detecta la necesidad de **establecer lineamientos claros** en cuanto a los avances que serían claves para propiciar la competitividad del sector. Entre las principales trayectorias identificadas se encuentra la posibilidad de avanzar en la **automatización de la pesca**, la **mejora de comunicaciones** y la **implementación de soluciones basadas en inteligencia artificial**.

	Trayectorias tecnológicas identificadas
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Pesca y Acuicultura</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Modelos de economía circular desarrollados en el ámbito de la pesca. ▪ Existencia de un plan de acción para minimizar desperdicios de pesca en caletas. ▪ Existencia de un Comité de Gestión de Riesgo de Desastres para anticiparse al fenómeno de El Niño. ▪ Desarrollos tecnológicos puntuales para automatizar la actividad, como el robot Kraken desarrollado por Tech Stream y el robot submarino impulsado por la SERNAPESCA. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Robótica y sistemas autónomos para la pesca: solo se han detectado desarrollos puntuales como el de Tech Stream con su robot Kraken. Para sistematizar este tipo de avances y extender los beneficios a toda la industria pesquera y acuícola, se requieren mayores esfuerzos en I+D. P.ej., Japón lanzó el programa “Blue Growth” para financiar el desarrollo de robots para la pesca, con la participación de grandes empresas como Mitsubishi Heavy Industries. Los avances que se buscan alcanzar tienen que ver con robots submarinos que capturen peces de forma autónoma, o sistemas de navegación autónoma para barcos pesqueros, entre otros. ▪ Biotecnologías: se han detectado esfuerzos por avanzar en investigación en genómica e inmunología de peces, con acuerdos como el de la Universidad Católica de Valparaíso y su contraparte sueca. El desafío está en trasladar estos desarrollos a soluciones concretas para la industria, que permitan desarrollar una actividad sostenible en el tiempo. ▪ Comunicaciones y conectividad: el sector requiere de avances en sistemas de comunicaciones que permitan proporcionar una cobertura fiable en las zonas remotas donde operan los barcos. Por el momento, la tecnología más avanzada que se utiliza es extranjera, de la empresa española Satlink, que provee su sistema de localización de embarcaciones²¹². ▪ Inteligencia artificial: los proyectos de implementación de IA en la industria pesquero-acuícola son incipientes y solo se han dado casos puntuales como el mencionado caso de Camanchaca y su proyecto con Altum Lab para implementar analítica de datos avanzada; dado que esta colaboración surgió de un proyecto de innovación abierta lanzado desde el sector público, puede ser importante replicar estas instancias buscando dar respuesta a desafíos del sector con el amplio espectro de soluciones que aporta la IA.

²¹² Industrias Pesqueras (2023). *Satlink, autorizada por la Armada de Chile a suministrar su sistema VMS a la flota pesquera del país*. <https://industriaspesqueras.com/noticia-75839-sec-portada>

8.5 Elaboración de vino

Ante los **fenómenos climáticos y ambientales** que afronta la cadena de valor del vino, se requiere del **uso de tecnología** que permita **predecir su impacto** y **anticiparse a sus consecuencias**, para mantenerse competitivos internacionalmente. La IA tiene un importante papel, ya que muchos de los desafíos requieren de la obtención de datos y la generación de mecanismos de adaptabilidad frente a fenómenos de impacto variable; estas soluciones suelen ser el **resultado de un trabajo de I+D**, y, en general, surgen de **centros de investigación o empresas de base tecnológica**.

	Capacidades existentes	Trayectorias tecnológicas identificadas
Elaboración de Vinos	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Economía circular: la industria vitivinícola chilena se encuentra alineada a las nuevas tendencias de packaging para el vino, como el bag-in-box. ▪ Presencia de centros de investigación de carácter público y privado: a nivel privado, destaca el Centro de Innovación CII de la bodega Concha y Toro. ▪ Actividad de I+D para la automatización del cultivo de vid: se destaca el proyecto de sistema teleoperado desarrollado por la Universidad de Concepción. ▪ Existencia del Sistema de Información Integral del Riego: plataforma diseñada por la Comisión Nacional de Riego. ▪ Avances en iniciativas de mejora de eficiencia energética: a nivel de bodegas y para el procesamiento de vinos, se detectan avances en equipos más eficientes y suministro de energía de fuentes limpias. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuevos desarrollos en economía circular: más allá de los avances existentes, la evidencia internacional reporta la necesidad de nuevas formas de packaging para reemplazar el vidrio, cuya producción es intensiva en energía. No solo por cuestiones de sostenibilidad, sino por el costo creciente del suministro de energía, que luego se traslada a precio del producto final. ▪ Nuevos sistemas de riego y respuesta ante desastres climáticos: los incendios y sequías que han afectado recientemente a las regiones dedicadas a la viticultura disparan la necesidad de impulsar desarrollos tecnológicos que permitan anticipar estos fenómenos. En este sentido, las principales soluciones tienen que ver con tecnología de monitoreo, como la desarrollada por el centro de investigación de la bodega Concha y Toro. ▪ Generación de energía de fuentes renovables: una tendencia a nivel mundial en la industria es la migración hacia un suministro de energía de fuentes limpias. En muchas bodegas chilenas ya se está utilizando la energía solar fotovoltaica, pero también puede ser relevante su incorporación a nivel de viñedo, para suministrar la energía necesaria para el riego y otros procesos; esto va de la mano con una visión de automatización del cultivo de vid, donde los equipos autónomos requerirían de fuentes de energía para su recarga. Un ejemplo de vehículos autónomos para la viticultura es el robot "Ted" desarrollado por la empresa francesa Naio²¹³.

²¹³ Naio Technologies (2023). *Ted robot*. <https://www.naio-technologies.com/en/ted/>

8.6 Suministro de energía eléctrica

Chile ha avanzado progresivamente en iniciativas de **acceso universal a la energía eléctrica**. Asimismo, con el objetivo de posicionarse en nuevos segmentos productivos como la **movilidad sostenible** y la **producción de hidrógeno verde** requieren una **adaptación y mejora de las redes de transmisión y distribución**, así como el **desarrollo de infraestructura** (por ejemplo, electrolizadores y redes de recarga de vehículos eléctricos).

	Capacidades existentes	Trayectorias tecnológicas identificadas
Suministro de Energía Eléctrica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Iniciativas para promover el acceso a energía eléctrica en todo el país: Iniciativas como la Ruta de la Luz y la Política Energética Nacional buscan reducir las brechas de acceso y promover el acceso universal a energía eléctrica. ▪ Estrategia e iniciativas para promover las energías limpias y la producción de hidrógeno: el país ha dado importantes pasos en la generación de energía eléctrica de fuentes limpias y cuenta con una estrategia y proyectos piloto para la generación de hidrógeno. ▪ Promoción de la movilidad sostenible: la Agenda de Energía 2022-2026 impulsa la movilidad eléctrica e inteligente. ▪ Existencia de datos sobre estado y fiabilidad de las redes de suministro: Chile es uno de los países que cuenta con evidencia y trazabilidad sobre su sistema de suministro eléctrico, un importante punto de partida para su optimización. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Desarrollo de una red de recarga de vehículos eléctricos: uno de los grandes desafíos de la electromovilidad en Chile es el desarrollo de una red de recarga de vehículos. Para ello, se debe definir si el crecimiento de esta red estará basado en nueva tecnología desarrollada por agentes locales o si se establecerán acuerdos con empresas internacionales para incorporar tecnología de recarga existente. ▪ Impulso de la energía nuclear: a partir del suministro fiable que asegura la energía nuclear, es oportuno propiciar el desarrollo de I+D en Chile y avanzar en acuerdos con naciones avanzadas en conocimiento en el sector. A nivel regional, Brasil y Argentina son referentes; asimismo, estos países se encuentran avanzando en tecnologías de vanguardia como los reactores modulares, que permitirán acceder a energía nuclear sin tener que incurrir en grandes inversiones. ▪ Escalado de los proyectos de generación de hidrógeno: como se ha mencionado en otros apartados, el hidrógeno verde permitirá complementar las acciones de electrificación, para dar uso a los excesos de generación de energía solar y eólica. Chile debe definir cómo se implementará la incorporación de electrolizadores, claves para la generación de hidrógeno a partir de renovables. Air Liquide firmó un acuerdo en 2022 con EDF Renewables para el desarrollo de electrolizadores²¹⁴, y Corfo lanzó en 2023 una solicitud de propuestas a empresas que propongan soluciones para el desarrollo de electrolizadores²¹⁵. Sin embargo, no se detectan iniciativas significativas para impulsar el I+D y generación de conocimiento endógeno en materia de hidrógeno. ▪ Inteligencia artificial: continuar con el apoyo a proyectos de predicción de comportamiento del SEN (Sistema Eléctrico Nacional) ante la creciente incorporación de energía de origen renovable, que podría llevar al colapso del sistema.

²¹⁴ Reporte Minero (2022). *Electrolizador de hidrógeno renovable se desarrollará en Chile*. <https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2022/08/electrolizador-hidrogeno-renovable-desarrollara-chile#:~:text=Gran%20electrolizador%20de%20hidr%C3%B3geno%20renovable%20se%20desarrollar%C3%A1%20en,de%20los%20sectores%20industrial%20y%2C%20eventualmente%2C%20de%20movilidad>.

²¹⁵ Cooperativa Ciencia (2023). *Nueve interesados en producir en Chile electrolizadores*. <https://www.cooperativaciencia.cl/tecnologia/2023/07/17/nueve-interesados-en-producir-en-chile-electrolizadores/>

8.7 Generación de otras formas de energía

Chile tiene potencial de **ampliar y diversificar la generación de energía**, a partir de la **cadena de valor del hidrógeno y sus productos derivados**, aprovechando las capacidades existentes como la presencia de **biomasa en la matriz energética primaria**. Los desafíos de escalado de tecnologías sostenibles deben orientarse a **disminuir la presencia del carbón y recursos fósiles** en la matriz energética, en búsqueda de consolidar una matriz sostenible.

	Trayectorias tecnológicas identificadas
<p style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg);">Generación de otras formas de energía</p> <p>Capacidades existentes</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Biomasa como fuente sostenible de generación de energía: la biomasa de origen forestal representa un 23% de la oferta en la matriz energética primaria chilena. ▪ Existencia de reactores de investigación nuclear: pueden facilitar la implementación de proyectos de generación de energía nuclear. ▪ Proyecto piloto de validación de la generación de hidrógeno y combustibles sintéticos en Magallanes. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impulso de la energía nuclear: a diferencia de lo mencionado en la sección anterior, en este caso la referencia a la energía nuclear viene asociada a su aporte en la generación de energía distinta a la energía eléctrica. Una vez más, se recomienda el avance en la generación de conocimiento y el I+D en Chile para sacar provecho de una forma de energía que carece de la intermitencia de las renovables en el suministro. ▪ Hidrógeno verde: como se mencionara anteriormente, el hidrógeno verde permite utilizar los excesos de suministro de energías renovables y producir combustibles sintéticos para utilizar en vehículos, así como reemplazar el hidrógeno convencional que se utiliza en la industria pesada (refinerías o petroquímica, entre otras). En este sentido, es indispensable lograr el compromiso de estas grandes industrias para su implicación en la adopción del hidrógeno verde, a través de inversiones en Chile alineadas a los proyectos existentes (como H2 Magallanes). ▪ Utilización de metanol como combustible sintético: la evidencia recogida indica que el proyecto piloto en Magallanes ha sido exitoso en la validación de la tecnología de obtención de metanol y combustibles sintéticos. Estos tendrían especial utilidad en Chile para la minería, proveyendo de un combustible sostenible a los camiones y evitando el uso de combustibles fósiles; la electrificación de estos camiones es compleja ya que requieren grandes potencias que los motores eléctricos no pueden alcanzar, por lo que los combustibles sintéticos son una alternativa factible. Se requiere escalar la infraestructura de obtención de combustibles sintéticos e implicar a las mineras en su testeo y utilización en proyectos concretos. ▪ Captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS): a nivel global, es el mecanismo más utilizado por la industria petrolera (particularmente, en refinerías) para mitigar su impacto climático. Dado que la actividad de refinación es liderada por ENAP, se debe impulsar la descarbonización de los procesos desde esta empresa, promoviendo la incorporación de tecnologías de captura de carbono. Puede ser relevante involucrar a las universidades y agentes de I+D locales para desplegar soluciones basadas en tecnología local, aunque la falta de proyectos relacionados con CCUS en Chile puede requerir el desarrollo de alianzas con empresas internacionales.

8.8 Servicios empresariales

Entre los **servicios transversales** destacan los de **logística, construcción e ingeniería** y los **financieros**. En todos los casos se requiere de la definición de **lineamientos a largo plazo** para impulsar el **I+D local** y la **implantación de las soluciones** no solo en grandes empresas, sino también en pequeñas y medianas organizaciones.

	Capacidades existentes	Trayectorias tecnológicas identificadas
Servicios empresariales	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acuerdos de Producción Limpia: promueven el accionar conjunto de empresas para la sostenibilidad en los servicios logísticos. ▪ Existencia de puertos multimodales: el Puerto de Valparaíso es referente a nivel mundial como terminal multimodal que vincula el transporte marítimo, ferroviario y por carretera. Asimismo, el Puerto de Valparaíso destaca por los modelos de innovación abierta desplegados para incorporar soluciones tecnológicas de startups²¹⁶. ▪ Startups vinculadas a servicios logísticos: como sucede a nivel global, en Chile la implementación de mecanismos de IA para optimizar la operación logística es liderada por startups como Tet4D y SimpliRoute. ▪ Ley 21.368: regulación existente en Chile que limita el uso de plásticos de un solo uso, promoviendo servicios de logística y gestión de cadenas de suministro sostenibles. ▪ Red de fibra óptica y de 5G que promueve el establecimiento de Data Centres internacionales. ▪ Green Building Council (GBC): promueve prácticas de construcción, ingeniería y arquitectura sostenible en Chile. ▪ Estrategia de Economía Circular en la Construcción: lanzada por la Cámara Chilena de la Construcción para promover la circularidad en el sector. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Nuevas soluciones tecnológicas: el modelo de innovación abierta y definición de retos asociados a los servicios logísticos podrá propiciar el desarrollo sostenible en el sector. Han surgido proyectos y startups en el sector, pero es necesario un programa marco que promueva la generación continua de soluciones asociados a retos concretos que tenga el sector. ▪ Automatización de servicios logísticos: las soluciones de automatización son, en general, implementadas en primer lugar por grandes grupos empresariales que cuentan con grandes almacenes y capital para la inversión. Sin embargo, es necesario propiciar la implementación de estas soluciones de automatización a pequeña escala a través de proyectos de reingeniería de procesos y facilitando el acceso a tecnologías como robots automáticos (AMR, por sus siglas en inglés). ▪ Construcción sostenible: en Chile ya existen propuestas y proyectos para la disminución del consumo energético en edificios y para una construcción sostenible, sin embargo se trata de iniciativas puntuales y aisladas. Se requiere un marco de actuación que permita sistematizar estos avances; por un lado, a través de I+D en universidades para encontrar nuevas soluciones a estos desafíos y luego facilitando su implementación a gran escala.

²¹⁶ Portal Portuario (2019). *Destacan a Puerto Valparaíso en estudio sobre innovación en América Latina*. <https://portalportuario.cl/destacan-a-puerto-valparaiso-en-estudio-sobre-innovacion-en-america-latina/>

8.9 Trayectorias comunes

Las trayectorias tecnológicas, presentadas por sector, tienen elementos en común y pueden agruparse en cuatro categorías:

- **Trayectorias vinculadas a la Energía:** que buscan asegurar el suministro fiable de energía a la vez que se minimiza el impacto de la generación energética en el medio natural.
- **Trayectorias vinculadas a la Economía Circular:** para hacer un uso más eficiente de los recursos naturales.
- **Trayectorias vinculadas a la Gestión de recursos críticos:** orientadas especialmente al uso de recursos de alta criticidad, como el agua.
- **Trayectorias vinculadas a nuevos productos y procesos:** nuevas soluciones tecnológicas a desafíos que afrontan las cadenas de valor.

Ilustración 5. Vinculación entre trayectorias tecnológicas identificadas

Trayectorias vinculadas a la Energía

- Evolución de la matriz energética minera.
- Integración de energías renovables en el agro y la elaboración de vino.
- Nuevas alternativas para generación de calor en la industria de pulpa y papel.
- Impulso a la energía nuclear.
- Desarrollo de una red de recarga de vehículos eléctricos.
- Escalado de proyectos de generación de hidrógeno verde.
- Metanol como combustible sintético.

Trayectorias vinculadas a la Economía Circular

- Producción de biogás y de fertilizantes a partir de residuos de la agricultura.
- Mecanismos para reducir el uso de plásticos en la cadena de valor alimentaria y agrícola.
- Captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).
- Nuevas formas de packaging para el vino.



Trayectorias vinculadas a la Gestión de recursos críticos

- Nuevas tecnologías de desalinización para obtención de agua.
- Iniciativas de agricultura de precisión.
- Soluciones basadas en IA para la gestión de recursos críticos.
- Nuevas soluciones para reducir consumo de agua y energía en la industria de pulpa y papel.
- Nuevos sistemas de riego para el agro y la viticultura.
- Construcción sostenible.

Trayectorias vinculadas a nuevos productos y procesos

- Impulso al valor agregado del litio.
- Adaptación de productos y procesos que utilizan minerales críticos.
- Producción de biogás.
- Nuevas alternativas para la generación de calor en la industria de pulpa y papel.
- Captura, utilización y almacenamiento de carbono (CCUS).
- Soluciones basadas en biotecnología para la pesca y acuicultura.
- Desarrollo de electrolizadores.

9. IMPACTO ECONÓMICO DEL DESARROLLO TECNOLÓGICO

Este capítulo aborda una **técnica de análisis económico** para **simular el impacto** que tiene el **desarrollo tecnológico** en un sector, sobre su propia cadena de valor y sobre el resto de la economía. Se utiliza, como muestra de implementación de la metodología, la **cadena de valor agrícola**.

9.1 Modelación Input-Output

Para determinar el **efecto** que tiene **en la economía** un **determinado cambio** lo usual es recurrir a la **Modelación Input-Output**, herramienta de gran utilidad en la realización de estudios sobre la estructura productiva de una economía. Esta técnica consiste en **evaluar y simular las variaciones que se producen en el proceso productivo motivados por cambios en los efectos inmediatos, directos e indirectos** que se generan **en la economía** a partir de una **determinada modificación**. En otras palabras, el modelo captura cuáles son las necesidades de insumo de los distintos sectores para sus procesos productivos a partir del requerimiento que se evalúa. Es decir, este tipo de análisis permite estudiar los **impactos** que provoca tanto un **cambio en un mismo sector** como también un cambio en una **variable** de la **demanda final de la rama económica** que se estudia. Ejemplos de estas variaciones pueden ser: un aumento de las exportaciones motivadas por el desarrollo de nueva tecnología o por una variación en los procesos productivos; cómo el incremento en la llegada de turistas y su consumo afectan al conjunto de la economía; cómo una variación en los salarios afecta al sistema; o, en un sentido contrario, el indagar cómo una catástrofe (terremoto, sequía, cambio climático, entre otras) se relaciona con el sistema tanto de forma directa como indirecta; en fin, son muchas las respuestas que se pueden obtener a partir del **análisis estático** y la **simulación** que permite esta herramienta.

Para representar la producción, se inicia con la estimación del **output total de una economía**, a partir de la siguiente ecuación:

$$x = (I - A)^{-1}y = By \quad (1)$$

Donde x es el output total, $(I-A)^{-1}$ es la matriz inversa de Leontief (representa las relaciones de insumo-producto entre los diferentes sectores de la economía) e y , la demanda final (consumos de hogares, gobierno, inversión, variación de existencias y exportaciones netas). Si se produce un cambio (*) en dicho output o producción,

$$x^* = (I - A^*)^{-1}y^* = B^*y^* \quad (2)$$

la variación de la situación (1) a la (2) se puede expresar como,

$$\Delta x = B^*y^* - By = B(y^* - y) + (B^* - B)y \quad (3)$$

El **primer sumando** hace referencia al **análisis de multiplicadores** y el **segundo**, al de **sensibilidad**; es decir, el **primero** expresa **cómo se ve afectada la economía a partir de los efectos inmediato, directo e indirecto** de la modificación de una variable, mientras que el **segundo** guarda relación con los **cambios en las funciones de producción**.

En resumen, con la técnica presentada se pueden responder los siguientes interrogantes:

1. **¿Cómo se explica el “cambio en la producción”?** Esto es, indagar si tal cambio es producto de una mejora en la tecnología, en la estructura intermedia (compras de insumos), por un crecimiento de la economía en forma global, por cambios en la demanda, o cambio en la estructura del valor agregado (excedente bruto de explotación, salarios o impuestos netos).
 - i. En el presente Estudio, el objetivo es averiguar **en qué medida el cambio tecnológico en un sector ha influido en la variación de la producción**.
2. **¿Cuál es el vínculo entre las actividades** frente a posibles cambios en la producción? Este enfoque guarda relación con el concepto conocido como **elasticidades**.

- i. Lo que se quiere averiguar es cómo interactúa la actividad “j” frente a un cambio en la “i”; o, en otras palabras, responde a qué cambios deben presentar las “n” actividades para que la “j” cambien su producción en, por ejemplo, un 1%.
3. **Cuáles son los posibles impactos**, en términos de las variaciones en I+D+i, que se traducen en:
- i. **Producción** (Demanda Final): cómo el cambio individual [(+) y/o (-)] y simultáneo afecta al sistema.
 - ii. **Empleo**: cómo el cambio individual de la producción afecta la creación de empleos.

Por lo tanto, a partir del **modelo** expuesto se puede **determinar cómo se verá afectada la economía** si, por ejemplo, se genera un **cambio en algún componente** de la **demanda final** motivado por la **innovación y el desarrollo tecnológico**. Cambio que se puede medir desde distintas perspectivas, en un aumento de la producción global, en un incremento de la contratación de nuevas personas con el fin de cubrir los nuevos requerimientos de la demanda final, entre otros. Como se puede observar, lo importante para esta primera etapa es averiguar precisamente lo que se pueda derivar del último punto a partir de información histórica.

9.2 Aplicación al caso chileno

Con respecto a los **datos** que se utilizan, estos provienen del **Banco Central de Chile** (Matriz Insumo-Producto), del **SII** (número de empleos formales), de **entrevistas** a expertos y del **Boletín Nivel e Intensidad de Gasto en I+D+i de la Empresas** en Chile.

Con el fin de averiguar cómo se ve afectada la economía, se considera que la misma está compuesta por **18 sectores económicos**, en base a la **Matriz Insumo-Producto del Banco Central de Chile**²¹⁷: Agricultura (s01); Silvicultura (s02); Pesca (s03); Acuicultura (s04); Minería (s05); Industria Manufacturera (s06); Vinos, Cervezas y bebidas sin alcohol (s07); Electricidad (s08); Gas & Agua (s09); Construcción (s10); Comercio, Restaurantes y Hoteles (s11); Transporte, Comunicaciones y Servicios Información (s12); Intermediación Financiera (s13); Servicios Inmobiliarios y Vivienda (s14); Servicios Empresariales (s15); Servicios Personales (s16); Salud (s17) y Administración Pública (s18).

Por otra parte, dado que se dispone de información de expertos sobre el **retorno directo** que genera el **desarrollo de nueva tecnología** y la **I+D+i** para el sector Agricultura²¹⁸, se utiliza este valor en la evaluación de un incremento del Gasto en I+D+i sobre la base de la estructura económica del año 2020. Esto es, partiendo de la base que **actualmente se destina a I+D+i un 0,34% del PIB**, se asume que el mismo **se duplica (0,68%)** y, a partir de este número se evalúa qué ocurre en materia de **aumento de producción y empleos** en la economía como respuesta a este aumento. La información para distribuir el porcentaje del sector escogido se toma del promedio histórico que han gastado los distintos sectores basado en el **Boletín Nivel e Intensidad de Gasto en I+D+i de la Empresas** y, en el caso de existir algún sector agregado, se recurre a cocientes de localización en función de su participación en el Valor Agregado de la economía.

En función de los datos disponibles, cabe resaltar que **se evalúa la inversión para el desarrollo de nueva tecnología en general, y no por dominio tecnológico**, por dos razones: primero, la información respecto a cada dominio tecnológico no se encuentra disponible al nivel de detalle necesario; en segundo lugar, cuando se trabaja con esta técnica, el nivel de detalle se disuelve en el entramado económico, lo que afecta en la identificación del impacto, es decir, si bien un nivel de detalle mayor puede ser interesante, su consecuencia en muchas ocasiones se pierde, no siendo útil finalmente al Estudio.

²¹⁷ La Matriz Insumo Producto (<https://www.bcentral.cl/areas/estadisticas/cuentas-nacionales-anuales>) presenta 111 sectores, que son agregados en 18 para el presente Estudio, logrando así contar con una agregación adecuada.

²¹⁸ Esta información surge de las entrevistas realizadas en el marco de la elaboración de Estudios de Casos para la identificación de barreras y dificultades para el desarrollo tecnológico, detallado en el Capítulo 10.

Con respecto a los resultados, es necesario señalar que se estudia **cómo un desarrollo tecnológico impacta en el sector agrícola, sin distinguir en cuál tecnología del sector agrícola ocurre el desarrollo**, dado lo explicado con anterioridad; además, **se asume que no han existido factores externos que puedan paliar los efectos del aumento de la inversión en I+D+i** y, finalmente, se asume en base a la opinión de expertos que, **por cada peso que se invierte en desarrollo tecnológico, en el sector agricultura retornan aproximadamente 2,6 pesos**²¹⁹.

En resumen, se trabaja sobre el escenario en que el **gasto en I+D+i en Chile aumenta a 0,68% del PIB**, que de este valor se destina a **tecnología agrícola un 11,09%** y que, **por cada peso que se gasta en I+D+i de este sector, retornan 2,6 pesos**.

El detalle del análisis indica que, del **PIB del año 2020 [181.745 en miles de millones (mM) de pesos]**, se asume que se destinan en forma global 1.235,87 mM, a I+D+i y que, de estos, van al sector **Agricultura 137,11 mM**. Las consecuencias de dicho impacto directo (es decir, el efecto de dedicar más recursos a desarrollo tecnológico) equivalen a un **aumento en la demanda final de un 8,8%** y, en términos de producción implican los siguientes incrementos de producción sectoriales:

Tabla 2. Incremento en la producción derivado del cambio simulado

	Sector	Incremento de producción
s- 02	Silvicultura.	1,15%
s- 03	Pesca.	0,13%
s- 04	Acuicultura.	0,16%
s- 05	Minería.	0,01%
s- 06	Industria Manufacturera.	0,15%
s- 07	Vinos y Cervezas.	0,01%
s- 08	Electricidad.	0,15%
s- 09	Gas & Agua.	0,07%
s- 10	Construcción.	Crecimiento despreciable
s- 11	Comercio, Restaurantes y Hoteles.	0,08%
s- 12	Transporte, Comunicaciones e Información.	0,11%
s- 13	Intermediación Financiera.	0,10%
s- 14	Ss. Inmobiliarios y Vivienda.	0,02%
s- 15	Ss. Empresariales.	0,12%
s- 16	Ss. Personales.	0,01%
s- 17	Salud.	Crecimiento despreciable
s- 18	Administración Pública.	0,01%.

En base a lo anterior, se puede observar que las consecuencias de **invertir en tecnología para el sector agrícola** son sustancialmente **beneficiosas para la economía en su conjunto** (evolución positiva de los 18 sectores). En términos generales, representa un **aumento en la producción de 848,85 mM de pesos**²²⁰; es decir, de un **25%**.

Finalmente, el **cambio se puede analizar en términos de impacto en el empleo formal informado**, obtenido del Servicios de Impuestos Internos de Chile (SII) en combinación con la producción que entrega el Banco Central de Chile en la matriz respectiva (Tabla 3), en donde se muestra el número de **empleos formales por sector en miles de personas (Li)** respecto a la **producción del propio sector económico (Xi)**. Esto es, la **expresión Li/Xi**, también conocida como **coeficientes directos de empleo**, que se toma como base para observar cuántos empleos se crearán a partir del cambio generado.

²¹⁹ Este dato surge de las entrevistas realizadas para el Estudio de Caso: Tecnologías Agroalimentarias, presentado en el Capítulo 10 del presente Estudio.

²²⁰ Surge de la diferencia entre un VBP (Valor Bruto de la Producción) simulado de 341.895 mM de pesos y el real 2020 de 341.046 mM de pesos

Un conjunto de operaciones sobre la Matriz de Leontief, introducida en la Sección 9.1, permite obtener este impacto resultante en la **creación de nuevos empleos**. El argumento base es que el desarrollo tecnológico y, en general, la I+D+i, promueven nuevas actividades para las que se necesitan trabajadores calificados (creación de puestos de trabajo). Esto puede provocar una movilidad laboral, en tanto que las personas deben dejar un puesto de trabajo para pasar a otro, e incluso pueden implicar movilidad regional. Esta sucesión de movimientos es lo que se conoce como **creación de empleos indirectos**, que nacen en respuesta a los requerimientos de insumos intermedios que se van necesitando para satisfacer el cambio en la demanda final; esto es, una consecuencia indirecta o efecto indirecto.

Tabla 3. Empleos Formales Informados para el año 2020

	Sector	Empleos (Li)	Li/ Xi	Empleos
s- 01	Agricultura.	383.145	31,05	18.228
s- 02	Silvicultura.	475.435	240,41	5.443
s- 03	Pesca.	8.629	13,59	11
s- 04	Acuicultura.	59.129	19,46	97
s- 05	Minería.	128.108	3,29	10
s- 06	Industria Manufacturera.	652.178	11,13	989
s- 07	Vinos y Cervezas.	32.969	11,85	3
s- 08	Electricidad.	28.294	3,56	44
s- 09	Gas & Agua.	77.725	20,52	56
s- 10	Construcción.	1.145.800	44,26	32
s- 11	Comercio, Restaurantes y Hoteles.	1.671.978	40,45	1.360
s- 12	Transporte, Comunicaciones e Información.	710.261	22,83	754
s- 13	Intermediación Financiera.	230.479	11,53	236
s- 14	Ss. Inmobiliarios y Vivienda.	88.891	4,53	21
s- 15	Ss. Empresariales.	1.537.911	59,50	1.790
s- 16	Ss. Personales.	841.258	50,92	51
s- 17	Salud.	367.476	21,84	7
s- 18	Administración Pública.	577.383	41,87	81

Fuente: SII y Banco Central de Chile.

En concreto, se observa que, por ejemplo, la **generación de empleo directo e indirecto** producto del cambio generado en agricultura sería de **18.228 personas** solo en ese sector, mientras que el empleo total a partir del cambio sería de 29.213 personas (sumando el empleo ya existente). En otras palabras, se produciría un aumento del 4,75% solo en el empleo formal del sector agrícola.

Por último, el análisis se podría **extender al resto de cadenas de valor** definidas para el Estudio, una vez se estime el **dato de retorno de la inversión** por cada peso invertido en **desarrollo tecnológico**.

10. BARRERAS Y DIFICULTADES EN EL DESARROLLO TECNOLÓGICO DE CHILE

El presente capítulo aborda, a partir del análisis de tres Estudios de Caso, las barreras y dificultades detectadas en aquellos sectores que el Estado de Chile ha promovido trayectorias tecnológicas con éxito. Los tres sectores de análisis son:

- i) **Tecnologías de la Salud**
- ii) **Tecnologías Agroalimentarias**
- iii) **Tecnologías de Resiliencia ante Desastres**

Para cada caso, se presenta el contexto y evolución sectorial y tecnológica en el país, los avances acontecidos en los últimos años y los logros alcanzados, así como casos concretos de referencia en cada ámbito. Pero en especial el estudio de casos se concentra en las barreras que cada sector presenta y que Chile debe resolver para impulsar la resiliencia basada en tecnologías.

El estudio de casos se basa tanto en información secundaria como primaria, esta última obtenida a partir de entrevistas realizadas con agentes especialistas en cada uno de los sectores abordados. En particular, las personas entrevistadas fueron:

- **Alexis M. Kalergis.** Profesor Titular Facultad de Ciencias Biológicas y Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Director del Millennium Institute Immunology and Immunotherapy, FOCIS Center of Excellence.
- **Carlos Ladrix.** Subdirector de Investigación Aplicada e Innovación. Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, ANID.
- **Esteban Zapata.** Jefe Departamento de transferencia y emprendimiento. Subdirección de investigación aplicada e innovación de ANID.
- **Macarena Aljaro.** Gerenta de Capacidades Tecnológicas de CORFO.
- **Geraldine Mlynarz,** CEO de ICTIO BIOTECHNOLOGIES.
- **Cristian Sagal,** Agregado Inversiones en Francia. InvestChile.
- **Graciela Urrutia.** Gerenta del Programa Nacional Transforma Alimentos.
- **Laurens Klerkx.** Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Talca.
- **Rodrigo Cruzat.** Gerente del Consorcio Tecnológico Empresarial BioFrutales.
- **Catalina Undurraga,** Directora Ejecutiva de ITREND Chile.
- **Juan Carlos De La Llera.** Presidente ITREND y Académico Pontificia Universidad Católica de Chile.
- **Juan Pablo Candia.** Jefe División de Estrategia y Gestión Corporativa InvestChile.

10.1 Estudio de Caso I: Tecnologías de la Salud

10.1.1 Enfoque del caso: Tecnologías de la Salud

Chile destaca globalmente, entre los países de la Organización Mundial de la Salud (OMS), por su capacidad de **control y gestión epidemiológica**, la **investigación en vacunas** y la creación de **dispositivos médicos pioneros**.

En materia de invenciones e innovación aplicadas a industrias y actividades económicas, es el **segundo país de América Latina y el Caribe (Latam) mejor posicionado**²²¹ en el año 2023. Su comunidad de desarrolladores y emprendedores, a pesar de ser reducida en tamaño, es altamente talentosa y productiva.

En ámbitos de invenciones con aplicaciones al sector Salud se registran **cerca de 90 derechos de propiedad industrial** con un grado de madurez tecnológico de **Nivel 6 a 8 en TRL**²²². Por otra parte, el Instituto Nacional de Propiedad Industrial (INAPI) y la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual (WIPO) registran **más de una centena de patentes y derechos de propiedad industrial** vinculados a Chile, registrados en áreas de dispositivos médicos, bio-fármacos e insumos intermedios, entre otros.

Dentro de las Tecnologías de la Salud se detectan diferentes desarrollos tecnológicos endógenos, que han permitido mejorar las capacidades propias del país en líneas tales como:

- **Protocolos, metodologías y guías para la atención primaria de salud**²²³.
- **Dispositivos médicos y equipamiento clínico.**
- **Software de manufactura avanzada en digitalización.**
- **Producción de vacunas y de bio-fármacos**²²⁴ para la salud humana y animal.

En consecuencia, el sector Salud constituye una actividad económica esencial para el país, fuente de desarrollo tecnológico y crecimiento.

10.1.2 Contexto

Chile ha experimentado un **desarrollo sistemático** reciente impulsado por el **sector público** y apoyado desde el **ámbito privado**, especialmente en áreas tecnológicas destacadas dentro del campo de la Salud. La importancia del **sector privado** reside en el impulso que da a la actividad a través de la **inversión** en infraestructura y mejora de las capacidades propias para impulsar la productividad científico-tecnológica en el ámbito de la Salud.

De esta forma, se han creado a lo largo de los años diferentes **programas de financiamiento** para la investigación científica y tecnológica²²⁵, así como **consorcios tecnológicos empresariales** para la innovación. Además, se han lanzado programas de emprendimiento basados en ciencia que

²²¹ Según la Organización Mundial de Propiedad Intelectual (OMPI) el Índice Global de Innovación 2023 (GII), que mide las principales tendencias en innovación a nivel mundial y enumera a las economías según su rendimiento, ubicó a Chile en el 2do. país de la región mejor posicionado y en el 52 de 132 economías. Chile destaca entre las 10 economías con mayores solicitudes de marcas por millón de habitantes, ajustado al PIB. Sin embargo, el Informe también destaca la necesidad de mejoras en la cantidad de diseños industriales, en la exportación de servicio, la diversificación industrial y en el financiamiento de emprendimientos innovadores.

²²² U.S. Department of Energy (2012). *Development of Technology Readiness Level (TRL) Metrics and Risk Measures*. Extraído del sitio web: https://www.pnnl.gov/main/publications/external/technical_reports/PNNL-21737.pdf

²²³ CONICYT (2014). "10 años apoyando la investigación aplicada en la salud en Chile". Ministerio de Salud, Fondo Nacional de Investigaciones en Salud (FONIS).

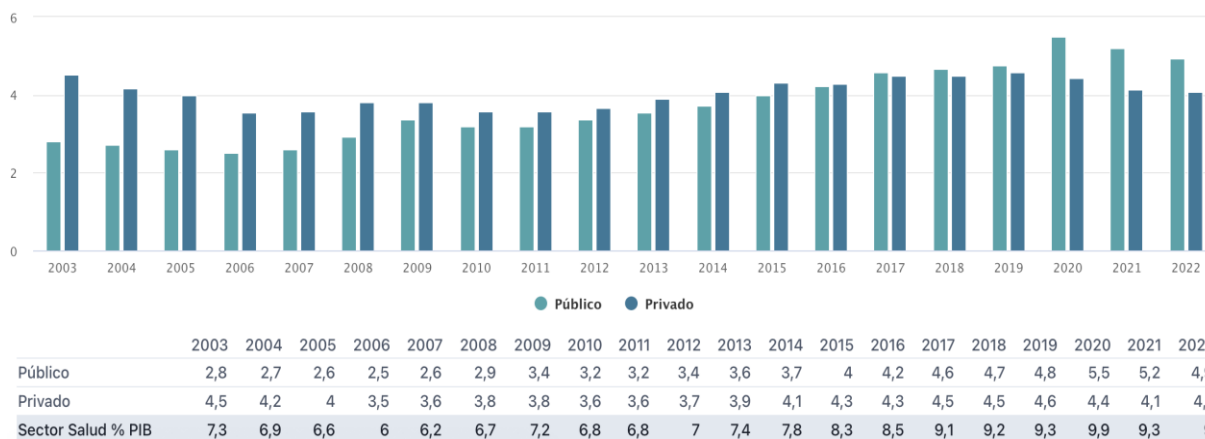
²²⁴ Chile, además, se cuenta con una "la masa crítica de profesionales en Chile, sub utilizados (...), que cuentan con los conocimientos necesarios y en algunos casos la experticia requerida (...), biotecnólogos, químicos farmacéuticos y bioquímicos formados en el país, que tienen los elementos necesarios para que el país desarrolle una capacidad estratégica de fabricar y desarrollar sus propias vacunas, permitiéndole tener una independencia para enfrentar los desafíos que el cuidado de la Salud Pública, (...) y así como poder responder de manera más o menos rápida, frente a futuros problemas que se desarrollaran en el futuro" (Patricio Gilbert, marzo 25, 2022. Extraído del sitio web: <https://enlafontana.cl/produccion-de-vacunas-y-biofarmacos-en-chile-una-luz-de-esperanza/>).

²²⁵ Programas de investigación científica y tecnológicas financiados por la antigua CONICYT, actualmente ANID.

promueven la creación de **Empresas de Base Científico-Tecnológica (EBCT)** en el sector de la Salud que representan el 33% del financiamiento público²²⁶ en el 2023.

En el período 2003-2022 la **contribución promedio** anual del **sector Salud** en el **Producto Interno Bruto (PIB)** del país ha sido del **7,8%**; el sector público ha alcanzado una participación mayoritaria a partir del año 2017 en la estructura del gasto en Salud, tal como lo muestra la Ilustración 6:

Ilustración 6. Participación Sector Salud en el PIB en el período 2003-2022



Fuente: Ministerio de Salud, Chile. Oficina de Información Económica en Salud (IES). <https://ies.minsal.gob.cl/reports/200>

Los casos de estudio en materia de **Tecnologías de la Salud** se enmarcan dentro de la **política tecnológico-productiva** implementada por el Gobierno de Chile en el **período 2007-2023**, enfocada en el desarrollo de nuevos productos basados en ciencia y nuevas industrias orientadas a dar soluciones de:

- Alto **impacto** en la **salud humana** (protocolos, vacunas, kits diagnósticos, dispositivos médicos, equipamiento para cirugía robótica, telemedicina, vigilancia epidemiológica).
- Alto **impacto** en el **desarrollo sostenible competitivo** como proveedores de bienes y servicios avanzados, sofisticados, basados en ciencia, en diferentes industrias exportadoras como la alimentaria (acuícola, salmonera, avícola y porcina).

Al respecto, las **trayectorias y dominios tecnológicos** en salud humana, apoyadas por el sector público, vía algún tipo de programa de asociación público privadas, se comenzaron a gestar de forma más **sistemática y estructurada** a partir del año **2007**; en tanto aquellas vinculadas a la **salud animal**, apoyada con recursos públicos y privados, fueron a posteriori, desde **2014**.

Chile pertenece a la **Red Internacional de Agencias de Evaluación de Tecnologías de la Salud (INAHTA)**. Además, los avances científicos en este campo se han traducido en resultados sanitarios respaldados por **compañías de investigación nacionales y extranjeras** en diferentes **campos de actuación**, tales como: **medicamentos, vacunas, pruebas diagnósticas y de pronóstico, plataformas bioinformáticas, equipamiento médico y de cuidados**; y la formación de **talento multidisciplinar** para dar respuesta a nuevos desafíos sanitarios.

²²⁶ Información aportada al Estudio en entrevista realizada a la Subdirección de Investigación Aplicada de la ANID, 10.11.2023

10.1.3 Preguntas de investigación

Las principales preguntas de investigación asociadas con el Estudio de Caso de Tecnologías de la Salud son las siguientes:

- **¿Cuál ha sido la evolución histórica del sector de Tecnologías de la Salud?** Identificando de forma explícita los avances y resultados alcanzados en cuanto a desarrollo tecnológico en los últimos años.
- **¿Cuáles son las principales barreras y desafíos que obstaculizan el desarrollo tecnológico?** Detectando brechas de desarrollo en Chile.
- **¿Cuáles son las principales falencias respecto al apoyo institucional en Chile?** Determinando acciones por tomar desde el sector público e identificando referentes internacionales en desarrollo tecnológico asociados a cada caso.

Por tanto, el **ciclo de entrevistas** realizado busca **profundizar** en el **análisis de información** recogida de fuentes secundarias, ratificarla y complementarla, vía **fuentes primarias**, poniendo foco en los siguientes aspectos:

- **Validar la relevancia** del Estudio de Caso como evidencia de trayectoria de desarrollo tecnológico.
- Determinar **origen histórico y cronológico de las trayectorias y dominio tecnológicos** del caso.
- Explorar sobre el **nivel de madurez tecnológica** y sobre las principales referencias asociadas al caso.
- Identificar la **tipología de barrera con mayor presencia** en el ámbito de Tecnologías de la Salud y realizar una aproximación de su nivel de prioridad.
- Identificar las **dificultades y obstáculos institucionales**.
- Determinar el **posicionamiento de Chile**, con relación a las Tecnologías de la Salud.

10.1.4 Metodología de obtención de datos

Para la elaboración del presente **Estudio de Caso** se utilizó una **metodología mixta** basada en la **revisión de fuentes secundarias**; formulación y aplicación de un **pre-test a un entrevistado**; y **aplicación final de cuestionario final adaptado** al tipo de agente incumbente, con preguntas semiestructuradas.

Se ha entrevistado a **cinco agentes** seleccionados individualmente (procurando incluir a agentes pertenecientes tanto al sector público como privado) con vasta **trayectoria** y **conocimiento** en Tecnologías de la Salud. Estos agentes son los siguientes:

- ❑ **Alexis M. Kalergis.** Profesor Titular Facultad de Ciencias Biológicas. Facultad de Medicina. Pontificia Universidad Católica de Chile. Director, Millennium Institute Immunology and Immunotherapy, FOCIS Center of Excellence. Fecha de entrevista: 03.11.2023.
- ❑ **Carlos Ladrix.** Subdirector de investigación aplicada e innovación. Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo, ANID. Fecha de entrevista: 10.11.2023.
- ❑ **Esteban Zapata.** Jefe Departamento de transferencia y emprendimiento. Subdirección de investigación aplicada e innovación, ANID. Fecha de entrevista: 10.11.2023.
- ❑ **Macarena Aljaro.** Gerenta de Capacidades Tecnológicas, CORFO. Fecha de entrevista: 14.11.2023
- ❑ **Geraldine Mlynarz.** CEO, ICTIO BIOTECHNOLOGIES. Fecha de entrevista: 15.11.2023.

10.1.5 Análisis preliminar de la información obtenida

El propósito principal del ciclo de entrevistas fue **identificar** las principales **barreras** que han dificultado el **desarrollo tecnológico** en el pasado en el sector asociado al presente Estudio de Caso. De forma preliminar, se presentó a los entrevistados un listado preliminar en torno a 6 categorías que fueron priorizadas por cada uno de ellos.

a) Priorización de las barreras según relevancia

A continuación, se presenta el esquema de priorización derivado de las entrevistas siguiendo una lógica de causa – efecto, una vez sistematizada la información obtenida.

Barrera	Priorización
▪ <i>Regulatorios e institucionales</i>	1
▪ <i>Mercados y ecosistemas robustos</i>	2
▪ <i>Infraestructura</i>	3
▪ <i>Financiamiento</i>	4
▪ <i>Talento</i>	5
▪ <i>Otros (calidad del clima de inversiones)</i>	6

Fuente: Elaboración propia, basado en las entrevistas realizadas y fuentes secundarias

En general, la **principal barrera** identificada se asocia al ámbito **institucional**, relacionada con la **definición normativa** y la **falta de incentivos** adecuados. Esta barrera actúa como un **factor causal** que desencadena otras dificultades, en especial al **no facilitar la consolidación de mecanismos de desarrollo tecnológico sistemático**. Estas dificultades se convierten en obstáculos que afectan el desempeño eficiente de agentes económicos en la innovación y la creación de nuevas industrias, productos y servicios, que impacten en mejores servicios de salud en el país. Sin embargo, las **prioridades de las empresas y centros especializados** en diferentes dominios tecnológicos, como bio-fármacos, dispositivos médicos, manufactura 3D, protocolos y software, varían y esto modifica la percepción de la importancia de esta barrera según el campo tecnológico abordado.

b) Detalle de las barreras y dificultades asociadas

Las **tecnologías de vanguardia en salud**, como los bio-fármacos, encuentran obstáculos significativos para su adopción y expansión en el mercado nacional. En contraste, con relación a **tecnologías más maduras** se tiende a realizar pruebas preliminares con empresas y organizaciones fuera de Chile, y parte del talento formado en el país termina instalándose en mercados externos.

Tabla 4. Detalle de las barreras identificadas

TIPO DE BARRERA	CONTENIDO	PRIORIDAD
REGULATORIO E INSTITUCIONAL	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Escasa modernidad institucional y capacidad predictiva regulatoria (ISP, MINSAL, otros). ❑ Falta de simplificación de trámites y de coordinación para reducir tiempos de demora en permisos. ❑ Costos de la regulación nacional o internacional para definir estrategias de protección de derechos de propiedad industrial. 	1
INFRAESTRUCTURA	<ul style="list-style-type: none"> ❑ Falta de infraestructuras de calidad para validación y pruebas pre-comerciales, especialmente en el campo de los bio-fármacos, que deriva en una limitada cantidad de plantas de pilotaje o de desarrollo de productos tecnológicos con alto grado de bioseguridad. 	2

TIPO DE BARRERA	CONTENIDO	PRIORIDAD
FINANCIAMIENTO	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> El financiamiento público no está alineado con el desarrollo de los consorcios tecnológicos empresariales ni con los emprendedores innovadores lo que limita la validación y expansión comercial de sus proyectos. Como resultado, las empresas clientes de los consorcios o inversores terminan financiando algunos de los desarrollos que tienen un interés principalmente privado. <input type="checkbox"/> Escasez de financiamiento público; falta de integración de la gestión pública para fomentar una industria y ecosistema eficiente y de calidad en tecnologías ya maduras. <input type="checkbox"/> Desconocimiento de la oferta de Venture Capital (VC), de sus requerimientos y lo que cada fondo financia. <input type="checkbox"/> El financiamiento para la etapa serie B, que representa una fase más avanzada en la financiación de startups, se encuentra fuera de Chile. Esto incrementa los obstáculos adicionales de información, idioma y cultura. <input type="checkbox"/> Los fondos están destinados a respaldar empresas y emprendedores, no a otras estructuras creadas a partir de las entidades participantes en los programas. <input type="checkbox"/> Para los fondos de inversión, el equipo y especialmente el perfil del fundador/a, son más importantes que el producto. <input type="checkbox"/> Existe una fragmentación en la distribución de financiamiento por programas, y hay una limitada planificación presupuestaria a largo plazo desde la política pública sectorial. 	3
MERCADO	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Inexistencia de mercados tecnológicos y herramientas que impulsen la demanda desde el sector público (compras públicas innovadoras) y capital de riesgo, así como asociaciones público-privadas en gestión tecnológica de servicios sofisticados. 	4
TALENTO	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Excelente formación científico-tecnológica. Sin embargo, muchos de estos profesionales terminan migrando para expandir sus desarrollos en el extranjero. <input type="checkbox"/> Los equipos necesitan competencias y motivación para escalar tanto en la producción como en la comercialización de un negocio tecnológico. <input type="checkbox"/> Falta de profesionales en áreas comerciales y legales, lo cual dificulta el desarrollo de empresas competitivas y sostenibles en el campo de las Tecnologías de la Salud. 	5
OTROS	<ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Inconsistencia Sistémica para innovar debido a modificaciones en políticas públicas. <input type="checkbox"/> Falta de una coordinación efectiva entre diferentes sectores en la política de desarrollo tecnológico en Chile, específicamente en lo que respecta a las tecnologías más avanzadas. No existe una estructura organizada, como una mesa o comité, que tenga una visión holística y transversal para facilitar la transferencia de tecnologías maduras (TRL de 6 a 9) hacia el sector público y privado. Además, esta falta de coordinación no permite la vinculación de presupuestos futuros necesarios para el desarrollo completo de estas tecnologías, ni prevé que el Estado pueda tener derechos de uso sobre estas tecnologías maduras. <input type="checkbox"/> Obstáculos en los derechos de uso por parte del sector público en las Tecnologías de la Salud, generadas con aporte público-privado, al no ser parte de consorcios tecnológicos. 	6

CASOS DE EXPERIENCIA OBSTACULIZADA POR BARRERAS INSTITUCIONALES, REGULATORIAS Y DE MERCADO

Se presentan, a continuación, algunos casos prácticos en los que el desarrollo tecnológico se ha visto afectado por las barreras previamente identificadas.

PROTEUS-BIO. CASO DE ESTUDIO DE TECNOLOGÍAS DE LA SALUD

*Durante más de una década, la empresa chilena **Proteus** ha dedicado esfuerzos para llevar a la red de salud pública en Chile un desarrollo tecnológico de interés nacional. Sin embargo, este proyecto no ha conseguido escalar lo previsto debido a diversas barreras, tanto institucionales como regulatorias, y la intensa presión competitiva con grandes compañías farmacéuticas a nivel internacional.*

Proteus, compuesto por jóvenes talentos chilenos, se ha enfocado en crear un producto capaz de proporcionar analgesia postoperatoria por hasta 72 horas con una única dosis de manera segura. A pesar de recibir respaldo financiero público a través de CONICYT-ANID, la empresa enfrenta desafíos para escalar comercialmente en el mercado interno y en la red de salud pública chilena. A pesar de haber completado exitosos estudios clínicos con más de 400 voluntarios en Chile (Fase 1 y 2), la anestesia basada en algas aún no ha logrado su validación comercial. Este producto final no es adictivo

y se presenta como una alternativa potencial a la morfina y sus derivados sintéticos, los cuales presentan importantes problemas de efectos secundarios y adicción, problemáticas de relevancia en el ámbito de la salud pública.

A pesar de lograr colaborar con el Hospital de Niños de Boston en Estados Unidos y un hospital de Holanda (Fase 1), bajo estrictos protocolos de la Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos (FDA) y la Agencia Europea de Medicamentos (EMA), los recursos y la capacidad regulatoria de otros países han permitido aprovechar los beneficios de este desarrollo. En ocasiones, los esfuerzos respaldados por la política pública y el talento local de gran valor encuentran obstáculos y, en consecuencia, buscan oportunidades en mercados más avanzados con ecosistemas tecnológicos más sólidos.

FONDO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN EN SALUD (FONIS). ADOPCIÓN DE SUS RESULTADOS EN LA SALUD PRIMARIA A NIVEL LOCAL

En el año 2024, se cumplirán 20 años desde que el Gobierno de Chile estableció el **Fondo Nacional de Investigación en Salud (FONIS)**, que ha respaldado más de 600 proyectos, con una inversión estimada de 12.600 millones de pesos chilenos. Estos proyectos se han centrado en abordar las necesidades y desafíos de la salud pública, generando resultados concretos como protocolos, guías, manuales y pruebas clínicas transferibles a toda la red de salud primaria, con especial atención en los grupos más vulnerables.

Si bien algunos de los resultados financiados por el FONIS han sido adoptados por servicios de salud locales, la transferencia de prácticas y conocimientos a la red de salud ha sido limitada. En muchos casos, estos protocolos y avances técnicos desarrollados por investigadores, universidades y otros colaboradores han permanecido desconocidos para gran parte de la red de salud primaria a nivel municipal. Existe una falta de elementos facilitadores que permitan una rápida adaptación y una colaboración sistemática.

Las universidades de Valparaíso, Concepción y la Pontificia Universidad Católica de Chile se destacan en este campo. A pesar de haber desarrollado tecnologías sofisticadas, muchas de estas no se transfieren ni se implementan en los servicios públicos, ya sea en dependencias directas del Ministerio de Salud o en servicios de atención más locales. El FONIS, como instrumento, tiene el potencial de contribuir significativamente en este aspecto.

No obstante, se aprecia la carencia de una estrategia más sólida y desarrollada para la transferencia de estos conocimientos para la provisión de servicios sofisticados de salud.

c) Principales factores facilitadores en Tecnologías de la Salud

Los elementos facilitadores clave de las Tecnologías de la Salud reflejan la capacidad de planificación del país tras más de dos décadas de esfuerzos públicos. Por un lado, se detectan factores facilitadores con **trayectoria**:

- La **generación de capacidades tecnológicas** ha propiciado la aparición de emprendimientos cada vez más sofisticados en el país, fortaleciendo un ecosistema efectivo de Tecnologías de la Salud. No obstante, se necesitan incentivos específicos y cambios en la institucionalidad chilena, junto con canales eficaces de comunicación y colaboración financiera, para lograr una verdadera coordinación entre lo público y lo privado. Esto permitiría agilizar la llegada de las tecnologías de la salud al mercado en plazos más cortos. De igual manera, se ha identificado la urgencia de establecer un ente que pueda dirigir una política pública y un acuerdo público-privado para gestionar este ecosistema, además de proyectar estratégicamente su crecimiento económico y su desarrollo resiliente en el ámbito sanitario.
- La **capacidad del talento existente** para combinar la biología con la informática, con la Inteligencia Artificial (IA) y acelerar nuevos desarrollos tecnológicos en la salud ha sido notable.

- En el ámbito de las **vacunas**, Chile ha demostrado y es reconocido por su capacidad científico-técnica, como se evidenció con la llegada de SINOVAC al país durante la época de pandemia de Covid-19.
- En relación con esto, **¿qué factores han favorecido y siguen favoreciendo la atracción de empresas al país para el desarrollo de un ecosistema tecnológico e innovador en salud?**
 - La presencia de **instituciones educativas** con una sólida capacidad de investigación en este campo, así como laboratorios chilenos capaces de producir tanto fármacos licenciados como propios, ha sido un factor fundamental.
 - La destacada competencia en el ámbito de dispositivos médicos disruptivos, como en el caso de Levita Magnetic, ha evidenciado las habilidades digitales del país. Se cuenta con un reconocido nivel científico que fusiona disciplinas como, por ejemplo, la biología, la informática y la Inteligencia Artificial, creando un entorno propicio para la experimentación y el desarrollo de nuevas tecnologías. Sin embargo, dichas condiciones habilitantes no siempre son suficientes.

Por otro lado, existe un conjunto de **facilitadores emergentes**, aún en proceso de implantación y adaptación, entre los que se pueden destacar:

- La modificación de la **Ley 19.886** que ha buscado fortalecer la institucionalidad de las compras públicas de los organismos estatales a nivel piloto. Esta modificación abre la posibilidad de utilizar herramientas que puedan atraer ofertas de soluciones tecnológicas en el ámbito de la salud hacia la red pública y el mercado estatal, actuando como un acelerador. Sin embargo, se requiere un impulso adicional para facilitar el funcionamiento de un ecosistema eficiente de tecnologías de la salud.
- Se está avanzando en la creación de un programa “**Transforma Salud**”, en línea con otros programas de especialización inteligente, en colaboración con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, con participación del servicio sectorial (MINSAL), del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo y la CORFO. Este programa tiene como objetivo facilitar la colaboración entre lo público y lo privado para abordar problemas regulatorios, fortalecer capacidades fundamentales y promover procesos innovadores. Además, busca establecer una hoja de ruta que permita priorizar y coordinar acciones estratégicas entre el sector público y privado, acelerando así la implementación de nuevas tecnologías en el ámbito de la salud. Esto implica mejorar la coordinación transversal y madurar la integración de estas tecnologías con el objetivo de incluirlas en los presupuestos sectoriales y promover su escalamiento comercial para obtener beneficios públicos significativos.

CASOS DE ÉXITO Y BUENAS PRÁCTICAS

PLATAFORMA EPIVIGILA

Proyecto implementado por el MINSAL (Departamento de Epidemiología) se alinea con elementos críticos: la convergencia de oportunidades tecnológicas, talento disponible y una demanda emergente debido al COVID-19. Esto condujo a priorizar la velocidad de implementación sobre el aspecto financiero del proyecto.

TUBERCULOSIS VIGILANCIA BOVINA.

La comprensión de la urgencia y la eficaz comunicación del valor de las tecnologías se vuelven fundamentales en el caso de la tuberculosis bovina. Durante la crisis de la pandemia COVID-19, se introdujo una glosa presupuestaria que tuvo un impacto significativo en la vigilancia de esta enfermedad. A través del Fondo de Fomento al Desarrollo Científico y Tecnológico (FONDEF), se financiaron pruebas y validaciones para mejorar los kits de diagnóstico y la vigilancia epidemiológica, permitiendo así avanzar hacia la erradicación de la tuberculosis. Este logro fue posible gracias a la gestión de miembros del Servicio Agrícola Ganadero (SAG), quienes lograron incluir estos avances tecnológicos en el presupuesto del servicio en 2010-2011. Esto abrió la posibilidad de desarrollar tecnologías de interés público para la industria con el objetivo de erradicar la enfermedad.

La implementación de la vigilancia sanitaria contra la tuberculosis bovina en las zonas central y sur del país se convirtió en una acción crucial de política pública. A través de la colaboración entre el Servicio Agrícola Ganadero (SAG) y los laboratorios de referencia, se logró reducir el proceso de diagnóstico de 60 días a tan solo 2 días gracias al respaldo tecnológico proporcionado por FONDEF y el SAG. Esta rápida confirmación del estado sanitario del ganado evidenció la importancia de una coordinación intersectorial oportuna y una comunicación efectiva para asegurar la inclusión en el presupuesto público, demostrando la relevancia y urgencia de estos temas para los funcionarios y el SAG en la gestión de la glosa presupuestaria.

LEVITA MAGNETICS. CIRUGIA CON ROBOT

La historia de Levita Magnetics en el ámbito de dispositivos médicos resalta la capacidad de Chile para desarrollar capacidades tecnológicas propias e innovar en la red de salud tanto pública como privada. Aunque los desarrollos son financiados en el país, su escalado requirió de inversiones de capital internacional, llevando finalmente su establecimiento a Estados Unidos debido al volumen de inversión necesario, las demandas de infraestructura y la rigidez regulatoria en tecnologías médicas en Chile.

Esta startup chilena ha creado un robot destinado a asistir en cirugías abdominales, probado en redes clínicas tanto en Chile, en sectores público y privado, como en hospitales de Estados Unidos. Levita ha inaugurado el primer Centro de Robótica e Inteligencia Artificial, acumulando más de 70 patentes y derechos de propiedad industrial. La compañía ha logrado introducir una nueva categoría tecnológica en dispositivos médicos, obteniendo la aprobación de la FDA en Estados Unidos bajo la categoría de cirugía robotizada, en menos de una década de desarrollo.

En Chile, actualmente se encuentra en proceso de aprobación de los últimos permisos y certificaciones para operar comercialmente. Su fundador, el médico cirujano chileno Alberto Rodríguez-Navarro, estableció una empresa en Estados Unidos para desarrollar la tecnología y obtener la financiación e inversión requeridas.

El enfoque de Levita se centra en operaciones abdominales, como cirugías de obesidad, vesícula, renal, apéndice y ginecológicas, siendo particularmente útil para pacientes obesos, quienes enfrentan mayores riesgos. El uso de esta tecnología beneficia tanto al cirujano, al mejorar su capacidad de operar, como al paciente, reduciendo el dolor postoperatorio, acelerando la recuperación y mejorando los resultados estéticos. Se ha registrado una reducción del 25% en el tiempo de postoperatorio y del 50% en el tiempo de hospitalización.

10.1.6 Conclusiones

- Chile ha cultivado **capacidades científico-tecnológicas** y un **talento altamente calificado** con demanda a nivel global, logrando **desarrollar tecnologías** con potencial de **expansión internacional**. Estas capacidades se **concentran** principalmente en las ciudades de Santiago, Concepción y Valparaíso. Sin embargo, parte del valor generado por este talento nacional no está siendo aprovechado por la red de salud pública del país.
- Los principales **obstáculos** y **barreras** incluyen **aspectos normativos, regulatorios e institucionales** que limitan el óptimo funcionamiento del mercado interno. Además, las barreras en el **financiamiento** y el **deterioro del clima de inversiones directas** han posicionado a Chile en una posición menos preferente para los inversores extranjeros. Esta situación ha ralentizado la posibilidad de promover el desempeño económico y la eficacia de un ecosistema tecnológico sanitario sectorial y resiliente.
- Se requieren **mecanismos de coordinación** para articular las conversaciones y acelerar el **desarrollo tecnológico** en un **ecosistema** que adquiera consistencia y robustez. Esto debe incluir una **previsión regulatoria, de inversión y estratégica** en el ámbito de las Tecnologías de la Salud como elemento crítico esencial en la resiliencia económica del país.
- La **ausencia de estrategias de transferencia** y un **diseño institucional sin incentivos adecuados** impiden que el sector público se beneficie del **uso preferencial de los avances tecnológicos en salud**, a pesar de haber invertido en su desarrollo. Esta situación contrasta con la aplicación de tecnologías relacionadas con la industria del salmón y experiencias internacionales donde se han establecido asociaciones público-privadas con beneficios y costos compartidos. Actualmente, los **beneficios directos** se orientan hacia el **sector privado**, mientras que los costos son compartidos durante la etapa de desarrollo tecnológico y su implementación comercial.
- **Chile** se ubica en la posición de tener **propuestas innovadoras y sostenibles**, implementables en el **corto plazo** especialmente en materia de **dispositivos médicos y manufactura 4.0**. Además, es una **fuentes de conocimiento** atractiva para generar nuevas soluciones resilientes en **bio-fármacos**.

10.1.7 Bibliografía del Estudio de Caso

- CONICYT (2014). "10 años apoyando la investigación aplicada en la salud en Chile". Ministerio de Salud, Fondo Nacional de Investigaciones en Salud (FONIS)
- Banco Central (2023). "Informe de Percepciones de Negocios (IPN) correspondiente a noviembre 2023". Extraído del sitio web: <https://www.bcentral.cl/contenido/-/detalle/resultados-ipn-noviembre-2023>.
- World Intellectual Property Organization (WIPO) (2023). "Global Innovation Index 2023: Innovation in the face of uncertainty". Geneva: WIPO. DOI:10.34667/tind.48220. Extraído del sitio web: <https://www.wipo.int/edocs/pubdocs/en/wipo-pub-2000-2023-en-main-report-global-innovation-index-2023-16th-edition.pdf>
- CORFO & WINNOVA (2021). Consultoría para la determinación de obstáculos y recomendaciones para el Escalamiento comercial de productos tecnológicos con fines productivos. Chile.
- MINSAL (2013). "Propuesta de un modelo de implementación e institucionalización de la Evaluación de Tecnologías Sanitarias en Chile". Comisión Nacional de Evaluación de Tecnologías Sanitarias. Diciembre 2013. Extraído del sitio web: <https://pesquisa.bvsalud.org/brisa/resource/es/biblio-833740>
- Castillo-Riquelme, Marianela, & Santelices C, Emilio. (2014). "Fundamentos para la Institucionalización de la Evaluación de Tecnologías Sanitarias en Chile". Revista médica de Chile, 142(Supl. 1), 50-54. <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872014001300009>

10.2 Estudio de Caso II: Tecnologías Agroalimentarias

10.2.1 Enfoque del caso: Tecnologías Agroalimentarias

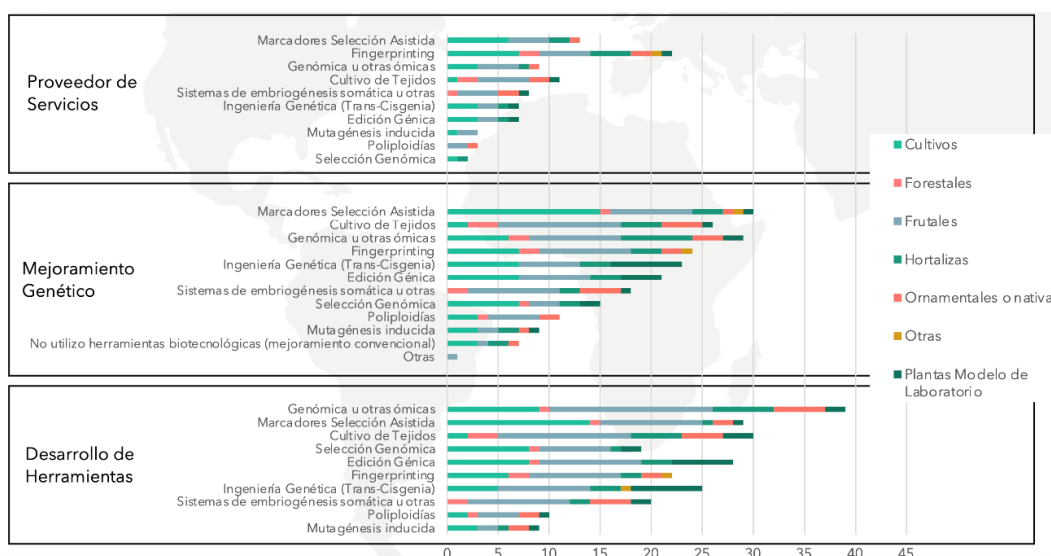
El desempeño económico innovador de las tecnologías agroalimentarias es un fenómeno reciente, con 30 o menos años, en la economía chilena, destacándose al menos los siguientes ámbitos: **i) las tecnologías agroalimentarias, Agtech o Agfoodtech y ii) la ciencia y desarrollo de biotecnología.**

Las **tecnologías agroalimentarias o Agtech**, que conforman el nuevo paradigma de Agricultura 4.0, agrupan a aquellas **tecnologías de la información aplicadas a la agricultura, a lo largo de la cadena productiva y de comercialización y consumo**, e incluyen las **siguientes actividades**:

- **Investigación y desarrollo de software y hardware** para hacer **más eficiente** el desarrollo de los **procesos productivos**, especialmente asociados a la **gestión digital de grandes volúmenes de datos** y la **robotización**;
- La aplicación de la **inteligencia artificial, automatización y digitalización** de actividades transversales a la producción de bienes y servicios (p.ej. logística y transporte, trazabilidad y seguros, etc.);
- Servicios de **manejo y monitoreo óptimo** de las **condiciones de producción y de mitigación de incidencias**, entre otros²²⁷.

En materia de **biotecnología**, se incluyen **técnicas, tecnologías y el saber** asociado al **mejoramiento genético vegetal** para enfrentar **desafíos productivos y medioambientales**; además de aquellas **herramientas** (Ilustración 7) orientadas a las **mejoras genéticas** condicionantes, al momento de emprender el desarrollo de **nuevas variedades** que den respuesta a las características buscadas por la industria, el mercado u otros agentes económicos.

Ilustración 7. Herramientas biotecnológicas por especie, 2021



Fuente: Información del Mapeo de capacidades en mejoramiento genético basado en biotecnología en Chile. ABSA (Agrupación por la Biotecnología y Sostenibilidad Agroalimentaria), enero, 2023

Chile exporta tecnologías agroalimentarias y servicios asociados de forma indirecta, pues estos son **incorporados en los bienes exportados** (durabilidad de las frutas, sabor, color, dulzor, otros atributos resaltados según mercado, etc.). El país no tiene identificado, dentro del portafolio de exportación de bienes y servicios, este dominio tecnológico.

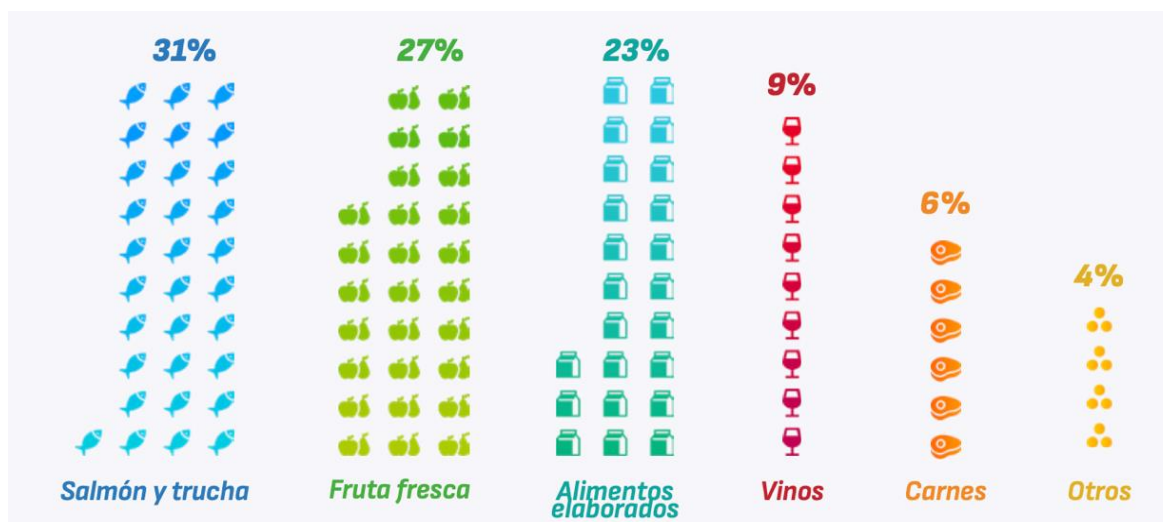
De hecho, ni el Ministerio de Agricultura ni sus organizaciones dependientes (INIA, ODEPA, etc.) forman parte del **Comité Técnico Público-Privado en Exportación de Servicios**, conformado por

²²⁷ Endeavor (2022). *Radiografía Agtech*. <https://www.endeavor.cl/publicaciones/radiografia-agtech/>

representantes del sector público y privado, institucionalizado mediante Decreto Supremo N° 871, del 5 de julio de 2016 (D.O. 6/08/2016).

En el **año 2022** la **industria de alimentos** representó el **22% del valor exportado** por Chile, equivalente a los USD 21.482 millones, en donde **28 de los 178 países receptores concentran el 90% del total**, concentrado en **bienes, no en servicios tecnológicos agroalimentarios**, según recoge la Ilustración 8.

Ilustración 8. Participación de los rubros del sector alimentos en las exportaciones



Fuente: Memoria Transforma Alimentos, 2022. Documento Extraído del sitio web: <https://conexiones.transformaalimentos.cl/memoria-2016-2022/>

Por otra parte, la **contribución anual** del **sector silvoagropecuario y alimentos** en el **Producto Interno Bruto (PIB)** del país, fluctúa **entre el 5 y 7%**, según la Tabla 5:

Tabla 5. Participación por clase de actividad económica, series empalmadas, 2018 (porcentaje del PIB)

Actividades seleccionadas	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Agropecuario-silvícola	3,08	3,17	3,33	3,60	3,43	3,19	3,18	3,58	3,06	2,80
Minería	10,38	10,18	7,94	7,40	8,98	8,88	8,24	11,63	14,35	14,24
Industria Manufacturera	9,99	9,92	10,40	9,71	9,16	9,60	8,99	9,02	8,58	9,74
Alimentos	2,36	2,49	2,75	2,73	2,74	2,79	2,70	2,78	2,39	3,03

Fuente: Banco Central, Chile. Extraído del sitio web: https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_EP18_05_ratio/637801088750197615

Como la tabla anterior muestra, las **tecnologías agroalimentarias** han estado **invisibilizadas** por su **participación marginal en el PIB**, pues solo son un componente e insumo más al momento de garantizar el desarrollo exportador del sector.

10.2.2 Contexto

Chile muestra, desde el siglo XX, **avances tecnológicos** con impactos relevantes en **actividades económicas del sector agroalimentario**, gracias a la **importación de ciencia, conocimiento y tecnología exógenos**, integrados localmente para la **transformación productiva del agro**, en primera instancia. Posteriormente, se dieron avances en el **desarrollo de conocimiento en biotecnología propia** e integradas a las capacidades tecnológicas locales para **mantener la posición competitiva y expandir la industria frutícola en mercados internacionales**.

En la **década del '80**, según Aránguiz²²⁸, la **contribución de la tecnología aplicada al medio agrícola** tuvo excelentes resultados en el **rendimiento y producción de cultivos tradicionales** (trigo, avena, cebada, centeno, arroz, maíz, lenteja, garbanzo, arveja, papa, maravilla, remolacha), al comparar los períodos 1970-1973 con el 1988-1989. En el **sector frutícola**, la apertura del comercio exterior, la política cambiaria y la apertura general de mercado tuvieron un **impacto positivo** y alentaron el crecimiento del sector. Esto obligó e inspiró a las empresas a enfrentar los **desafíos de crecimiento y de exportación**, incorporando aceleradamente **nuevas tecnologías y conocimientos**, introduciendo **variedades vegetales foráneas y propias** para responder a los gustos de los consumidores en mercados externos, e **invirtiendo en infraestructura y logística** para la conservación de la producción a fin de poder lograr con éxito su **transformación productiva** y sostener la **competitividad internacional**. Además de estas tecnologías, se incorporaron otras para el **manejo de campos y faenas agroindustriales** que permitieran responder a las **exigencias de exportación** de los países consumidores.

Por lo tanto, la **importación de equipamiento, maquinaria, conocimiento, licencias, materiales y conocimiento** provenientes desde el exterior, por parte de productores y exportadores se convirtió en una **práctica recurrente**. Entre las **memorias más destacadas** en la **transformación productiva** de la **industria agroalimentaria**, son destacadas las **innovaciones tecnológicas** en la **masificación de semillas mejoradas** y con **mayor rendimiento** productivo, el uso de **energías alternativas, tecnologías postcosecha, la tecnificación de las labores en campo** y en la **gestión de los negocios**. En este momento surgen los **grupos de transferencia tecnológica** que permiten la **participación tecno-productiva** en las **labores de campo a investigadores, transferencias y agricultores**, facilitando la **incorporación de técnicas, insumos y conocimientos nuevos** en los predios, así como retroalimentar adaptativamente aprendizajes que permitieran el desarrollo de **nuevos proyectos de investigación aplicada**.

En ese proceso, el **uso recurrente del conocimiento y tecnología** por el **sector privado** no ha sido acompañado por la **inversión en biotecnología y técnicas desarrolladas en Chile** para el mejoramiento genético. Se trata de una **capacidad subestimada** por los **agentes empresariales de la industria chilena**, que atribuyen el resultado en el desarrollo exportador y productivo frutícola a la trayectoria y esfuerzo privado.

Sin embargo, con el tiempo los **márgenes del negocio frutícola** en Chile han mostrado ser **cada vez menores** y los **desajustes biológicos y técnicos** son cada vez **más frecuentes**, evidenciándose aún más con el **cambio climático**, por lo que la incorporación de **genética extranjera** que **no se adapta** exactamente a la **realidad agroclimática y técnica de Chile**, comenzó a notarse con más fuerza. De ahí que **el Estado acordara con el sector privado** realizar los **primeros desarrollos** formales hacia **finales del 2000** con el **financiamiento compartido** para el **primer programa de mejoramiento genético**, que fue desplegado por la **Universidad de Chile** y la **empresa Andes New Varieties Administration (A.N.A.)**, sin perjuicio de que unos años antes el INIA hubiera comenzado un programa vinculado a la uva de mesa, pero de manera incipiente.

²²⁸ Aránguiz, J. P. (1989). *Agricultura chilena: Una historia de profundas y sucesivas transformaciones*. Política. Revista de Ciencia Política, pags.182, 183.

Así se llega a un contexto actual en que **desde el entorno científico-tecnológico** chileno se presume que, en general, **la industria chilena reconoce poco el aporte que la academia y los Centros de Investigación han realizado por el sector privado** en desarrollo de conocimiento y tecnología. **Tampoco el Ministerio de Agricultura (MINAGRI) al año 2023 hace gala de la inversión en I+D y en las tecnologías propias** desarrolladas para el **mejoramiento vegetal** y la **transformación productiva** del país, siendo que un **sinnúmero de recursos y capacidades del sector público han sido puestas a disposición** de este logro, y más aún desde 2007 con la creación de **Consortios Tecnológicos Empresariales** como parte de la política pública, aplicada por la CORFO.

No obstante ello, **en los últimos 30 años**, la **ciencia y tecnología** en el ámbito de la **biotecnología o del mejoramiento vegetal**, ya sea de **origen propio o importado**, le ha permitido a la **industria chilena** (especialmente en los ámbitos frutícola y hortícola) alcanzar un próspero **desempeño económico exportador**, pese a la escuálida inversión en I+D del sector privado y del sector público.

En el caso de las **exportaciones de servicios basados en tecnologías Agtech**, desde **2018** las **tecnologías agroalimentarias** se han convertido en uno de los **focos de priorización** en la **agenda de promoción exportadora** del país, identificándose como **servicios e industrias 4.0** (proveedores de bienes y servicios para el agro). A nivel de producto, los **nichos de exportación** vinculados al desarrollo de conocimiento son: **alimentos saludables** (ingredientes y aditivos naturales, alimentos funcionales o fortificados, alimentos dirigidos a personas con alergias alimentarias), **vino de nicho** (de autor, naturales, ancestrales, orgánicos, patrimoniales, otros), y **productos orgánicos, frutos secos y deshidratados**²²⁹.

10.2.3 Preguntas de investigación

Las **principales preguntas de investigación** asociadas con el caso de estudio llamado **Tecnologías Agroalimentarias** buscan responder a los siguientes objetivos:

- **¿Cuál ha sido la evolución histórica del sector de Tecnologías Agroalimentarias?** Identificando de forma explícita los avances y resultados alcanzados en cuanto a desarrollo tecnológico en los últimos años.
- **¿Cuáles son las principales barreras y desafíos que obstaculizan el desarrollo tecnológico?** Detectando brechas de desarrollo en Chile.
- **¿Cuáles son las principales falencias respecto al apoyo institucional en Chile?** Determinando acciones por tomar desde el sector público e identificando referentes internacionales en desarrollo tecnológico asociados a cada caso.

Por tanto, el **cuestionario de preguntas** del estudio buscó profundizar en el análisis de información limitada, recogida en fuentes secundarias, y confirmarla, vía fuentes primarias, enfocando la atención en los siguientes aspectos:

- **Validar la relevancia** del Estudio de Caso como evidencia de trayectoria de desarrollo tecnológico.
- Determinar **origen histórico y cronológico de las trayectorias y dominio tecnológicos** del caso.
- Explorar sobre el **nivel de madurez tecnológica** y sobre las principales referencias asociadas al caso.
- Identificar la **tipología de barrera con mayor presencia** en el ámbito de Tecnologías Agroalimentarias y realizar una aproximación de su nivel de prioridad.
- Identificar las **dificultades y obstáculos institucionales**.
- Determinar el **posicionamiento de Chile**, con relación a las Tecnologías Agroalimentarias.

²²⁹ ProChile (2019). *Crecimiento y diversificación de las exportaciones: Desafíos para las políticas económicas*. Seminario Universidad de Chile, PROAMERICA.

10.2.4 Metodología de obtención de datos

Para la elaboración del presente **Estudio de Caso** se utilizó una **metodología mixta** basada en la **revisión de fuentes secundarias**; formulación y aplicación de un **pre-test a un entrevistado**; y **aplicación final de cuestionario final adaptado** al tipo de agente incumbente, con preguntas semiestructuradas.

Se ha entrevistado a **cinco agentes** seleccionados individualmente (procurando incluir a agentes pertenecientes tanto al sector público como privado) con vasta **trayectoria** y **conocimiento** en Tecnologías Agroalimentarias. Estos agentes son los siguientes:

- ❑ **Cristian Sagal**, Agregado Inversiones en Francia. InvestChile. 16.09.2023.
- ❑ **Graciela Urrutia**, Gerenta. Programa Nacional Transforma Alimentos. 02.11.2023.
- ❑ **Geraldine Mlynarz**, CEO, Ictio Biotechnologies. 15.11.2023.
- ❑ **Laurens Klerkx**, Investigador de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad de Talca. Grupo de Conocimiento, Tecnología e Innovación Universidad de Wageningen, Países Bajos. 17.11.2023
- ❑ **Rodrigo Cruzat**, Gerente. Consorcio tecnológico empresarial BioFrutales. 05.12.2023

Las barreras y obstáculos se agruparon en **5 dimensiones**, según se identifican a continuación: **i) institucionales; ii) mercados; iii) financiamiento; iv) talento; v) otros**.

10.2.5 Análisis preliminar de la información obtenida

a) Priorización de las barreras según relevancia

A continuación, se presenta el **esquema de priorización de barreras** derivado de las entrevistas siguiendo una lógica de causa – efecto, una vez sistematizada la información obtenida.

Barrera	Priorización
▪ <i>Instituciones y fallas interagencias</i>	1
▪ <i>Mercados y ecosistemas poco robustos</i>	2
▪ <i>Financiamiento</i>	3
▪ <i>Talento</i>	4
▪ <i>Otros (cultura, agenda política capturada)</i>	5

Fuente: Elaboración propia, basado en las entrevistas realizadas y fuentes secundarias

b) Análisis de barreras y proyección de datos

Chile cuenta con **condiciones habilitantes** que le favorecen, al igual que otros países (Perú, México, India, Finlandia, Holanda, EE. UU, Francia, España, Italia), gracias al **potencial competitivo**, con una **matriz energética** posible de descarbonizar al 2040, en un escenario agroalimentario y de energías limpias.

Al respecto, la actual **agenda política** está capturada por el **litio** y el **hidrógeno verde**, no existiendo el suficiente **espacio ni recursos** (aún fragmentados) **para priorizar más y mejor inversión pública, público-privada** ni el **interés de inversión empresarial en I+D e innovación** para el desarrollo de bienes y servicios, basados en algunas de las **tecnologías agroalimentarias** más emergentes, pero con una **trayectoria de inversión de más de 20 años**.

A continuación, se analizan las barreras priorizadas por un lado, para la **Agtech** y, por otro, para la **biotecnología**.

Las principales fallas identificadas en **Tecnologías Agroalimentarias o Agtech** tienen relación con:

- **Financiamiento acotado y fragmentado** para **escalar comercialmente nuevas empresas y tecnologías** que están cambiando la forma en que se producen alimentos al mercado doméstico, y a la escasez de capital de riesgo operando;
- **Desconfianza y dificultades** para lograr **validar ciertas tecnologías**, colaborar y **maximizar la inversión y el impacto** de dichas tecnologías, además de fortalecer un **ecosistema de emprendimiento innovador**, con aporte privado;
- **Escasez de talento** y de ciertas **formaciones** necesarias.

Un caso ejemplar es la empresa **Kilimo Agtech**.

KILIMO AGTECH

NICHOS DE OPORTUNIDAD Y BRECHAS EN EL TALENTO FORMADO

*Tras un viaje de seis meses entrevistando a agricultores argentinos para detectar sus problemas, en 2014 nació Kilimo, una empresa emergente con una **plataforma para monitorear la gestión del riego en el agro basada en Big Data y machine learning** que, tras **analizar grandes cantidades de datos** le entrega al agricultor **recomendaciones simples de cuándo y cuánto regar**.*

*En 2018, Kilimo fue seleccionada por el **programa StartUp Chile**, recibiendo por consiguiente US\$ 100 mil en financiamiento. Con estos recursos y el apoyo del **Fondo Alaya** Kilimo abrió una **oficina en el país**. Ese mismo año cerró una **ronda semilla por US\$ 1 millón con The Yield Lab**, fondo estadounidense especializado en soluciones tecnológicas agrícolas y que es parte del **Programa Nacional Transforma Alimentos**.*

*Kilimo, con **datos climáticos y satelitales**, entrega recomendaciones para **mejorar el rendimiento del riego hasta en un 30%** en el sector agrícola. A día de hoy cuenta con **más de 200 clientes en la región** y formaron en 2019 una **academia de riego online y gratuita** que ha capacitado a más de 65 mil agricultores, para maximizar la posibilidad de uso de la tecnología y de acelerar la absorción de conocimientos en el medio productivo, lo que le ha permitido alfabetizar digitalmente a los agricultores en América Latina, **con aportes del BID**.*

*Kilimo trabaja en la **gestión del software**, lo que permite una **escalabilidad tecnológica y comercial rápida**. En Chile están hace más de 5 temporadas agrícolas, **especialmente en frutales**, donde **el riego tiene más importancia**. El agricultor chileno tiene recursos para invertir en tecnología y el desafío está en su adopción, lo que abre una oportunidad para Kilimo.*

*El **40% de sus clientes** son de la **Región de O'Higgins**, a los que se les ofrece **servicios de inteligencia**, mediante una **plataforma de riego para cultivos intensivos y extensivos**, que le permite generar recomendaciones a las empresas y productores de sector, respecto a cuánto y cómo regar. El **desafío** está en **generar un espacio de integración de las distintas plataformas tecnológicas**, que haga más eficiente, oportuno y transparente el funcionamiento competitivo en el vertical Agtech.*

*En este ámbito, es importante la **afluencia de más empresas de base tecnológica** y su implantación en Chile, despertando el interés de nuevos fondos de inversión que generarán un **ecosistema colaborativo** más competitivo en las **regiones de la zona central del país**.*

*En materia de **nichos de empleabilidad** se necesita de ingenieros agrónomos de vocación digital, bilingües, flexibles, dinámicos, con pensamiento analítico y visión equilibrada entre la escalabilidad y la customización. De allí que las carreras tradicionales deban incorporar la formación de competencias de modo urgente, para lograr **mayor impacto de la inversión en Agtech**.*

En el campo de la **biotecnología**, las principales barreras son las siguientes:

i) Instituciones y fallas interagencias

- La **coordinación interagencia** (FIA, CORFO, ANID) muestra ciertos **obstáculos** que las personas entrevistadas asocian con **falta de mandato claro** y de **voluntad institucional** para impulsar ciertos desarrollos tecnológicos empresariales **financiados con recursos públicos por más de 10 años**, como son algunos de los **resultados de los consorcios tecnológicos empresariales** en fruticultura. Esto se da especialmente en el **escalamiento de tecnologías** con un **grado de madurez temprano** (TRL 3,4,5) y de su **gestión, validación y escalamiento comercial** (TRL 6,7,8,9). **Se detectan capacidades**, pero la estructura actual **carece de medios de coordinación** entre las universidades, centros de investigación y de desarrollo, la empresa y el sector público, que genere condiciones institucionales para colaborar como un ecosistema eficaz.
- El **país** se encuentra en un **nivel de madurez** superior al de hace 10 años para **implantar en la industria las nuevas tecnologías** y enfrentar las nuevas transiciones económicas pero la **transición político-institucional es lenta**. La distribución de competencias, funciones y de capacidades todavía no está enteramente asumida por las partes (CORFO, ANID, FIA, MINECON, MINAGRI, Asociaciones Gremiales, otras) en materia del mejoramiento genético vegetal con impacto en la industria de exportación y mercado interno.
- Es clave una **entidad que lidere y proyecte cómo priorizar estratégicamente el desarrollo de un ecosistema robusto de tecnologías agroalimentarias**. Al respecto existen **evidencias y experiencias exitosas** en **Holanda, Finlandia y Francia**, posibles de ser emuladas, y que podrían aportar en la definición y complementación de incentivos adecuados con foco a la transformación sostenible y a acelerar la absorción tecnológica de ciertos desarrollos con la finalidad de maximizar el uso y los resultados del esfuerzo logrado. Y, no es evidente que alguna de las organizaciones mencionadas esté empoderada para liderar, resguardando los equilibrios, y acelere la transformación del sector empresarial.
- Por otra parte, **MINAGRI** no está presente en la discusión. Su **ausencia** es total al momento de **priorizar el desarrollo de las tecnologías agroalimentarias** como factor de resiliencia económica para el país. La validación que haga la cartera sectorial a la cual pertenece el insumo o el esfuerzo tecnológico es clave para priorizar la agenda de política; pero el Ministerio de Agricultura actual no está ni en las mesas de trabajo.

ii) Mercado poco robustos e insuficientes

- Los avances en la **genética** requieren migrar de un modelo basado en competir por precios, a uno de **establecimiento de precios** a partir del **valor agregado por procesos** a través de tecnología para el mejoramiento genético vegetal; esto significa cambiar el modelo exportador dominante.
- La existencia de **empresas como A.N.A.** son **escasas en el país**, así como la preocupación de completar las conexiones para **vincular el ecosistema financiero, científico-tecnológico y empresarial** con las **necesidades actuales y futuras del mercado**. Hoy, las **empresas exportadoras no logran responder a soluciones demandadas por los mercados receptores globales**, como China, que demanda productos que **combinan calidad nutricional, gusto y estética vegetal**, y que requiere **inversión en mejoramiento genético o creación de nuevas especies vegetales**. Otros **mercados más exigentes** piden **soluciones innovadoras de alta tecnología** para poder **afrentar el cambio climático**. Chile se encuentra a años de distancia respecto a Israel y EE.UU. exportando genética y desarrollo de agentes económicos y tecnológicos para que operen en mercados eficientes y robustos. Sin embargo, **Chile está en condiciones de exportar tecnología genética vegetal en frutales**, pues ya lo hace, pero a niveles episódicos.

iii) Financiamiento

- **Financiamiento público y privado insuficiente y fragmentado**, pensado de forma de **capitalizar rápidamente la inversión**, con un sector privado escasamente implicado en el desarrollo de un ecosistema de capital riesgo.

iv) Talento

- Falta **conocimiento técnico-comercial** para **testear, validar y escalar** las **tecnologías producidas por el país**. Al respecto, tampoco se cuenta con **agregados agrícolas chilenos**, talento para acompañar los procesos para la comercialización en el exterior y con el sector privado.
- **Falta capacitación y talento calificado**, así como **capacidades técnico-institucionales** para que la **red de agregados agrícolas en el exterior**, manejada por **ODEPA**, promueva la actual oferta tecnológica agroalimentaria de Chile. Actualmente, los funcionarios están dedicados a **destrabar barreras al comercio de bienes en países destino**, especialmente en aquellos **territorios con acuerdos suscritos con Chile**.

Estas barreras se pueden detectar en el caso del Consorcio Tecnológico Empresarial Biofrutales.

CONSORCIO TECNOLÓGICO EMPRESARIAL BIOFRUTALES

PROYECCIÓN DE DATOS EN BIOTECNOLOGÍA FRUTÍCOLA VEGETAL

Biofrutales es un **consorcio tecnológico empresarial**, creado al alero de la aplicación de la política pública de base tecnológica, que actualmente gestiona el desarrollo de proyectos I+D con el objetivo de generar nuevas y mejores variedades frutales para Chile y el mundo.

En **18 años** ha **invertido más de USD 13 millones**, representando el **40% del esfuerzo en breeding y en biotecnología vegetal**, lo que, proyectado al país, podría significar una inversión de USD 33 millones para el desarrollo tecnológico propio de la industria frutícola. En 10 años, las **uvas y duraznos** producidos con **tecnología de Biofrutales**, plantadas en 900 hectáreas, han permitido **producciones exportables más resistentes, sanas y que lleguen en mejores condiciones a los mercados de destino**. Eso sin que exista una política tecnológica sostenida e integral, pero es una muestra, de lo que podría estar perdiendo el país por no hacer apuestas tempranas y decididas de inversión.

CHILE AGROCLIMÁTICAMENTE SE PARECE, PERO NO ES CALIFORNIA

La **tecnología biológica** va mutando y genera soluciones para la alimentación del mundo. Son insumos tradicionalmente importados por la industria chilena que **se ha convertido en un problema para la producción frutícola**, ya que muchas de estas tecnologías se han desarrollado para operar en condiciones que no son exactamente las de Chile. Con el cambio climático, entre otros factores, se enfrentan problemas de adaptación biológica que obligan a desarrollar soluciones concretas adaptadas a las necesidades de transición económica y productiva del país y poder sostener la competencia en los mercados.

Hoy en día, por ejemplo, **no se cumple con la calidad de cítricos que China demanda. No tenemos el producto ni anticipación para producir la tecnología apropiada** que los chinos necesitan y esto resulta en oportunidades perdidas, pues **con la genética actual que produce Chile, no logrará tener ese producto** (cítrico dulce, sin semilla, jugoso y pigmento amarillo naranja brillante) **en el corto plazo**. Sin embargo, Chile tiene potencial para adaptar su matriz productiva a una basada en energías renovables, incorporando hidrógeno verde como vector que aporta flexibilidad a la industria. Esto aportaría sustanciales beneficios para la fruticultura, a partir de una oportunidad de transición a la fruticultura verde y sustentable.

10.2.6 Conclusiones

- **Chile** cuenta con **condiciones habilitantes** que lo favorecen en la **transición** hacia un **Desarrollo Productivo Sostenible** y cuenta con **capacidades científico-tecnológicas** y **talento calificado** para el despliegue **intensivo de la actividad de I+D e innovación**, respecto a otros países. Sin embargo, se detecta que los **niveles de inversión** en el desarrollo de **tecnologías agroalimentarias**, especialmente por parte del sector empresarial, aún son **bajos**.
- Los **obstáculos y barreras** principales son de **carácter institucional** y **fallas en la coordinación interagencia**, **mercado doméstico** con **bajo volumen de empresas**, **financiamiento insuficiente**, **escasas organizaciones e incentivos** y **fondos de capital de riesgo**, así como **falta de talento** y de **cultura de innovación tecnológica**.
- La **ausencia total del MINAGRI** en la discusión y la **necesidad de una institución que orqueste las conversaciones** para **acelerar el desarrollo tecnológico** dentro de un ecosistema **consistente y robusto** con previsión de inversión en el **dominio de las tecnologías agroalimentarias**, como elemento crítico esencial en la **resiliencia económica** del país.
- **Chile**, al año **2040**, podría ser el **primer país con una agricultura e industria frutícola** que se basa en una **matriz energética verde y descarbonizada**, lo que promovería un **posicionamiento global diferencial** respecto a otros países del continente y del mundo.
- **Chile invierte poco y de manera fragmentada** en **desarrollo tecnológico** ligado al agro. Sumado a cierta **inercia del modelo exportador** y del **empresariado** con una **cultura pro-importación** de tecnologías desarrolladas por otros países, podrían constituir la tormenta perfecta para **ralentizar la transformación económica basada en tecnologías agroalimentarias**.

10.2.7 Bibliografía del Estudio de Caso

- ABSA (2023). Mapeo de capacidades en mejoramiento genético basado en biotecnología en Chile. Agrupación por la Biotecnología y Sostenibilidad Agroalimentaria, enero, 2023
- Aránguiz, J. P. (1989). Agricultura chilena: Una historia de profundas y sucesivas transformaciones. Política. Revista de Ciencia Política, pags.182, 183.
- Banco Central (2023). Participación en el PID de actividades económicas seleccionadas. Chile. Extraído del sitio web: https://si3.bcentral.cl/Siete/ES/Siete/Cuadro/CAP_CCNN/MN_CCNN76/CCNN_EP18_05_ratio/637801088750197615
- CORFO & WINNOVA (2021). Consultoría para la determinación de obstáculos y recomendaciones para el Escalamiento comercial de productos tecnológicos con fines productivos. Chile.
- DIPRES (2022). Descripción de la política pública de promoción de exportaciones. Parte I, II. Ministerio de Hacienda, Chile. Extraído del sitio web: https://www.dipres.gob.cl/598/articles-266620_ev_sec_Parte_I.pdf; https://www.dipres.gob.cl/598/articles-266620_ev_sec_Parte_II.pdf
- Endeavor (2022). Radiografía Agtech. Santiago: Endeavor Chile
- ProChile (2019). Crecimiento y diversificación de las exportaciones: Desafíos para las políticas económicas. Seminario Universidad de Chile, PROAMERICA.

10.3 Estudio de Caso III: Resiliencia ante Desastres

10.3.1 Enfoque del caso: Resiliencia ante Desastres

Chile es el país de la OCDE que más daños y pérdidas ha sufrido por desastres naturales y con el mayor riesgo ante nuevas posibles catástrofes. El 54% de la población y el 13,9% de su superficie están expuestos a amenazas permanentes (terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, incendios forestales, etc.).

En 2020, el **Banco Interamericano de Desarrollo (BID)** recomendó a Chile crear una **estrategia de gestión financiera del riesgo de desastres** que permita fortalecer la **gobernanza** y la **protección financiera** ante posibles catástrofes. Ello significa, además, tomar **acciones presupuestarias** conducentes a la **introducción de instrumentos** que promuevan la trazabilidad sobre el **Gasto Público** en **Gestión Integral del Riesgo de Desastres**. Por ejemplo, los **incendios forestales**, en el período 2022-2023, provocaron al país **pérdidas** cercanas a los **900 millones de dólares**.

Por otra parte, esta situación abre la puerta al surgimiento de **soluciones tecnológicas preventivas** ante los desastres. Para ello, se requiere un compromiso para la **evolución** hacia **políticas públicas** que propicien **acuerdos** entre los **actores involucrados** y permitan establecer estándares de resiliencia acordes a los tiempos. De esta manera, se prestarían **servicios de suministro de energía eléctrica, agua potable, sanidad, desarrollo de obras públicas** de forma segura, que a su vez impulsarían la **resiliencia en la implementación y operación** de nuevos **proyectos público-privados**; en la **actualidad**, esto tiene un **grado de desarrollo incipiente**.

El **desarrollo de tecnologías innovadoras** frente al **desastre** en **Chile** es un **fenómeno reciente**, aunque en el caso puntual de **resiliencia antisísmica**, el país cuenta con una **trayectoria**²³⁰ **de más de 50 años**. El **conocimiento a nivel climático** es **incipiente**, tanto en Chile como a nivel global, con pocos países a la vanguardia; **solo las tecnologías antisísmicas tienen mayor maduración**.

La **clasificación de tecnologías** ante **catástrofes naturales** reconoce los siguientes dominios:

- **Ciencia y tecnología y soluciones técnicas sobre la amenaza**, es decir, de carácter **reactivo** (monitoreo de intensidad de los eventos, frecuencia, etc.).
- **Dominios relativos a la evaluación del riesgo** y la capacidad de resiliencia de los ecosistemas naturales.
- **Modelos de exposición y de la fragilidad** ante riesgos naturales de activos geolocalizados territorialmente en el país, es decir, de carácter **predictivo**.

10.3.2 Contexto

El **terremoto del año 2010** trajo consigo nuevas normativas de exigencia en materia de estructuras habilitantes y abrió un espacio coyuntural para el **desarrollo de tecnologías orientadas a la protección de infraestructuras**, con base en estándares internacionales, en que **Chile es hoy un referente**; sin embargo, no se ha avanzado respecto a otros tipos de desastres naturales o provocados por el cambio climático.

El **Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo (CTCI)**, en el año 2016, a solicitud del Gobierno Nacional, inicia el diseño de la **Estrategia Nacional**

²³⁰ Ciertamente, la resiliencia de Chile frente a terremotos tiene raíces históricas y se remonta a cincuenta o cien años atrás. En este sentido, han sido tal vez las decisiones del Estado las más relevantes. Estas definieron un contexto general que afectó el desarrollo a través de políticas públicas que definieron donde, qué y cómo construir. Las opciones institucionales y de regulaciones por las que se optó tuvieron un enorme impacto en definir tanto la exposición como la actual resiliencia de la infraestructura frente a terremotos". De la Llera, J. C., Rivera, F., Gil, M., Santa María, H., & Cienfuegos, R. (2017). Infraestructura Resiliente: Lecciones del caso chileno. Integración & comercio, (41), 302-315. El artículo toma el ejemplo del caso chileno asociado al evento de terremoto del año 2010, detallando las especificidades técnicas que debería cumplir la nueva infraestructura para amortiguar los daños producidos por estos terremotos, inundaciones, tsunamis o erupciones volcánicas y otras catástrofes.

de Investigación, Desarrollo e Innovación para un Chile Resiliente frente a Desastres de Origen Natural. En ese entonces, se crea una Comisión (**CREDEN**), integrada por 80 expertos, que trabajó durante 12 meses en la definición de dicha estrategia, que termina con la identificación de al menos 5 Condiciones Habilitantes y 14 Tareas, sin planes vinculantes con presupuestos.

ITREND, el Instituto para la Resiliencia ante Desastres, surge como resultado de la definición estratégica articulada por el CTCI, como iniciativa o Instituto Tecnológico Público, creado por el Estado para resolver ciertas fallas sistémicas para acelerar ciertos desarrollos tecnológicos ante la resiliencia económica de Chile.

En marzo de 2019 se pone en marcha el primer equipo de profesionales en ITREND para cumplir un rol de **coordinación y de articulación de capacidades tecnológicas para el uso de la ciencia y tecnología por el Estado**, e impulsa el establecimiento de **acuerdos para el desarrollo de estándares de resiliencia en bienes públicos e infraestructura vinculada al agua y suministro de energía**, entre otros²³¹.

En la actualidad, **ITREND** es un agente crítico en la interfaz de conversaciones para acelerar el desarrollo de dominios tecnológicos ante riesgos y desastres que hagan a Chile más resiliente. En una misma mesa de trabajo permite la afluencia del ecosistema científico tecnológico, empresarial y el sector público.

La **Ley 21.364**, publicada en agosto de 2021, establece el nuevo **Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED)**, a cargo de asesorar, coordinar, organizar, planificar y supervisar las actividades relacionadas con la Gestión del Riesgo de Desastres en Chile. Esa misma norma creó el **Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED)**, con el objeto de dar respuesta a los desastres naturales. Hoy en día, dicho sistema está configurado con la participación de entidades públicas y privadas, a nivel nacional, regional, provincial y local, que tienen competencias compartidas relacionadas con el ciclo del riesgo de desastres para garantizar una adecuada Gestión del Riesgo de Desastres, aglutinando las políticas, planes, regulaciones, procedimientos e instrumentos atinentes a la Gestión del Riesgo de Desastres.

En opinión experta, la **Ley 21.364** ha impuesto un **ordenamiento para el accionar preventivo frente a desastres**, como la creación de **mapas de riesgo y amenazas**, con responsabilidades en su diseño y aplicación por parte de diferentes organismos técnicos y administrativos del Estado, **impactando en planes de ordenamiento territorial, reguladores y por supuesto en el uso del suelo para actividades económicas**. A modo de ejemplo, un mapa de amenaza sísmica o un mapa de amenaza volcánica tiene implicancias sobre planes reguladores y éste sobre: las construcciones, las edificaciones, el precio de los activos, desarrollo productivo, la inversión, la movilidad de la población, entre otros. Ese necesario ordenamiento regulador trae ciertos desafíos políticos y técnicos que son de difícil resolución para lograr acuerdos, aunque están en la dirección adecuada.

En ese contexto, la **mediación tecnológica** entre la **academia, industria, la comunidad y el Estado**, es una de las **principales dificultades** para generar y aprovechar la información, contando con datos de calidad y conocimiento a fin de alimentar a un sistema de información nacional de resiliencia. De no gestionarse estos elementos de la Ley, con algún ente articulador, ésta corre el riesgo de convertirse en letra muerta.

²³¹ Ley N° 21.542, sobre infraestructura crítica fue publicada en el Diario Oficial de Chile. Habilita a que, mediante decreto supremo dictado por el Presidente y suscrito por el Ministro de Interior y Seguridad Pública y de Defensa Nacional, las Fuerzas Armadas se hagan cargo de la protección de infraestructura crítica del país ante peligro grave o inminente. La norma define por infraestructura crítica, a: (...) un "conjunto de instalaciones, sistemas físicos o servicios esenciales y de utilidad pública, así como aquellos cuya afectación cause un grave daño a la salud o al abastecimiento de la población, a la actividad económica esencial, al medioambiente o a la seguridad del país. Del mismo modo, dentro del concepto de infraestructura indispensable para la generación, transmisión, transporte, producción, almacenamiento y distribución de los servicios e insumos básicos para la población, tales como: energía, gas, agua o telecomunicaciones; la relativa a la conexión vial, aérea, terrestre, marítima, portuaria o ferroviaria, y la correspondiente a servicios de utilidad pública, como los sistemas de asistencia sanitaria o de salud", obligando a regular criterios para identificar la misma.

10.3.3 Preguntas de investigación

Las **principales preguntas de investigación** asociadas con el caso de estudio llamado **Tecnologías de Resiliencia ante Desastres** buscan responder a los siguientes interrogantes:

- **¿Cuál ha sido la evolución histórica del sector de Tecnologías de Resiliencia ante Desastres?** Identificando de forma explícita los avances y resultados alcanzados en cuanto a desarrollo tecnológico en los últimos años.
- **¿Cuáles son las principales barreras y desafíos que obstaculizan el desarrollo tecnológico?** Detectando brechas de desarrollo en Chile.
- **¿Cuáles son las principales falencias respecto al apoyo institucional en Chile?** Determinando acciones por tomar desde el sector público e identificando referentes internacionales en desarrollo tecnológico asociados a cada caso.

Por tanto, el **cuestionario de preguntas** del Estudio buscó profundizar en el análisis de información recogida en fuentes secundarias, y confirmarla, vía fuentes primarias, enfocando la atención en los siguientes aspectos:

- Determinar **origen histórico y cronológico de las trayectorias y dominio tecnológicos** del caso.
- Identificar el **posicionamiento de Chile**, en cada tipo de tecnología y posibles nichos.
- Identificar la **tipología de barrera con mayor presencia** en el ámbito de Tecnologías de Resiliencia ante Desastres y realizar una aproximación de su nivel de prioridad.

10.3.4 Metodología de obtención de datos

Para la elaboración de este **Estudio de Caso** se utilizó una **metodología mixta** basada, por un lado, en la **revisión de fuentes secundarias**; y por otra parte, en la formulación y aplicación de un **cuestionario de entrevista adaptado** al tipo de agente incumbente, con preguntas semiestructuradas. Se ha entrevistado a las siguientes instituciones, reconocidas como impulsores de la actividad de resiliencia ante desastres en el país:

- **Catalina Undurraga**, Directora ejecutiva del ITREND Chile. Fecha de Entrevista: 20.11.2023
- **Juan Carlos De La Llera**. Presidente ITREND y Académico Pontificia Universidad Católica de Chile. Fecha de Entrevista: 24.11.2023
- **Juan Pablo Candia**. Jefe División de Estrategia y Gestión Corporativa InvestChile. Fecha de Entrevista: 30.11.2023

Los entrevistados fueron seleccionados siguiendo criterios de conveniencia (recomendaciones de entrevistados y conexiones con redes), atendiendo a la especialización y existencia acotada de especialistas en la materia con una visión holística que permitieran realizar un análisis comprensivo e interpretativo con la información aportada.

Las **barreras y obstáculos** fueron agrupadas en **4 dimensiones**, según se identifican a continuación: **i) institucionales y fallas interagencia, ii) financiamiento; v) mercados y ecosistemas poco robustos; y iv) talento.**

10.3.5 Análisis preliminar de la información obtenida

El avance a nivel mundial del conocimiento sobre las tecnologías frente a amenazas naturales es menor que el que se ha dado en Chile a nivel sísmico. Sin embargo, pese a existir una **excelente base de producción científica, la comunidad académica es pequeña y son escasas las empresas de base científico-tecnológicas (EBCT)**. También se pone de manifiesto la **necesidad de una mayor inversión extranjera directa (IED)**, aunque no es una industria priorizada por el Comité de Ministros, presidido por el Ministro de Economía, Fomento y Turismo, que define las prioridades estratégicas en la atracción de fondos de capital al país.

Existen distintas brechas, atendiendo el tipo de dominio tecnológico y ámbitos de riesgos ante desastres naturales. Como se ha comentado, **a nivel sísmico, Chile es uno de los países referentes**

a nivel internacional, con conocimiento de punta y con estándares de estructuras de clase mundial. **Esto no se da así en el caso de desastres ante incendios, aluviones, u otro tipo de fenómenos.** A continuación, se identifican las principales brechas asociadas al caso de estudio, asociadas a entrevistas realizadas.

a) Priorización de las barreras según relevancia

Las principales barreras identificadas, más frecuentemente documentadas y mencionadas por los entrevistados son priorizadas, de mayor a menor importancia.

Barrera	Priorización
▪ <i>Instituciones y fallas interagencia</i>	1
▪ <i>Financiamiento</i>	2
▪ <i>Mercados y ecosistemas poco robustos</i>	3
▪ <i>Talento</i>	4

Fuente: Elaboración propia, basado en las entrevistas realizadas y fuentes secundarias

b) Análisis de barreras y proyección de datos

b.i) Fallas institucionales e interagencia

- **Falta de confianza**, que impacta en el esfuerzo de coordinación, y limita que el ecosistema se acelere y se generen soluciones compartidas de utilidad para el país. A ello se añade la **segmentación sectorial** en la estructura de organización del Estado y del presupuesto, en el que cada servicio público se ocupa de su mandato, y no existen **instancias comunes** para promover buenas prácticas de resiliencia frente a riesgos naturales y desastres.
- Otro rasgo característico, que constituye una barrera cultural, es el frecuente **hermetismo sobre la información, los datos, el uso de competencias compartidas y el recelo institucional**, extendido a entidades como SENAPRED, a grupos de investigación, la academia, los privados y distintas reparticiones del Estado; esto tiene efectos evidentes sobre la fragmentación de la información, de los datos y de los presupuestos, y trae mayores costos de transacción, producto de la desconfianza y un bajo aprovechamiento de información existente.
- Por otra parte, faltan los **incentivos y voluntades políticas** para agilizar la construcción de un sistema nacional de datos e información para la resiliencia ante desastres, en lo cual **está trabajando ITREND con distintos servicios públicos, universidades y entidades**, y que requiere de un esfuerzo de inversión, de al menos 300 millones de pesos anuales, adicionales a su presupuesto, para lograr la homogeneización de los datos y la puesta a punto para su uso público en la mitigación de desastres y riesgos naturales.
- Asimismo, falta una **visión estratégica para la atracción de empresas de IED**, el establecimiento de nuevas **colaboraciones internacionales** para el escalado de las soluciones desarrolladas en Chile y la promoción de oportunidades para empresas inversoras que generen las bases habilitantes para el escalado de nuevas empresas de base científico-tecnológica (EBCT) y el crecimiento de industrias basadas en tecnología.
- Por último, se necesita la **difusión del conocimiento y de los avances a nivel sísmico** para **impulsar el crecimiento de las restantes áreas vinculadas a desastres**. Esto permitirá la generación de políticas más resilientes para el desarrollo sostenible del país.

b.ii) Financiamiento

- Existe un permanente desafío de **promover la resiliencia ante desastres** desde una mirada de la gestión de recursos públicos, en donde aún no se cuenta con un marco de acuerdo robusto y compartido sobre la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD) en el contexto chileno.
- En el año **2023**, por primera vez **se cuantificó la necesidad de avanzar hacia un diseño presupuestario** que incluya recursos para el **abordaje de una política transversal en materia de resiliencia**, su gestión institucional y tecnológica para Chile y la necesidad de contar con

cuentas nacionales sobre el aporte de este dominio en la economía o el PIB, lo que aún está invisibilizado en la agenda pública, máximo cuando la infraestructura crítica pública no se encuentra asegurada por el Estado.

- Se requiere más **autonomía presupuestaria y financiera de ITREND** para impulsar nuevos desarrollos. Al respecto, se avanza en la coordinación de recursos, a modo de dar a conocer los avances en el país en materia de conocimiento y colaborar con el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para crear instrumentos que permitan movilizar a grupos de investigación en torno a problemas identificados en los dominios ya mencionados.
- ITREND y el BID han realizado un esfuerzo por visibilizar cómo el Estado de Chile ha incorporado nuevos mecanismos de resiliencia ante desastres como una dimensión del desarrollo país, a partir de un análisis del gasto público destinado en programas, políticas y proyectos relacionados. Al respecto, cabe señalar que **la ocurrencia de catástrofes de gran magnitud o recurrentes significan un desafío y una oportunidad de especialización resiliente para el desarrollo del país**, por lo que es necesario invertir en tecnologías para mitigar sus efectos.
- Uno de los desafíos para acelerar el desarrollo del ecosistema tecnológico ante desastres es enfrentar la **pobre existencia de mecanismos de financiamiento presupuestados** para abordar la **construcción de un ecosistema basal** que aspire al desarrollo de **nuevas industrias tecnológicas y de conocimiento**.
- La captación de **mayores recursos por ITREND**, en un proceso de incubación de confianzas, pasa por un **aseguramiento de recursos públicos**, lo que no ha sido bien resuelto, pues en la actualidad **debe competir por fondos públicos con parte de los agentes del mismo ecosistema** (universidades, centros tecnológicos, otros), con los que hace un trabajo sistemático para construir confianzas, acuerdos de mediano y alianzas de largo plazo, esquema de financiación que pone en riesgo la credibilidad ganada.

b.iii) Talento

- El **nivel de formación** de las universidades chilenas en materia de resiliencia ante desastres es relativamente **incipiente**, con una **comunidad de conocimiento pequeña y acotada en materia de investigación**, aunque muy consolidada en el análisis de riesgo frente a este tipo de amenazas (especialmente sísmicas). No obstante, se detectan **brechas en dominios tecnológicos no sísmicos y en la gestión de datos de resiliencia**; una mejora permitiría llegar a tener un sistema nacional de información resiliente robusto.
- **Chile reconoce que no tiene suficientes investigadores trabajando de modo coordinado, sistemático y conectados** para el desarrollo de **modelos de exposición y de fragilidad ante incendios forestales**, siendo tecnologías de interés para la sociedad y el mundo. La **industria forestal chilena** cuenta con **desarrollos tecnológicos sofisticados**; se presume que algunos de éstos han sido importaciones y desarrollos foráneos, **desconocidos por el Estado o con limitado acceso** para su uso por los gobiernos. Esta situación revela una y otra vez una dificultad cultural relevante para generar confianzas y un especial oficio en la coordinación, al más alto nivel, para movilizar todos los recursos y capacidades involucradas e integrar esfuerzos público-privados para enfrentar los riesgos actuales y futuros con capacidad resiliente.
- La creación de **grupos de personas trabajando sistemáticamente** para poder transformar la realidad en materia de tecnologías ante desastres naturales es parte del **rol de ITREND**, y aún **incipiente aunque productiva**. Pero falta formar más capital humano avanzado, en distintas áreas, con la necesidad de al menos quintuplicar el número de especialistas para poder abordar las metas estratégicas, y mejorar la infraestructura experimental, con laboratorios equipados para obtener, captar, procesar y sacar provecho de grandes cantidades de datos de calidad, en formato resolutivo para los tomadores de decisión, que sean comprensibles.

b.iv) Mercados y ecosistemas poco robustos

- **Chile no tiene un mercado estructurado** para operar y hacer crecer una **industria de carácter global**, pero es un **laboratorio natural** para el **desarrollo de nichos de mercado de interés para las empresas internacionales** y puede facilitar las **condiciones habilitantes** para acelerar el **emprendimiento innovador en materia de resiliencia ante desastres**. Hoy en día, la creación de EBCT no tiene objetivos en cuanto a generar empresas de resiliencia tecnológica ante desastres.
- En línea con lo anterior, **falta visión y gestión integrada a nivel del Ministerio de Economía, Fomento e Industria para la atracción de inversión extranjera directa**, desarrollar **colaboraciones internacionales** capaces de escalar las soluciones locales y de **atraer nuevas empresas inversoras**, que generen las bases para el despegue de una nueva industria tecnológica, basada en la resiliencia económica. Para esto se requiere una articulación del presidente del Comité de Ministros para la Inversión Extranjera, con las agencias de Investchile y AGCID (Agencia Chilena de Cooperación Internacional para el Desarrollo), e integrar a este Comité al Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Evidencia de un caso: infraestructura crítica no asegurada por el Estado

El Estado de Chile no tiene asegurada su infraestructura crítica, solo aquella que está concesionada, y tampoco se tiene registro de la localización de la totalidad de la infraestructura existente. ITREND trabaja en un primer levantamiento de información, pone en una misma mesa a agentes que se desempeñan en la materia y los conecta potenciando las capacidades existentes, buscando definir incentivos para la investigación al respecto, vía convocatorias focalizadas de concursos. ITREND realiza un catastro de la infraestructura crítica pública de Chile que no está asegurada y se logró un primer inventario. Ese catastro está disponible hoy en la plataforma de datos y fue un trabajo conjunto con empresas y organismos aseguradores. ITREND, junto con aliados del sector público y privado, ha impulsado acuerdos para identificar las infraestructuras, geo-referenciarlas, caracterizarlas estructuralmente y hacer una primera estimación de costo, basado en el avalúo fiscal, que se encuentra lejos del valor económico de mercado; este proceso implicó el arduo trabajo del equipo durante un año.

A futuro, se realizará una estimación real del valor comercial de la infraestructura crítica del país. Para que el Estado avance en asegurar sus activos e infraestructura crítica, se requiere aportar información de calidad. Se facilitó la creación y consolidación de espacios de confianza y la construcción de acuerdos operativos que generen valor de interés público, haciendo una valorización del riesgo para que el Estado logre tener capacidad de resiliencia en la gestión de desastres, con foco en servicios esenciales no asegurados presupuestariamente. En torno a estos riesgos existe el sector de servicios de seguros y la Comisión de Mercado Financiero (CMF) como ente que cumple una función reguladora, para el mercado y las entidades que lo integran; además, cumple funciones asociadas con promover iniciativas para el desarrollo del mercado, mediante la elaboración y colaboración para la creación de nuevos productos e instrumentos.

Fuente: ITREND, Dirección ejecutiva, diciembre 2023

10.3.6 Conclusiones

- **Chile es el país de la OCDE con mayor riesgo y pérdidas por desastres naturales.** El 54% de la población y el 13,9% de su superficie están expuestos a una triada de amenazas permanentes (terremotos, maremotos e incendios forestales).
- **Chile ha alcanzado niveles de desarrollo de clase mundial en tecnologías antisísmicas,** pero no así ante otros eventos naturales, en que el conocimiento acumulado y los datos disponibles son aún incipientes, con necesidades de inversión, I+D y colaboración internacional.
- Los **mayores avances** logrados dicen relación con las **nuevas leyes aprobadas y reformas,** que impulsan la actividad y el rol de la institucionalidad pública y del país en la materia.

- El **desconocimiento en ámbitos de la resiliencia** lleva a la **necesidad de captación y aprovechamiento de datos**, si es que Chile decide ser un laboratorio natural de referencia estratégica en medición de estos fenómenos, pues se aprecia una brecha entre el riesgo real y la percepción del mismo por amenazas naturales.
- Para que **se desarrolle el mercado y las tecnologías ante desastres y riesgos** se requiere un empuje hacia la **transformación de las políticas públicas**; una muestra de ello es que **el Estado no tiene asegurada la infraestructura crítica**. Otra evidencia al respecto dice relación con la **agenda de prioridades de inversión extranjera directa (IED)**. Esta se encuentra concentrada en sectores como minería, energía, alimentos, entre otras, y no se detectan mayores iniciativas respecto a la atracción de negocio en resiliencia ante catástrofes naturales.
- La **principal barrera** detectada es de **nivel institucional e interagencia**, y se relaciona con la **necesidad de coordinación e integración de capacidades**, a partir de una **fragmentación de las soluciones existentes** en resiliencia ante desastres tanto a nivel público como privado. Cabe señalar, por ejemplo, que el sector privado en el combate de incendios forestales cuenta con soluciones sofisticadas, que no son puestas a disposición para el Estado.
- La **Ley 21.364** plantea la necesidad de **contar con nuevos instrumentos de gestión del riesgo de desastres**, lo que además implica una gestión sistemática para lograr la **generación, mantención y actualización en tiempo real de mapas de amenazas y de riesgos**. Solo estos mapas o herramientas abren una puerta para nuevos desarrollos tecnológicos asociados a ello, y así lograr resultados más sofisticados; para ello se requiere de recursos económicos, de conocimiento y financieros, y de coordinación con valor estratégico para quienes deben tomar decisiones, por ejemplo, para la planificación territorial.
- Es necesaria la **atracción de talento crítico**, así como la **formación en todos los niveles político-administrativos**, a fin de incrementar la base de conocimiento del país y la I+D+i en procesos de maduración de nuevas tecnologías para la resiliencia, con una glosa presupuestaria permanente.
- Se requiere un **financiamiento público de ITREND estable y permanente**, que no ponga en riesgo su credibilidad con agentes del ecosistema por tener que ir a competir con universidades y otros entes públicos, en la fase de incubación de confianzas y alianzas.

10.3.7 Bibliografía del Estudio de Caso

- CREDEN (Comisión de Resiliencia Frente a Desastres de Origen Natural). 2016. Hacia un Chile Resiliente frente a Desastres. Una Oportunidad. Estrategia Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación para un Chile resiliente frente a desastres de origen natural.
- De la Llera, J. C., Rivera, F., Gil, M., Santa María, H., & Cienfuegos, R. (2017). Infraestructura Resiliente: Lecciones del caso chileno. Integración & comercio, (41), 302-315.
- Ley N° 21.542 (2021). Sobre infraestructura crítica fue publicada en el Diario Oficial de Chile. Extraído del sitio web: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1188583&tipoVersion=0>
- ITREND & BID (2022). Informe Índice de Gobernabilidad y Políticas Públicas en Gestión del Riesgo de Desastres (iGOPP). Avances durante el período 2013-2020 y desafíos para 2021-2030. Santiago de Chile, abril 2022. Extraído del sitio web: https://conectaresiliencia.cl/wp-content/uploads/2022/04/Matriz-Infor-Pais-iGOPP-Chile-2020_ITREND-25-04-22.pdf
- ITREND (2023). Caracterización del gasto público destinado para la Gestión Integral del Riesgo de Desastres (GIRD). Noviembre, 2023, Santiago de Chile. Extraída del sitio web: <https://ITREND.cl/wp-content/uploads/2023/11/Caracterizacion-del-gasto-publico-en-GIRD-1.pdf>

11. CONCLUSIONES DEL ANÁLISIS

El Estudio ha permitido identificar **28 Factores Globales de Cambio (FCG)** que, de distinta manera, alteran la realidad en la que se encuentran inmersas las empresas, administraciones públicas, centros académicos y todo tipo de agentes vinculados al **desarrollo económico y productivo**.

Asimismo, se han definido **Dominios Tecnológicos** tomando como referencia a los países líderes en desarrollo tecnológico y las **tecnologías** que estos establecen como **críticas y emergentes**. Se ha procurado seleccionar solo aquellos dominios que están **vinculados** de forma demostrable con el **Desarrollo Productivo Sostenible**, a partir de evidencia científica en la materia.

Al momento de **conectar los Dominios Tecnológicos establecidos con los FCG**, se ha detectado que las apuestas estratégicas de los gobiernos en cuanto a **desarrollo tecnológico** están dirigidas a generar **mecanismos de resiliencia** frente a **potenciales situaciones de crisis** y a promover **cadena de valor y tejidos productivos sostenibles**. Se busca avanzar en el desarrollo endógeno de tecnologías para evitar la dependencia respecto a otros territorios, asegurar el suministro de recursos estratégicos y el acceso de los habitantes a servicios y prestaciones de calidad, e impulsar la competitividad local, en un contexto que exige acelerar la transición hacia una economía sostenible.

En esta línea, cabe destacar los siguientes FCG, que aparecen con mayor frecuencia en las **Matrices de Resiliencia Tecnológica** presentadas en el Capítulo 5:

- **Crisis de las cadenas de suministro globales**
- **Creciente preponderancia de China en Ciencia, Tecnología e Innovación**
- **Implementación de medidas proteccionistas**
- **Impulso a la movilidad sostenible e inteligente**
- **Estancamiento en el porcentaje de Cobertura Sanitaria Universal**

Los gobiernos se encuentran invirtiendo ingentes sumas de dinero en **investigación y desarrollo, infraestructura, atracción de talento e implementación de proyectos** para ser los primeros en desarrollar ciertas **líneas tecnológicas**, obtener **ventajas competitivas** frente a otras naciones e incrementar su **capacidad de respuesta** frente a posibles disrupciones en las cadenas de valor.

Desde una perspectiva de **Dominio Tecnológico**, las principales conclusiones obtenidas son las siguientes:

- Los países más avanzados en **desarrollo tecnológico** cuentan con **estrategias específicas** para promover el desarrollo tecnológico local de ciertos dominios; este desarrollo implica contar con **recursos financieros, capital humano e infraestructura** dedicados **específicamente** a cada dominio en particular y pone de manifiesto una **clara apuesta** por el desarrollo **tecnológico endógeno**.
- La mayoría de las **iniciativas estratégicas** dirigidas al **desarrollo tecnológico** persiguen como meta final impulsar el **Desarrollo Sostenible**, en un marco de crecientes regulaciones y exigencias para minimizar el impacto ambiental de la actividad productiva.
- En el **corto plazo**, los **objetivos de desarrollo** en relación con estos dominios tecnológicos se orientan a **asegurar el suministro de energía, insumos y materiales críticos** para el **desarrollo productivo local**, frente a la incertidumbre derivada de las crisis y conflictos internacionales.
- Con una **perspectiva de mediano y largo plazo**, en ciertos dominios tecnológicos de desarrollo incipiente se busca fomentar la creación de nuevas empresas de base tecnológica y generar las condiciones para que se mantengan en el país donde se originan; este es el caso del dominio de Robótica y Sistemas Autónomos. Este tipo de sectores dependen de **soluciones ad-hoc** que aún no cuentan con un estándar global escalable, por lo que contar con startups y empresas pioneras en desarrollo tecnológico puede implicar una importante ventaja competitiva.

- En muchos casos, los países invierten en **investigación y desarrollo** de soluciones que **mejoren a las existentes**, para mercados de crecimiento exponencial donde aquellos que logren dar solución a desafíos vigentes podrán convertirse en líderes de mercado. Este es el caso del **desarrollo de baterías eléctricas para vehículos eléctricos, autónomos e inteligentes**; la mejora incremental en aspectos de seguridad, velocidad de carga y capacidad de almacenamiento es crítica para la operación eficiente de la nueva movilidad.
- En la mayoría de las **líneas de desarrollo tecnológico** identificadas, así como a **nivel transversal** para el establecimiento de estándares para la innovación, un **reducido grupo de naciones** está **liderando el desarrollo** y destinando recursos para contar con **ventajas competitivas** respecto al resto de territorios. Esto podría incrementar la **dependencia** de los **países en desarrollo** respecto a tecnologías, suministro de materiales y recursos de unas pocas naciones, disminuyendo la capacidad de generar valor agregado.

Por otro lado, el análisis a nivel país ha permitido detectar **8 cadenas de valor estratégicas** en Chile. Se trata de actividades productivas que están asociadas directamente a recursos naturales; los minerales, el suelo, los bosques, el mar y fenómenos como la luz solar y el viento son la base de la actividad económica chilena. El análisis de **inputs o insumos claves** de las cadenas de valor arroja que los elementos que **más se repiten en las cadenas** son: **i) los combustibles**, de origen fósil en la actualidad y que principalmente se destinan al transporte de materiales y productos; **ii) la energía** (electricidad y gas) que permite la operación de numerosos procesos productivos; y **iii) el agua**, que es indispensable en actividades como la extracción de minerales o el riego de la tierra para el cultivo.

Por ello, los **Factores Globales de Cambio** que más impacto tienen en la actividad económico-productiva son los **relacionados con el cambio climático**, en especial los eventos climáticos extremos que cada vez se dan con mayor frecuencia en el país. La escasez de recurso hídrico, los incendios y la pérdida de biodiversidad por uso intensivo del suelo generan crecientes interrogantes sobre la sostenibilidad de la actividad en el futuro.

Ante esta situación, se aprecia que Chile está realizando importantes esfuerzos para impulsar la **transformación de estas cadenas productivas** a través del desarrollo y/o implementación de tecnologías. Sin embargo, existen desafíos aún por acometer para cada cadena de valor, algunos abordables en el corto plazo (ya que el país cuenta capacidades y fortalezas) y otros que requieren una planificación en el presente para su abordaje a largo plazo.

A corto plazo, se identifican las siguientes trayectorias tecnológicas que pueden permitir hacer frente a los desafíos que afronta Chile:

- **Promover el agregado de valor del litio**, un recurso cuya exportación creció en un 777% de 2021 a 2022, en forma de carbonato de litio. Chile tiene la oportunidad de impulsar proyectos de fabricación de baterías de litio nacionales y así exportar productos de mayor valor, generar empleos calificados y atraer nuevas inversiones.
- **Propiciar el escalado de los proyectos e iniciativas piloto vinculadas con el hidrógeno**, para asegurar su implementación en los distintos sectores identificados durante el informe. Esto permitirá, por ejemplo, la utilización a gran escala de combustibles sintéticos en camiones mineros.
- **Impulsar el desarrollo de equipos e infraestructura asociada al hidrógeno**, como los electrolizadores, que requieren importantes esfuerzos de ingeniería y que son indispensables en todas sus aplicaciones.
- **Impulsar la tecnificación del agro** más allá de pequeñas iniciativas puntuales, incorporando tecnología de sensores y plataformas de monitoreo que permitan predecir variables críticas como la necesidad de agua, la frecuencia de precipitaciones, etc.
- **Promover el desarrollo de diseño e implementación de biodigestores** para producir biogás a partir de desechos de la industria agrícola.
- **Impulsar el escalado y continuar con los esfuerzos de desarrollo en Biotecnologías**, tanto las aplicadas al agro como a la pesca y acuicultura.

A largo plazo, se destacan las trayectorias tecnológicas que requieren de investigación y desarrollo y/o búsqueda de alianzas internacionales previa a su implementación:

- **Desarrollo de nuevas soluciones para reducir el consumo de agua y energía en la industria de pulpa y papel**, así como para la **gestión de sus desechos**.
- **Desarrollo de conocimiento y soluciones para la industria en materia de Captura, Utilización y Almacenamiento de Carbono (CCUS)**. Esto debe ir acompañado de un marco regulatorio que incentive a las empresas a implementar este tipo de tecnologías.
- **Investigación y generación de nuevas alternativas para minimizar el impacto ambiental de la actividad vitivinícola**, a nivel de procesos, packaging, etc.
- **Desarrollo de conocimiento y tecnología para la utilización de la energía nuclear** con diferentes fines, tanto a gran escala en la generación de energía eléctrica como a menor escala para la desalinización.
- **Impulsar el lanzamiento de retos y desafíos de las industrias para los que las startups y empresas de base tecnológica puedan dar respuesta**, en especial en cuanto a desarrollo de herramientas predictivas y aprovechamiento de datos. Para esto es necesario vincular a las grandes empresas, que cuentan con los datos brutos y pueden ser beneficiarios de las soluciones generadas.

Los avances desarrollados hasta el momento y estas trayectorias tienen que ver con un subconjunto de los dominios tecnológicos identificados en el presente Estudio. Muchos de ellos ya están siendo abordados en Chile a nivel de I+D y de implementación de soluciones concretas, como se ha identificado en el Capítulo 8. Estos son, en concreto:

- **Robótica y Sistemas Autónomos**
- **Biotecnologías**
- **Tecnologías de la Energía**
- **Tecnologías de la Información y Comunicación Avanzadas**
- **Inteligencia Artificial**

Sin embargo, otros de los dominios tecnológicos no tienen vinculación con las cadenas productivas y estratégicas de Chile, sino que se trata de disciplinas donde los países líderes en desarrollo tecnológico buscan ser pioneros, mientras que los países en desarrollo se encuentran algo rezagados. Estos son los dominios de:

- **Semiconductores y Microelectrónica**
- **Tecnologías Cuánticas**
- **Tecnologías de Manufactura y Materiales Avanzados**

12. BIBLIOGRAFÍA

- ACNUR – Agencia de la ONU para los Refugiados (2023). Tendencias globales. <https://www.acnur.org/tendencias-globales> [29]
- Ajmal Hussan, S Adhikari, Arabinda Das, Farhana Hoque y BR Pillai (2019). Fish culture without water. https://www.researchgate.net/publication/335684815_Fish_Culture_Without_Water_Does_Aquaculture_contribute_to_Water_Scarcity_Is_Aquaculture_without_Water_Possible [146]
- Alianza CCM-Eleva (2022). Monitoreo Indicadores de Género en la Industria Minera. https://ccm-eleva.cl/wp-content/uploads/2023/09/Minuta-Monitero-Indicadores-de-Genero_CCM-Eleva-marzo-2022.docx.pdf [93]
- Alice Pannier, Concilier sécurité et ouverture dans les technologies critiques. Enjeux pour la recherche française et européenne, Études de l'Ifri, Ifri, octobre 2023. [49]
- America's Cyber Defense Agency (2023). Descripción general y avisos de las amenazas cibernéticas de China. <https://www.cisa.gov/topics/cyber-threats-and-advisories/advanced-persistent-threats/china> [76]
- Armament Industry European Research Group (2022). CRITICAL TECHNOLOGIES AND INDUSTRIAL CAPABILITIES: NATIONAL DEFINITION AND POLICY IMPLICATIONS. The French Case. <https://www.iris-france.org/wp-content/uploads/2022/09/ARES-78-Comment.pdf> [47]
- Australian Government, Department of Industry, Science and Resources (2023). List of Critical Technologies in the National Interest. <https://www.industry.gov.au/publications/list-critical-technologies-national-interest> [52]
- B. Bimber et S. W. Popper, What Is a Critical Technology?, RAND, DRU-605-CTI, février 1994. [46]
- Ballou, Ronald H. (2004). Logística. Administración de la cadena de suministro. Quinta edición. Pearson Educación, México. [84]
- Banco Central de Chile (2023). Indicadores de Comercio Exterior. Cuarto trimestre 2022. https://www.bcentral.cl/documents/33528/133362/ICE_2022_IV.pdf/8c7bcd20-33e4-12c3-7930-aa183a3d1b1e?t=1695685834103 [140] [177]
- Banco Central de Chile (2023). Rol reciente de la generación eléctrica en la actividad y sus perspectivas. <https://www.bcentral.cl/contenido/-/detalle/rol-reciente-de-la-generacion-electrica-en-la-actividad-y-sus-perspectivas> [173]
- Banco Central de Chile (s.f). Cuentas nacionales 2018-2022. https://si3.bcentral.cl/estadisticas/Principal1/informes/AnuarioCCNN/pdf/ANUARIO_CCNN_2022_2.pdf [174]
- Banco de Desarrollo de América Latina y el Caribe (CAF) (2022). Nearshoring y oportunidades industriales. <https://www.caf.com/es/conocimiento/visiones/2022/03/nearshoring-y-las-oportunidades-para-la-industria/> [43]
- Banco Interamericano de Desarrollo (2019). Nuevos modelos de negocios: el impacto de la innovación en el sector eléctrico. <https://blogs.iadb.org/energia/es/nuevos-modelos-de-negocios-el-impacto-de-la-innovacion-en-el-sector-electrico/> [188]
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID) (2022). América Latina y los minerales críticos para la transición energética. <https://blogs.iadb.org/energia/es/america-latina-y-los-minerales-criticos-para-la-transicion-energetica/la-transicion-energetica> [31]
- Banco Mundial (2021). Definition and Measurement. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/350411468149663792/pdf/WPS6852.pdf> [67]
- Banco Mundial (2021). Sustainable Finance. <https://www.worldbank.org/en/topic/financialsector/brief/sustainable-finance> [203]
- Banco Mundial (2022). Empleos en agricultura (% del total de empleos – Chile). <https://datos.bancomundial.org/indicador/SL.AGR.EMPL.ZS?locations=CL> [107]
- Banco Mundial (2022). Energía. <https://www.bancomundial.org/es/topic/energy/overview> [17]
- Banco Mundial (2022). Pobreza. <https://www.bancomundial.org/es/topic/poverty/overview> [18]
- Banco Mundial (2023). Chile Green Hydrogen Facility to Support a Green, Resilient and Inclusive Economic Development. <https://projects.bancomundial.org/es/projects-operations/project-detail/P177533> [97]
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2021). Matriz energética y eléctrica en Chile. https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32492/1/BCN_Matriz_energetica_electrica_en_Chile.pdf [189]
- Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (2022). Ley Marco de Cambio Climático. <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1177286> [1]
- Bio-lutions (2021). A bond of moral fibre. <https://www.bio-lutions.com/bio-based-tech-companies-bio-lutions-international-ag-and-zelfo-technology-gmbh-announce-a-fusion-of-their-interests/> [133]
- Bloomberg (2022). Por qué las mineras de cobre en Chile están reportando caídas en su producción. <https://www.bloomberglinea.com/2022/04/22/por-que-las-mineras-de-cobre-en-chile-estan-reportando-caidas-en-su-produccion/> [91]
- Boston Consulting Group (2021). Robotics Outlook 2030: How Intelligence and Mobility Will Shape the Future. <https://www.bcg.com/publications/2021/how-intelligence-and-mobility-will-shape-the-future-of-the-robotics-industry> [69]
- Canadian Institute for Advanced Research (s.f). The Pan-Canadian AI Strategy. <https://cifar.ca/ai/> [81]
- CDT (2023). Estrategia de Economía Circular en Construcción. <https://www.economiacircularconstruccion.cl/> [208]

CENIA (2023). Proponen sistema de IA para reducir contaminación con pesticidas en campos y trabajadores agrícolas. <https://www.cenia.cl/2023/06/04/proponen-sistema-de-ia-para-reducir-contaminacion-con-pesticidas-en-campos-y-trabajadores-agricolas/> [120]

Chile GBC (2023). Portal de Profesionales Chile GBC. <https://www.chilegbc.cl/profesionales/> [207]

Chile GBC (2023). Portal Verde. <https://portalverde.chilegbc.cl/> [206]

ChileBio (2022). Estudio concluye que producción de semillas transgénicas no impacta al negocio de la agricultura orgánica en Chile. <https://www.chilebio.cl/2022/01/06/estudio-concluye-que-produccion-de-semillas-transgenicas-no-impacta-al-negocio-de-la-agricultura-organica-en-chile/> [117]

China Briefing (2021). Investment prospects in China's Biotech Industries. <https://www.china-briefing.com/news/biotech-in-china-investment-prospects-for-the-biopharmaceuticals-and-biomaterials-industries/#:~:text=China's%20leadership%20designated%20biotech%20as,priorities%20to%20develop%20the%20sector.> [72]

CII (2023). Programas Estratégicos de I+D+i. <https://cii.conchaytoro.com/programas> [170]

Cochilco (2023). Anuario de estadísticas del cobre y otros minerales. https://www.cochilco.cl/Lists/Anuario/Attachments/27/ANUARIO_ESTADISTICO_COCHILCO%20A%C3%91O%202022.pdf [87]

Codelco (2023). Codelco y SQM logran acuerdo para una asociación público privada para el desarrollo del litio en el Salar de Atacama. <https://www.codelco.com/sin-titulo-169857987> [96]

Comisión Chilena de Energía Nuclear (2020). Informe Energía Nuclear de Potencia. Revisión de temáticas relevantes para una discusión. <https://www.cchen.cl/pdf/estudios/Informe-Nucleoelectricidad2020.pdf> [185]

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2018). Employment Situation in Latin America and the Caribbean. <https://repositorio.cepal.org/server/api/core/bitstreams/65636d6b-7443-4c54-a8fa-859aa6e4a6c7/content> [33]

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2023). Ciudades inteligentes/ sostenibles. <https://biblioguias.cepal.org/c.php?g=159524&p=9429347> [35]

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) (2023). Extracción e industrialización del litio: oportunidades y desafíos para América Latina y el Caribe <https://www.cepal.org/es/publicaciones/48964-extraccion-industrializacion-litio-opportunidades-desafios-america-latina-caribe> [34]

Comisión Europea (2018). Inteligencia Artificial para Europa. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52018DC0237> [78]

Comisión Europea (2019). La economía circular en las zonas pesqueras y acuícolas. https://webgate.ec.europa.eu/fpfis/cms/farnet2/sites/default/files/publication/es_farnetguide17_0.pdf [148]

Comisión Europea (2023). Carbon Border Adjustment Mechanism. https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en [111]

Comisión Europea (2023). La Comisión anuncia los próximos pasos en materia de ciberseguridad de las redes 5G como complemento al último informe de situación de los Estados miembros. https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/IP_23_3309 [74]

Comisión Europea (2023). Towards a fair and sustainable Europe 2050: social and economic choices in sustainability transitions. <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/5d3fe069-1b1e-11ee-806b-01aa75ed71a1/language-en> [3]

Comisión Europea (2023). Un Plan Industrial del Pacto Verde para la era de cero emisiones netas. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/PDF/?uri=CELEX:52023DC0062> [7]

Comisión Europea (s.f). Plan Industrial del Pacto Verde. https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/green-deal-industrial-plan_es [6]

Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2022). Informe anual 2022. <https://cnep.cl/informe-anual-2022/> [106]

Comisión Nacional de Evaluación y Productividad (2022). Informe anual 2022. <https://cnep.cl/informe-anual-2022/> [179]

CONAF (2020). Ley sobre Recuperación del Bosque Nativo y Fomento Forestal. https://www.conaf.cl/wp-content/files_mf/1368741650LibroLey_Bosque_NativoReglamentos.pdf [130]

Consejo de la Unión Europea (2023). Como la invasión rusa de Ucrania ha agravado la crisis alimentaria mundial. <https://www.consilium.europa.eu/es/infographics/how-the-russian-invasion-of-ukraine-has-further-aggravated-the-global-food-crisis/> [113]

Consejo Minero de Chile (2023). Cifras actualizadas de la minería. <https://consejominero.cl/mineria-en-chile/cifras-actualizadas-de-la-mineria/> [86]

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2023). Chile crea futuro: Reportes de expertos para cuatro grandes fenómenos de cambio. Santiago, Chile. <https://docs.consejoctci.cl/wp-content/uploads/2023/03/FINAL-Reporte-Anticipacion-CTCI-2023.pdf> [54]

Consejo Nacional de CTCI (2022). Estrategia Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo de Chile. <https://docs.consejoctci.cl/documento/estrategia-nacional-de-ciencia-tecnologia-conocimiento-e-innovacion-para-el-desarrollo-de-chile-2022/> [45]

Cooperativa Ciencia (2023). Nueve interesados en producir en Chile electrolizadores. <https://www.cooperativaciencia.cl/tecnologia/2023/07/17/nueve-interesados-en-producir-en-chile-electrolizadores/> [215]

- Coordinador Eléctrico Nacional (2022). Estándar de ciberseguridad para el sector eléctrico. <https://www.coordinador.cl/wp-content/uploads/2022/10/Estandar-Ciberseguridad-SEN-October-2022.pdf> [192]
- CSIRO (2019). Australia National Outlook (ANO). <https://www.csiro.au/en/work-with-us/services/consultancy-strategic-advice-services/csiro-futures/innovation-business-growth/australian-national-outlook> [4]
- CSIS (2023). Environmental, Social, and Governance Best Practices Applied to Mining Operations. <https://www.csis.org/analysis/environmental-social-and-governance-best-practices-applied-mining-operations> [94]
- D.D. Furszyfer Del Rio et al. (2022). Decarbonizing the pulp and paper industry: A critical and systematic review of sociotechnical developments and policy options, Renewable and Sustainable Energy Reviews. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112706>. [129]
- Deloitte (2017). Using autonomous robots to drive supply chain innovation. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/manufacturing/articles/autonomous-robots-supply-chain-innovation.html> [209]
- Deloitte (2021). How financial services can use ESG initiatives to help build a brighter future for all. <https://www2.deloitte.com/us/en/pages/financial-services/articles/esg-in-financial-services-industry.html> [202]
- DHL (2023). Logistics and delivery trends for 2023. <https://www.dhl.com/discover/en-us/global-logistics-advice/logistics-insights/logistics-and-delivery-trends-2023> [200]
- Ecociencias (2022). Ecoprial construye la primera planta de Biogás en Chile que transformará los residuos en energía limpia. <https://revistaecociencias.cl/2022/04/28/ecoprial-construye-la-primera-planta-de-biogas-en-chile-que-transformara-los-residuos-en-energia-limpia/> [119]
- Economist Intelligence Unit (2023). Latin America outlook 2024. <https://www.eiu.com/n/campaigns/latin-america-outlook-2024/> [9]
- Energía Abierta (Ministerio de Energía, 2023). Balance Energético 2022. <http://energiaabierta.cl/categorias-estadistica/balance-energetico/> [194]
- EPRS (European Parliamentary Research Service) (2021). Key enabling technologies for Europe's technological sovereignty. [https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU\(2021\)697184_EN.pdf](https://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/STUD/2021/697184/EPRS_STU(2021)697184_EN.pdf) [57]
- Espinoza, C. Miembro del Consejo Directivo del Coordinador Eléctrico Nacional (2021). Inteligencia artificial en el sector eléctrico. Electricidad – La revista energética de Chile. <https://www.revistaei.cl/columnas/inteligencia-artificial-en-el-sector-electrico/#> [193]
- European Parliamentary Research Service (2022). The road to EU sovereignty in critical technologies. <https://epthinktank.eu/2022/01/05/the-road-to-eu-sovereignty-in-critical-technologies/> [48]
- European Space Agency (2021). EnviNavigator. <https://business.esa.int/projects/envinavigator> [134]
- FAO (2016). 2016 State of the World's Forests. <https://www.fao.org/3/i5588e/i5588e.pdf> [126]
- Fondo Monetario Internacional (FMI) (2022). El desafío de las cadenas de suministro. <https://www.imf.org/es/Publications/fandd/issues/2022/06/the-stretch-of-supply-chains-B2B> [27]
- Fondo Monetario Internacional (FMI) (2023). Inflation Remains Risk Confronting Financial Markets. <https://www.imf.org/en/Blogs/Articles/2023/07/27/inflation-remains-risk-confronting-financial-markets> [25]
- Fondo Monetario Internacional (FMI) (2023). La deuda mundial reanuda su tendencia ascendente. <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2023/09/13/global-debt-is-returning-to-its-rising-trend> [26]
- Fondo Monetario Internacional (FMI) (2023). La volatilidad de precios de las materias primas reduce el crecimiento y aumenta las fluctuaciones de la inflación. <https://www.imf.org/es/Blogs/Articles/2023/03/28/volatile-commodity-prices-reduce-growth-and-amplify-swings-in-inflation> [28]
- Fundación para la Innovación Agraria (2019). Plataforma agrícola satelital (PLAS). <https://opia.fia.cl/601/w3-article-111201.html> [118]
- Fundación para la Innovación Agraria (2021). Innovaciones de la inteligencia artificial en la agricultura de precisión. <https://opia.fia.cl/601/w3-article-116120.html> [115]
- Gerres T, Avila JPC, Llamas PL, Roman TGS. A review of cross-sector decarbonization potentials in the European energy intensive industry. J Clean Prod 2019; 210: 585–601. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j>. [131]
- Gobierno de Canadá (2021). On the horizon: Several perspectives on Canada's technology future - 2030–35. <https://nrc.canada.ca/en/corporate/planning-reporting/horizon-several-perspectives-canadas-technology-future-2030-35> [5]
- Gobierno de Chile (2021). Estrategia Climática de Largo Plazo (ECLP). <https://cambioclimatico.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/ECLP-LIVIANO.pdf> [124]
- Gobierno de Chile (2023). Estrategia Nacional del Litio. https://s3.amazonaws.com/gobcl-prod/public_files/Campa%C3%B1as/Litio-por-Chile/Estrategia-Nacional-del-litio-ES_14062023_2003.pdf [95]
- Gobierno de EE.UU. (2022). Inflation Reduction Act. <https://www.whitehouse.gov/cleanenergy/inflation-reduction-act-guidebook/> [2]
- Gobierno de Finlandia (2022). Strategy of the National Commission on Sustainable Development 2022–2030. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/164157> [11]
- Gobierno de Reino Unido (2020). The ten point plan for a green industrial revolution. <https://www.gov.uk/government/publications/the-ten-point-plan-for-a-green-industrial-revolution> [8]
- Gobierno de Suecia (2022). Strategy for Sweden's global development cooperation on sustainable economic development 2022–2026. <https://www.government.se/international-development-cooperation-> [10]

- [strategies/2023/01/strategy-for-swedens-global-development-cooperation-on-sustainable-economic-development-20222026/](#)
- Gupta V, Sengupta M, Prakash J, Tripathy BC (2016). An Introduction to Biotechnology. Basic and Applied Aspects of Biotechnology. 23:1–21. doi: 10.1007/978-981-10-0875-7_1. PMID: PMC7119977. [63]
- IAEA (2022). Harnessing Nuclear Power for Desalination to Secure Freshwater Resources. <https://www.iaea.org/bulletin/harnessing-nuclear-power-for-desalination-to-secure-freshwater-resources#:~:text=For%20nearly%2030%20years%2C%20the%20IAEA%20has%20supported,through%20distillation%20or%20membrane%20separation%2C%20mostly%20reverse%20osmosis> [98]
- IAEA (2023). Energy, electricity and nuclear power estimates for the period up to 2050. https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/RDS-1-43_web.pdf [197]
- Iberdrola (2022). Iberdrola starts up Spain's first smart agrovoltaic plant in Toledo. <https://www.iberdrola.com/press-room/news/detail/iberdrola-starts-up-spain-first-smart-agrovoltaic-plant-in-toledo> [171]
- IBM (2023). What is artificial intelligence? <https://www.ibm.com/topics/artificial-intelligence> [66]
- IBM (2023). What is quantum computing? <https://www.ibm.com/topics/quantum-computing> [62]
- IEA (2023). Buildings. <https://www.iea.org/energy-system/buildings> [204]
- IEA (2023). Electricity Grids and Secure Energy Transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/70f2de45-6d84-4e07-bfd0-93833e205c81/ElectricityGridsandSecureEnergyTransitions.pdf> [42]
- IEA (2023). Electricity Grids and Secure Energy Transitions. <https://www.iea.org/reports/electricity-grids-and-secure-energy-transitions> [186]
- IEA (2023). Industry: Paper. <https://www.iea.org/energy-system/industry/paper> [125]
- IEA (2023). The Oil and Gas Industry in Net Zero Transitions. <https://iea.blob.core.windows.net/assets/a6e9b926-2349-4bee-856e-4997aab5399f/TheOilandGasIndustryinNetZeroTransitions.pdf> [196]
- IEA (s.f). Nuclear energy. <https://www.iea.org/energy-system/electricity/nuclear-power> [184]
- Industrias Pesqueras (2023). Satlink, autorizada por la Armada de Chile a suministrar su sistema VMS a la flota pesquera del país. <https://industriaspesqueras.com/noticia-75839-sec-portada> [211]
- INFOR (2023). Anuario 2023. <https://wef.infor.cl/index.php/publicaciones/boletines-estadisticos/anuario-forestal> [121]
- INFOR (2023). Estadísticas Forestales. <https://wef.infor.cl/index.php/sector-forestal> [122]
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA) (s.f). Cambios climático y sus efectos en la agricultura. NR42833
(inia.cl)<https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68502/Capitulo%201.pdf?sequence=2> [109]
- Instituto Nacional de Estadísticas (2023). Separata Técnica Anual: Encuesta Nacional de Empleo. <https://www.ine.gov.cl/docs/default-source/ocupacion-y-desocupacion/publicaciones-y-anuarios/separatas/anuales/separata-2022.pdf> [175]
- International Atomic Energy Agency (2023), IAEA Annual Projections Rise Again as Countries Turn to Nuclear for Energy Security and Climate Action. <https://www.iaea.org/newscenter/pressreleases/iaea-annual-projections-rise-again-as-countries-turn-to-nuclear-for-energy-security-and-climate-action> [41]
- International Labour Organization (2023). The automotive sector in Mexico: The impact of automation and digitalization of employment. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/documents/publication/wcms_877324.pdf [77]
- Invest Chile (2021). Informe Industria Alimentaria en Chile. <https://investchile.gob.cl/wp-content/uploads/2021/11/e-book-alimentos-esp.pdf> [101]
- Invest Chile (2023). Inversión Extranjera en Chile 2022. <https://www.investchile.gob.cl/wp-content/uploads/2023/05/informe-preliminar-ied-esp-word-2023.pdf> [195]
- InvestChile (2022). Chile es uno de los productores de vino más sostenibles del mundo. <https://blog.investchile.gob.cl/bloges/chile-productor-vino-sostenible#:~:text=El%20foco%20los%20C3%BAltimos%20a%20C3%B1os%20est%20en%20C3%A1%20en%20C3%BAnterior%20a%20los%20C3%B1os%20pasados%20y%20oficinas.> [172]
- Kanaga Suba Raja Subramanian (2017). IOT based Automation of Fish Farming. https://www.researchgate.net/publication/345895043_IOT_based_Automation_of_Fish_Farming [155]
- La Tercera (2023). Chile se prepara para El Niño: crean Comité de Gestión de Riesgo de Desastres para anticiparse al fenómeno. <https://www.latercera.com/que-pasa/noticia/chile-se-prepara-para-el-nino-crean-comite-de-gestion-de-riesgo-de-desastres-para-anticiparse-al-fenomeno/l421R3L54FD6TLRTIRF3VVA7OQ/> [145]
- La Tribuna (2023). Analizaron las amenazas y oportunidades para el vino chileno. <https://www.latribuna.cl/agroforestal/2023/04/06/analizaron-las-amenazas-y-oportunidades-para-el-vino-chileno.html> [165]
- Larry Strain (2023). 10 steps to reducing embodied carbon. <https://www.aiaa.org/articles/70446-ten-steps-to-reducing-embodied-carbon> [205]

- MasContainer (2023). Los robots que podrían cuadruplicar operación logística en E-Commerce. <https://www.mascontainer.com/los-robots-que-podrian-cuadruplicar-operacion-logistica-en-e-commerce/> [210]
- McKinsey (2023). What is a semiconductor? <https://www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-a-semiconductor> [55]
- Mining Digital (2023). BHP uses Microsoft AI and ML to meet copper demand goals. <https://miningdigital.com/technology/bhp-uses-microsoft-ai-and-ml-to-meet-copper-demand-goals> [99]
- Ministerio de Agricultura (2016). Estrategia Nacional de Cambio Climático y Recursos Vegetacionales. <https://biblioteca.digital.gob.cl/handle/123456789/3372> [128]
- Ministerio de Agricultura (2022). Los drones más modernos del país se ponen al servicio de la agricultura. <https://www.minagri.gob.cl/noticia/los-drones-mas-modernos-del-pais-se-ponen-al-servicio-de-la-agricultura/#:~:text=El%20uso%20de%20estos%20drones%20permitir%C3%A1%20planificar%20de,de%20treinta%20hect%C3%A1reas%20en%20menos%20de%2025%20minutos.> [116]
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2020). Acuicultura, pesca y biodiversidad en ecosistemas costeros de Chile. https://cdn.digital.gob.cl/filer_public/86/3b/863b82f8-b481-4c93-b83b-ac1ad69cb9b9/8biodiversidad-acuicultura-buschmann.pdf [147]
- Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (2022). Desalinización: Oportunidades y desafíos para abordar la inseguridad hídrica en Chile. <https://repositoriodirplan.mop.gob.cl/biblioteca/server/api/core/bitstreams/f16337ab-f188-43e0-8076-18ec8bdb9ab0/content> [89]
- Ministerio de Energía (2021). El más grande de Chile: Ministro Jobet anuncia nuevo proyecto de hidrógeno verde en Magallanes. <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/el-mas-grande-de-chile-ministro-jobet-anuncia-nuevo-proyecto-de-hidrogeno-verde-en-magallanes> [190]
- Ministerio de Energía (2021). Transición Energética de Chile – Política Energética Nacional. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/actualizacion_anteproyecto_pen_2021_lr.pdf [182]
- Ministerio de Energía (2021). Transición Energética de Chile – Política Energética Nacional. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/actualizacion_anteproyecto_pen_2021_lr.pdf [187]
- Ministerio de Energía (2022). Agenda de Energía 2022-2026. https://radio.uchile.cl/wp-content/uploads/2022/08/agenda_energia_2022_-_2026-1.pdf [183]
- Ministerio de Energía (2022). Chile y Argentina acuerdan intercambio energético. <https://energia.gob.cl/noticias/nacional/chile-y-argentina-acuerdan-intercambio-energetico> [176]
- Ministerio de Energía (s.f). Pobreza energética. <https://energia.gob.cl/pobrezaenergetica> [180]
- Ministerio de Minería (2022). Potencial de minerales críticos en Chile. <https://www.minmineria.cl/media/2022/01/MinMineria%CC%81a-2022-Minerales-Cri%CC%81ticos.pdf> [181]
- Ministerio de Minería de Chile (2022). Política Nacional Minera. <https://www.minmineria.cl/wp-content/uploads/2022/03/Mineria%CC%81a-2050-Poli%CC%81tica-Nacional-Minera-.pdf> [90]
- Ministerio del Medio Ambiente (2022). Entra en vigencia Ley de Plásticos de un solo uso. <https://mma.gob.cl/entra-en-vigencia-ley-de-plasticos-de-un-solo-uso/> [201]
- Morgan Kaufmann (2015). Introduction to Microelectronics. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128007303000010> [56]
- Naciones Unidas (2020). UN report highlights links between ‘unprecedented biodiversity loss’ and spread of disease. <https://news.un.org/en/story/2020/09/1072292> [20]
- Naciones Unidas (2022). Crisis y fragilidad de la democracia en el mundo. <https://www.ohchr.org/es/statements-and-speeches/2022/08/crisis-and-fragility-democracy-world> [19]
- Naciones Unidas (2022). Intergovernmental Negotiating Committee on Plastic Pollution. <https://www.unep.org/inc-plastic-pollution> [22]
- Naciones Unidas (2023). Arranca un plan para hacer frente a El Niño en América Latina. <https://news.un.org/es/story/2023/08/1523547> [23]
- Naciones Unidas (2023). Tecnología e igualdad de género: situar a las mujeres y las niñas en el centro de la innovación. <https://www.un.org/es/cr%C3%B3nica-onu/tecnologia%20e%20igualdad-de-genero-situar-las-mujeres-y-las-ni%C3%B1as-en-el-centro-de-la-innovacion> [30]
- Naciones Unidas (2023). What is Renewable Energy? <https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy> [64]
- Naciones Unidas (s.f). Igualdad de género. <https://www.un.org/es/global-issues/gender-equality> [21]
- Naio Technologies (2023). Ted robot. <https://www.naio-technologies.com/en/ted/> [213]
- National Science and Technology Council. CRITICAL AND EMERGING TECHNOLOGIES LIST UPDATE. <https://www.whitehouse.gov/wp-content/uploads/2022/02/02-2022-Critical-and-Emerging-Technologies-List-Update.pdf> [50]
- NEA (2022), The Role of Nuclear Power in the Hydrogen Economy, OECD Publishing, Paris. https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_73133/the-role-of-nuclear-power-in-the-hydrogen-economy [199]
- Observatorio de Complejidad Económica (s.f). Filetes de pescado en Chile. <https://oec.world/es/profile/bilateral-product/fish-fillets/reporter/chl> [139]
- OCDE (2022), Latin American Economic Outlook 2022: Towards a Green and Just Transition. <https://doi.org/10.1787/3d5554fc-en>. [127]
- OCDE (2022). OECD Environment, Health and Safety Publications. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials. No. 104. Advanced Materials: Working Description. [https://one.oecd.org/document/env/cbc/mono\(2022\)29/en/pdf](https://one.oecd.org/document/env/cbc/mono(2022)29/en/pdf) [59]

- OCDE (2023), Hacia la Resiliencia y Neutralidad Climática en América Latina y el Caribe: Prioridades políticas clave, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/a73c1364-es> [92]
- OCDE (2023). Enfrentar la inflación y el bajo crecimiento. Perspectivas económicas de la OCDE, informe provisional de septiembre de 2023. <https://www.oecd.org/economic-outlook/september-2023/> [14]
- OCDE (2023). Science, Technology and Innovation Outlook 2023. <https://www.oecd.org/sti/science-technology-innovation-outlook/> [13]
- Oceana (2023). El Niño y La Niña: ¿cómo afectan a los ecosistemas marinos y las pesquerías de Chile? <https://chile.oceana.org/blog/el-nino-y-la-nina-como-impactan-a-los-ecosistemas-marinos-y-a-las-pesquerias-de-chile/> [144]
- Official Journal of the European Union (2023). COMMISSION RECOMMENDATION (EU) 2023/2113. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:32023H2113> [51]
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2019). Panorama de la agricultura chilena. <https://www.odepa.gob.cl/wp-content/uploads/2019/09/panorama2019Final.pdf> [108]
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2021). Desafíos de la agricultura y desarrollo rural en Chile. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71512/DesafiosAgricultura2022.pdf> [100]
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2023). Boletín de hortalizas, enero 2023. <https://www.odepa.gob.cl/publicaciones/boletines/boletin-de-hortalizas-enero-2023> [103]
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (2023): Boletín del Vino. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/72304/BVino04-2023.pdf> [160]
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2021). Economía Circular: Un camino para la sustentabilidad agrícola. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/70610/ArtEconomiaCircular202101.pdf> [111]
- Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA) (2021). Estudio finanzas sostenibles para el sector agrícola chileno. <https://bibliotecadigital.odepa.gob.cl/bitstream/handle/20.500.12650/71179/EstFinanzasSustentables2021.pdf> [110]
- Oficina Económica y Comercial de España en Santiago de Chile (2023). Informe económico y comercial. <https://www.icex.es/content/dam/es/icex/oficinas/105/documentos/2023/09/documentos/IEC%202023.pdf> [178]
- OIV (2023). Statistics. <https://www.oiv.int/what-we-do/statistics> [164]
- OIV (2023): World Wine Production Outlook 2023. https://www.oiv.int/sites/default/files/documents/OIV_World_Wine_Production_Outlook_2023_2.pdf [159]
- OMC (2023). World Trade Report 2023. https://www.wto.org/english/res_e/booksp_e/wtr23_e/wtr23_e.pdf [44]
- ONU (2023). Chile Incendios forestales 2023, Reporte de Situación N5. <https://chile.un.org/es/227052-chile-incendios-forestales-2023-reporte-de-situacion%3%B3n-n5> [163]
- ONUDI (2021). La economía circular: un cambio de paradigma para soluciones globales. <https://www.unido.org/stories/la-economia-circular-un-cambio-de-paradigma-para-soluciones-globales> [40]
- Optronía (2023). Presentación web de Optronía. <https://optronia.com/#optical-sensors> [168]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). Fishery and Aquaculture Country Profiles – Chile. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/chl> [138]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). Pesca y Acuicultura. <https://www.fao.org/fishery/en/facp/chl> [141]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2023). The State of World Fisheries and Aquaculture 2022. <https://www.fao.org/family-farming/detail/en/c/1565527/> [150]
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Cómo se vive el cambio climático en la costa de Chile. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1452804/> [142]
- Parouffe A, Garçon V, Dewitte B, Paulmier A, Montes I, Parada C, Mecho A and Veliz D (2023) Evaluating future climate change exposure of marine habitat in the South East Pacific based on metabolic constraints. *Front. Mar. Sci.* 9:1055875. doi: 10.3389/fmars.2022.1055875 [143]
- Pontificia Universidad Católica de Chile (2021). Aumenta la penetración de la robótica en diferentes industrias chilenas. <https://educacionprofesional.ing.uc.cl/aumenta-la-penetracion-de-la-robotica-en-diferentes-industrias-chilenas/> [152]
- Pontificia Universidad Católica de Valparaíso (2019). Investigadores PUCV se adjudican Proyecto Conicyt de Genómica e Inmunología de Peces en 1° convocatoria conjunta Chile-Suecia. <https://pucv.cl/pucv/noticias/primer-persona/investigadores-pucv-se-adjudican-proyecto-conicyt-de-genomica-e> [154]
- Porsche (2022). eFuels pilot plant in Chile officially opened. <https://newsroom.porsche.com/en/2022/company/porsche-highly-innovative-fuels-hif-opening-efuels-pilot-plant-haru-oni-chile-synthetic-fuels-30732.html> [198]
- Portal Portuario (2019). Destacan a Puerto Valparaíso en estudio sobre innovación en América Latina. <https://portalportuario.cl/destacan-a-puerto-valparaiso-en-estudio-sobre-innovacion-en-america-latina/> [216]
- ProChile (2023). Agro & Alimentos. <https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos> [104]
- ProChile (2023). Agro & Alimentos. <https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos> [105]
- ProChile (2023). Agro & Alimentos. <https://www.prochile.gob.cl/sectores-exportadores/agro-y-alimentos> [114]

- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2022). La crisis mundial del costo de vida, intensificada por la guerra en Ucrania, empuja a decenas de millones de personas a la pobreza. [15]
<https://www.undp.org/es/press-releases/la-crisis-mundial-del-coste-de-vida-intensificada-por-la-guerra-en-ucrania-empuja-decenas-de-millones-de-personas-la-pobreza>
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2023). Repensar la gobernanza de ESG. [16]
<https://www.undp.org/future-development/signals-spotlight/rethinking-governance-esg>
- Purdue University (2023). Future of AI in Natural Resource Management: Self-Learning Forest Growth Model. [135]
<https://ag.purdue.edu/news/department/fnr/2023/05/future-of-ai-in-natural-resource-management-self-learning-forest-growth-model.html>
- Reporte Minero (2022). Electrolizador de hidrógeno renovable se desarrollará en Chile. [214]
<https://www.reporteminero.cl/noticia/noticias/2022/08/electrolizador-hidrogeno-renovable-desarrollara-chile#:~:text=Gran%20electrolizador%20de%20hidr%C3%B3geno%20renovable%20se%20desarrollar%C3%A1%20en,de%20los%20sectores%20industrial%20y%2C%20eventualmente%2C%20de%20movilidad>
- Revista Energética de Chile - Electricidad (2020). El potencial de la tecnología 5G para el sector energético. [191]
<https://www.revistaei.cl/informes-tecnicos/el-potencial-de-la-tecnologia-5g-para-el-sector-energetico/>
- Rodríguez et al. (2012). Ontology-driven description and engineering of Autonomous Systems: application to process systems engineering. [61]
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780444595201500026>
- SAG (2023). Catastro Vitícola Nacional 2022. [161]
<https://www.sag.cl/noticias/sag-presenta-catastro-viticola-nacional-2022>
- SAG (2023). Informe Final Producción de Vinos 2023. [162]
<https://www.sag.cl/sites/default/files/Informe%20Final%20Cosecha%202023.pdf#:~:text=El%20Servicio%20Agr%C3%ADcola%20y%20Ganadero%2C%20a%20trav%C3%A9s%20del,todas%20correcciones%20%20rectificaciones%20a%20las%20declaraciones%20presentadas>
- Salmón Chile (2021). Programa de innovación abierta logra primer contrato entre startup y salmonicultra. [158]
<https://www.salmonchile.cl/noticias/programa-de-innovacion-abierta-logra-primer-contrato-entre-startup-y-salmonicultra/>
- Secretariat of Science, Technology and Innovation Policy Cabinet Office – Government of Japan (2022). AI Strategy 2022. [79]
<https://www8.cao.go.jp/cstp/ai/aistrategy2022en.pdf>
- SERNAPESCA (2022). Robot submarino apoyará fiscalización y gestión ambiental de SERNAPESCA en Magallanes. [153]
<http://www.sernapesca.cl/noticias/robot-submarino-apoyara-fiscalizacion-y-gestion-ambiental-de-sernapesca-en-magallanes>
- Servicio de Impuestos Internos (2012). Homologación completa de actividades económicas con el CIIU4.CL 2012. [83]
https://www.sii.cl/catastro/homologacion_codigos_actividad.pdf
- Singapur Centre for Strategic Futures (2022). Driving Forces 2040. [12]
<https://www.csf.gov.sg/media-centre/publications/csf-df-cards/>
- Sociedad Nacional de Pesca (SONAPESCA) (2022). Tecnología e innovación: Claves para el avance de la pesca. [157]
<https://www.sonapesca.cl/tecnologia-e-innovacion-claves-para-el-avance-de-la-pesca/>
- Subrei (2023). Informe Comercio Exterior Diciembre 2022. [88]
https://www.subrei.gob.cl/docs/default-source/estudios-y-documentos/minuta-mensual/informe_mensual_de_comercio_exterior_enero_diciembre_2022.pdf?sfvrsn=30c6bbf4_3
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2022). Informe sectorial de pesca y acuicultura. [137]
https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-114684_documento.pdf
- Subsecretaría de Pesca y Acuicultura (2022). Informe sectorial de pesca y acuicultura. [149]
https://www.subpesca.cl/portal/618/articles-114684_documento.pdf
- Sustentavid (2023). Código de Sustentabilidad. [166]
<https://www.sustainable.cl/el-codigo/>
- TechTarget (2023). Definition of Robotics. [60]
<https://www.techtarget.com/whatis/definition/robotics>
- The State Council – The People’s Republic of China (2021). Five-year plan to speed up integration of digital, real economies. [75]
https://english.www.gov.cn/statecouncil/ministries/202112/01/content_WS61a6d009c6d0df57f98e5da0.html
- The White House (2022). The United States Announces New Investments and Resources to Advance President Biden’s National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative. [71]
<https://www.whitehouse.gov/briefing-room/statements-releases/2022/09/14/fact-sheet-the-united-states-announces-new-investments-and-resources-to-advance-president-bidens-national-biotechnology-and-biomanufacturing-initiative/>
- TWI Global (2023). What is Advanced Manufacturing? (A Complete Guide). [58]
<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-advanced-manufacturing>
- UK Government (2018). Growing the Bioeconomy. [73]
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/61a60c91d3bf7f055b2934cf/181205_BEIS_Growing_the_Bioeconomy_Web_SP_.pdf
- UK Government (2021). National AI Strategy. [80]
https://assets.publishing.service.gov.uk/media/614db4d1e90e077a2cbdf3c4/National_AI_Strategy_-_PDF_version.pdf
- UK Government (2023). National Quantum Strategy. [70]
https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1142942/national_quantum_strategy.pdf

- UK Government, Department of Science, Innovation & Technology (2021). UK Innovation Strategy. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/1009577/uk-innovation-strategy.pdf [68]
- UK Government, Department of Science, Innovation & Technology (2023). The UK Science and Technology Framework. <https://www.gov.uk/government/publications/uk-science-and-technology-framework/the-uk-science-and-technology-framework#identifying-critical-technologies> [53]
- UNCTAD (2023). Critical minerals: Supply chains, trade flows and value addition. <https://unctad.org/publication/critical-minerals-supply-chains-trade-flows-and-value-addition> [36]
- UNCTAD (2023). Global Trade Update. <https://unctad.org/publication/global-trade-update-june-2023> [37]
- UNCTAD (2023). Informe sobre las Inversiones en el Mundo 2023. <https://unctad.org/es/publication/informe-sobre-las-inversiones-en-el-mundo-2023> [38]
- UNESCO (2023). Glossary: Information and communication technologies (ICT) <https://uis.unesco.org/en/glossary-term/information-and-communication-technologies-ict> [65]
- Universidad de Concepción (2023). Sistema autónomo de cultivo de vides. https://otluddec.udec.cl/portafolio-tecnologico/sistema-autonomo-de-cultivo-de-vides/#link_acc-1-2-d [169]
- Universidad Técnica Federico Santa María (2023). AC3E y CONAF desarrollarán tecnologías que previenen incendios forestales. <https://usm.cl/noticias/ac3e-y-conaf-desarrollaran-tecnologias-que-previenen-incendios-forestales/> [136]
- University of Cambridge (2023). Porter's Value Chain. <https://www.ifm.eng.cam.ac.uk/research/dstools/value-chain/> [85]
- University of Harvard (2021). Growth Lab – Chile. <https://atlas.cid.harvard.edu/countries/42/paths> [123]
- Verma, P., Ranjan, D., Sahu, A., Verma, D. K. and Singh, H. 2023. Automation Technology and Robotics in Fisheries and Aquaculture Sector. Chronicle of Aquatic Science 1(5): 99- 104. [151]
- Wageningen University (2022). Electric technology to save energy in drying processes. <https://www.wur.nl/en/newsarticle/electric-technology-to-save-energy-in-drying-processes.htm> [132]
- WEF (2022). Can crops grow better under solar panels? Here's all you need to know about 'agrivoltaic farming'. <https://www.weforum.org/agenda/2022/07/agrivoltaic-farming-solar-energy/> [211]
- WEF (2023). What can the wine industry teach us about sustainability? <https://www.weforum.org/agenda/2021/07/what-can-the-wine-industry-teach-us-about-sustainability/> [167]
- Wilfredo Vásquez-Quispesivana, Marianela Inga, Indira Betalleluz-Pallardel (2022). Inteligencia artificial en acuicultura: fundamentos, aplicaciones y perspectivas futuras. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172022000100079 [156]
- WMO (2021). Atlas de la WMO sobre mortalidad y pérdidas económicas debidas a fenómenos meteorológicos, climáticos e hidrológicos extremos (1970-2019). <https://library.wmo.int/records/item/57564-wmo-atlas-of-mortality-and-economic-losses-from-weather-climate-and-water-extremes-1970-2019> [24]
- World Economic Forum (WEF) (2020). The Future of Nature and Business. https://www3.weforum.org/docs/WEF_The_Future_Of_Nature_And_Business_2020.pdf [32]
- World Resources Institute (2023). What We Know About Deep-sea Mining - And What We Don't. <https://www.wri.org/insights/deep-sea-mining-explained> [39]

13. ANEXO I.

Detalle de sectores identificados en los indicadores económicos de PIB, Exportaciones y Valor Agregado.

Sector	% PIB (2022)	% Exportaciones	% Valor agregado
Minería	14,2%	59,7%	16%
Servicios empresariales	9,1%	-	9,5%
Industria manufacturera (Alimentos)	3%	15,5%	2,7%
Industria agropecuario-silvícola	2,8%	6,6%	3,4%
Industria manufacturera (Química, petróleo, caucho y plástico)	2,4%	2,6%	1,8%
Electricidad, gas, agua y gestión de desechos	2,1%	-	2,8%
Industria manufacturera (Bebidas y tabaco)	0,8%	2%	1%
Industria manufacturera (Celulosa, papel e imprentas)	0,7%	3,6%	0,8%
Pesca	0,7%	0,2%	0,7%

Fuente: Banco Central de Chile