

PROSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA CHILENA

Transformación Digital e Industria 4.0



PROSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA CHILENA

Transformación Digital e Industria 4.0



UNIVERSIDAD TÉCNICA
FEDERICO SANTA MARÍA



Comisión
Prospectivas
de la Ingeniería
2022

PROSPECTIVAS DE LA INGENIERÍA CHILENA

Transformación Digital e Industria 4.0

Presidente

Jorge Yutronic

Participantes:

Paola Arellano

Juan Carlos Barros

Sergio Bitar

Raúl Ciudad

Felisa Córdova

Thierry De Saint Pierre

Yadran Eterovic

Cristian Hermansen

Víctor Grimblatt

José Orlandini

Alfredo Piquer

Javier Ruiz del Solar

Rodolfo Saragoni

Prospectivas de la Ingeniería Chilena

Transformación Digital e Industria 4.

© Instituto de Ingenieros

ISBN 978-956-356-119-7

Primera edición, julio de 2023

Permitida la reproducción, citando fuentes.

Diseño: CyK Diseño

Impreso en Chile

Imágenes: Envato

ÍNDICE

1. Objetivos, fundamentos, metodología y sus alcances	37
1.1 Objetivos	37
1.2 Origen de la CPI y fundamentos de la prospectiva	37
1.3 Metodología y sus alcances	40
2. Antecedentes principales	45
2.1. Tendencias tecnológicas internacionales y su impacto	45
2.2. Casos de experiencia prospectiva de países seleccionados	50
2.3. Antecedentes chilenos	65
3. Escenario I 2030	71
3.1 Introducción	71
3.2 Educación en ingeniería	72
3.3 Energía	80
3.4 Minería	86
3.5 Transporte	91
3.6 Agroindustria y alimentos	100
3.7 Manufactura (b2b)	108
3.8 Economía digital	114
3.9 Infraestructura digital	123
3.10 Salud	131
3.11 Ciudades sísmicamente resilientes	140
3.12 Ciudades inteligentes	145
3.13 Estado digital.	148
4. Escenario II 2030	155
4.1 Introducción	155
4.2 Educación en ingeniería	155
4.3 Energía	161
4.4 Minería	166
4.5 Transporte	167
4.6 Agroindustria y alimentos	176
4.7 Manufactura	180
4.8 Economía digital	183
4.9 Infraestructura digital	186
4.10 Salud	188
4.11 Ciudades sísmicamente resilientes	192
4.12 Ciudades inteligentes	194
4.13 Estado digital	194
5. Conclusiones	201
5.1 Conclusiones sobre la visión de país y las personas hacia el 2030	202
5.2 Trayectorias de evolución posibles	206
5.3 Conclusiones sobre las oportunidades para la política pública	207
5.4 Conclusiones sobre las oportunidades para las instituciones de educación superior (IES)	211
5.5 Conclusiones sobre las oportunidades para empresas y actores económicos	217
5.6 Conclusiones sobre las oportunidades para las personas	221
5.7 Conclusiones sobre la visión de la ingeniería chilena hacia el 2030 y las oportunidades para la comunidad de ingenieros/as y otros/as profesionales	222
5.8 Síntesis global	223

El Instituto de Ingenieros de Chile tiene como misión, “*promover la excelencia de la ingeniería, de su enseñanza y con ello contribuir al desarrollo del país*”. En virtud de lo anterior, el presente documento recoge el trabajo realizado por la Comisión creada por el Directorio para estudiar las Prospectivas de la Ingeniería en Chile en los años futuros, en un contexto de grandes incertidumbres a nivel nacional e internacional como las que estamos viviendo.

En el contexto señalado, se estima que la formación científica de los ingenieros les confiere las capacidades necesarias para realizar estudios basados en la sistematización de la información existente. Ello permitió, en definitiva, generar el texto que aquí se presenta, que estamos seguros será un gran apoyo, tanto para la academia - en la formación de los profesionales del futuro -, como para los diferentes ámbitos del sistema productivo y los tomadores de decisiones.

El valor de esta publicación radica, por una parte, en la calidad del estudio y análisis que realizaron los integrantes de la Comisión de Prospectivas de la Ingeniería del Instituto de Ingenieros de Chile y, por otra, en la temática misma de la prospectiva de la ingeniería, con foco en los ámbitos de transformación digital e industria 4.0, como base para la mirada del desarrollo, entregando a la comunidad una herramienta de consulta de alto nivel en su sentido más amplio. Estos análisis son de por sí un importante aporte para quienes deben tomar decisiones, entregándoles elementos adicionales para su reflexión.

En virtud de lo expuesto, la Universidad Técnica Federico Santa María compartió la visión y objetivos de este trabajo y por ello decidió apoyarlo, participando de la edición y publicación de este texto, permitiendo de esta manera, divulgar con mayor amplitud el conocimiento nacido en el seno del IING. Agradecemos a su rector Dr. Juan Yuz E., la participación de la Universidad Técnica Federico Santa María que refuerza de esta manera los vínculos entre nuestra corporación y la academia.

Silvana Cominetti Cotti-Cometti
Presidenta del Instituto de Ingenieros de Chile

Chile ha avanzado significativamente en los últimos años en cuanto a la adopción de tecnologías digitales y la promoción de la industria 4.0. Nuestro país hoy cuenta con estrategias de transformación digital, una Política Nacional de Inteligencia Artificial, así como una serie de iniciativas y programas gubernamentales que buscan fomentar la adopción de tecnologías digitales y la innovación.

Si bien contamos con una serie de ventajas en términos de infraestructura y conectividad, como la tasa de penetración de internet del 70% (una de las más altas de América Latina) y una red de fibra óptica que conecta a la mayoría de las ciudades del país, es evidente que todavía nos falta aprovechar las grandes oportunidades de este cambio tecnológico para alcanzar nuestros objetivos de desarrollo sostenible.

En ese sentido, resulta fundamental observar, describir y analizar las oportunidades de corto, mediano y largo plazo, identificando las tendencias tecnológicas emergentes y los potenciales cambios en el mercado que pueden afectar a las industrias y organizaciones, considerando siempre las características propias de nuestras regiones y de nuestro país en general.

A través de un encomiable trabajo de prospección, que recoge, precisa y actualiza los esfuerzos existentes del ecosistema nacional en esta materia, el Instituto de Ingenieros de Chile nos entrega un instrumento que será fundamental para nutrir y orientar las decisiones del mundo público y privado en el ámbito científico-tecnológico.

La transformación digital en el contexto de la industria 4.0 seguirá avanzando a nivel mundial con o sin nosotros, por el crecimiento sostenido de nuevo conocimiento científico-tecnológico, el aumento de emprendedores e innovadores, las políticas públicas proactivas y la mayor inversión en los ámbitos digitales, entre otros factores, generando oportunidades que debemos aprovechar.

El presente informe aborda estos escenarios y nos muestra cambios que podrían ocurrir en la minería, educación en ingeniería, transporte, energía y otras áreas fundamentales para desarrollo del país, señalando espacios de crecimiento específicos en cada sector. El panorama, en general, es positivo, si asumimos este desafío con responsabilidad y priorizamos la colaboración entre los actores relevantes: Estado-Industria-Academia.

Es destacable el trabajo metodológico realizado por la Comisión Prospectiva de Ingeniería del Instituto de Ingenieros de Chile, integrando desarrollos propios y prácticas internacionales, con el fin de considerar tanto las tendencias y transformaciones fuera y dentro del país, así como los escenarios futuros de desarrollo en base a las tecnologías de transformación digital.

Los resultados y conclusiones del estudio son valiosas y esperanzadoras: si logramos entender nuestros propios retos y dificultades como posibilidades de generar, a través de la innovación tecnológica, nuevas actividades económicas y sociales, confío en que seguiremos transformando a Chile en un polo digital de desarrollo sustentable, que cumpla un rol relevante del ecosistema mundial.

Juan Yuz Eissmann
Rector de la Universidad Técnica Federico Santa María

AGRADECIMIENTOS

El Instituto de Ingenieros de Chile agradece la dedicación y compromiso de los integrantes de la Comisión: Jorge Yutronic, Paola Arellano, Juan Carlos Barros, Sergio Bitar, Raul Ciudad, Felisa Córdova, Thierry de Saint Pierre, Yadran Eterovic, Cristian Hermansen, Victor Grimblatt, José Orlandini, Alfredo Piquer, Javier Ruiz del Solar y Rodolfo Saragoni, quiénes han aportado sus visiones, conocimientos y experiencias en Transformación Digital e Industria 4.0, destacándose su valiosa y prolongada labor hasta lograr la convergencia en los ámbitos de prospectiva de Ingeniería, lo cual demandó un significativo trabajo colaborativo. Asimismo, el Instituto agradece a Carlos Gauthier, Carlos Massad, Pablo Aqueveque, Claudio Muñoz y otras personas que hicieron contribuciones en temas específicos de importancia para la prospectiva.

El Instituto expresa su reconocimiento a los integrantes del Comité Editorial a Juan Carlos Barros, Felisa Córdova, Yadran Eterovic y Jorge Yutronic y al Ingeniero Sr. Raúl Uribe, Director de la Revista y Anales de Instituto de Ingenieros de Chile quién, en su calidad de editor de las publicaciones de nuestra Corporación, colaboró en la revisión del material que integra este informe. Se hace extensivo este reconocimiento al Sr. Carlos Gauthier, por el apoyo prestado al trabajo de la Comisión.

Finalmente, el Instituto de Ingenieros de Chile agradece a la Universidad Técnica Federico Santa María y a su Rector, Juan Yuz Eissmann, por aceptar la invitación realizada a involucrarse en el diseño y publicación de este documento.

ACRÓNIMOS

4RI: Cuarta Revolución Industrial

ACTI: Asociación Chilena de Tecnologías de Información

ANAC: Asociación Nacional Automotriz de Chile

APEC: Asia Pacific Economic Cooperation

CPI: Comisión Prospectivas de la Ingeniería del Instituto de Ingenieros de Chile

CEPAL: Comisión Económica para América Latina

COP: Conferencia de las Partes. Cumbre Anual de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC)

GPD: Gross Domestic Product

DEFI: Finanzas Descentralizadas

ERNC: Energías Renovables No Convencionales.

I4.0: Industria 4.0

IES: Instituciones de Educación Superior

INE: Instituto Nacional de Estadísticas

ISIC: International Standard Industrial Classification of all Economic Activities

IoT: Internet of Things (Internet de las Cosas)

KISTEP: Korea Institute of S&T

NAE: National Academy of Engineering (USA)

NFT: Tokens no intercambiables o no fungibles.

OECD: Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico

ODS: Objetivos del Desarrollo Sustentable de Naciones Unidas

PIB: Producto Interno Bruto

PNUD: Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo

RAE: Royal Academy of Engineering (UK)

SECTRA: secretaria de Planificación de Transporte

TD: Transformación Digital

TD+I 4.0: Transformación digital e industria 4.0

TLCs: Tratados de libre comercio

UNCTAD: Conferencia de las Naciones Unidas sobre Comercio y Desarrollo

UNESCO: Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura.

WEF: World Economic Forum

RESUMEN EJECUTIVO

La Ingeniería está desafiada a dar una mejor respuesta a las necesidades del país y de las personas

La ingeniería ha permitido a la humanidad y a nuestro país dar importantes saltos evolutivos. Son muchos a través de la historia: sistemas de comunicaciones; ferrocarriles y otros medios de transporte terrestre; energía eléctrica de diferentes fuentes; aeronáutica; electrónica, computación y automatización; síntesis química; materiales con mejores propiedades; construcción sísmicamente resiliente; y muchos otros.

La sociedad se ha vuelto más compleja e incierta y el medio ambiente más vulnerable. Esto con la manifestación continua de muchas necesidades y aspiraciones insuficientemente abordadas. Las soluciones de ingeniería habituales ya no son suficientes y aumentan las exigencias por soluciones más integrales.

La ingeniería está desafiada a nuevas alturas.

Para abordar responsablemente este desafío es necesario una prospectiva que permita comprender las proyecciones y opciones posibles de la Ingeniería y la tecnología con sus efectos en el país, y así orientar mejores decisiones.

Ésta es la tarea que asumió el Instituto de Ingenieros de Chile y la abordó con foco en la transformación digital¹ y la Industria 4.0² (tecnologías, modelos de negocios) debido a sus notables efectos en la vida y la sociedad, y a su transversalidad con las disciplinas científico - tecnológicas y los ámbitos económicos - sociales.

Las dinámicas globales impactan crecientemente en los territorios

Se ha acelerado y vuelto más complejo el desarrollo tecnológico y su impacto en todas las actividades humanas.

Las tecnologías desplegadas en los ámbitos digitales en la última década dan cuenta de ello, en particular: inteligencia artificial, realidad virtual y realidad aumentada, simuladores, servicios avanzados “en la nube” (cloud computing), plataformas digitales, redes sociales digitales, vehículos autónomos, internet de las cosas (IoT), robótica industrial y social, sistemas de quinta generación.

Éstas se potencian entre sí y también con otro tipo de tecnologías. Entre ellas: tecnologías de materiales y nanotecnología, tecnologías de energías renovables, neuro tecnologías, biotecnología, genética, agrotecnología sustentable, exploración espacial. Más aún, todas estas tecnologías continúan desarrollándose con dinamismo sin todavía alcanzar su estabilización.

Asimismo, nuevas tecnologías han empezado su desarrollo, entre ellas: la computación cuántica, la profundización de la inteligencia artificial, la síntesis biológica de órganos y alimentos, entre otras.

Todo esto - articulado con inversiones sin precedentes privadas y públicas a escala planetaria - configura una aceleración y creciente complejidad del desarrollo tecnológico y su impacto.

¹ Transformación Digital: TD de aquí en adelante.

² Industria 4.0: I4.0 de aquí en adelante. También, se usa en el texto la combinación TD+I 4.0

³ Los actores referidos en este documento son: personas, instituciones, empresas, organismos públicos, organizaciones de la sociedad civil y otras entidades.

La Transformación Digital y la Industria 4.0 están cambiando significativamente la vida³ de las personas, las empresas, instituciones de educación, organismos públicos, organizaciones de la sociedad civil y otros actores.

Las soluciones de TD+I 4.0 alteran asimétricamente las realidades internas de los países y los vínculos entre los actores (empresas, organismos públicos, instituciones), facilitando la generación de riqueza y bienestar para las personas, pero también, afectando el empleo y la equidad social, la salud mental y nuevas relaciones humanas; así como expresando riesgos de control social y de debilitamiento de algunas libertades y de la democracia.

Las soluciones de TD+I 4.0 alteran la relación entre las personas, y de ellas con el Estado y las grandes empresas

Existen expectativas fundadas de que estas tecnologías sean medios efectivos para abordar el desarrollo sustentable acorde con los ODS⁴ de la ONU, la respuesta al cambio climático, la creación de riqueza y bienestar para toda la población, el desarrollo de nuevas posibilidades de gobernabilidad y participación ciudadana, la descentralización y democracia en la sociedad digital. También, existen temores de que estas tecnologías – en algunos ámbitos - aumenten las desigualdades y subordinen al ser humano.

La práctica de la Ingeniería se ha ido diferenciando en diversas actividades a escala internacional. Algunas, muy innovadoras que provocan los cambios tecnológicos mayores y que luego se despliegan por el mundo y otras actividades asociadas a la implementación, uso y mantención de tales tecnologías, con asimetrías importantes en la creación de valor en los territorios y comunidades, y con efectos significativos en el desarrollo de los países.

La Ingeniería avanzada responde al desafío y a las dinámicas globales

La Ingeniería está desafiada a generar mejores soluciones para la sociedad en el contexto de las dinámicas globales, actuales y proyectadas y, por lo tanto, a avanzar significativamente, a evolucionar e innovarse.

Por ello, la Ingeniería en Chile requiere combinar las mejores concepciones y prácticas internacionales relevantes con otras concepciones y prácticas a crearse en el país según sus propias características.

Todo esto, en un proceso continuo de progreso, hasta lograr resultados notables verificables en la solución a los problemas complejos de la sociedad y el medio ambiente.

En síntesis, la generación de una ingeniería avanzada a la altura de los desafíos.

La prospectiva, medio fundamental para la ingeniería avanzada y sus contribuciones a la sociedad

La prospectiva es clave para comprender, promover, motivar y orientar. En particular, para:

- Comprender bien los escenarios de futuro de la TD+I 4.0 – tecnologías, modelos de negocios, políticas públicas, ámbitos, efectos – para avanzar más allá de los

⁴ ODS: Objetivos del Desarrollo Sustentable, establecidos por las Naciones Unidas. Actualmente, 17 ODS.

“lugares comunes” y hacer hallazgos útiles para apoyar las decisiones de los actores en el país. Y comprender bien las oportunidades y los riesgos en los escenarios de futuro.

- Promover y apoyar la identificación y elaboración de las políticas públicas necesarias para aumentar la contribución de TD+I 4.0 al desarrollo sustentable del país y al bienestar y prosperidad de las personas.
- Motivar y apoyar a los actores involucrados en el proceso de transformación (empresas, instituciones, organismos públicos, otros actores) a avanzar significativamente en su evolución en TD+I 4.0.
- Motivar y apoyar a las personas en diversas ocupaciones a participar creativamente en TD+I 4.0, en particular ingenieros/as.
- Contribuir a la innovación y aumento de las actividades de Ingeniería – articulada con otras profesiones – para hacer viable el avance significativo y con calidad de la TD+I 4.0, que sean aptas para el desarrollo sustentable del país, y el bienestar y prosperidad de las personas.

Existe experiencia en prospectiva de los países más desarrollados, sobre las transformaciones y las tecnologías. También, se han realizado actividades prospectivas en Chile. Estas experiencias fueron consideradas en la CPI y son utilizadas en este informe.

No obstante, existe menos actividad en prospectiva sobre la ingeniería asociada a las transformaciones y las tecnologías.

Metodología de Prospectiva: credibilidad y confiabilidad son determinantes

La CPI ha usado una metodología integrada de prospectiva CPI compuesta por:

- Horizonte de prospectiva: 2030.
- Proceso metodológico de prospectiva válida a nivel internacional, según esquema presentado en capítulo 1. En particular, que considera un análisis crítico e interpretación de los miembros de CPI sobre las tendencias internacionales.
- Escenarios de futuro caracterizados por:
 - Escenario I: despliegue de las tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas existentes a nivel internacional, optimizados y acelerados en lo que es pertinente para el caso de Chile.
 - Escenario II: combinación de Escenario I + disrupciones en tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas.

Ambos se consideran respecto al escenario de referencia base, consistente en despliegues de tecnologías y modelos de negocios existentes, sin optimizar ni acelerar (“más de lo mismo”, *business as usual*).

Selección de unos ámbitos/sectores⁵ relevantes para Chile a los cuales aplicar

⁵ Aunque el alcance de la CPI es amplio incluyendo diversos ámbitos de Ingeniería, no considera otros que son también importantes. Por ejemplo: ingeniería genética, ingeniería militar, ingeniería aeroespacial.

la prospectiva, según se indica en el Recuadro 1. Con ello, comprender mejor las transformaciones posibles, para luego generalizar con fundamento a nivel de país y de la ingeniería.

Recuadro 1. Sectores / ámbitos seleccionados para realizar la prospectiva.

Energía	Minería	Transporte	Agroindustria y alimentos
Salud	Educación en Ingeniería	Ciudades inteligentes	Ciudades sísmicamente resilientes
Manufactura	Economía digital	Infraestructura digital	Estado digital

Consideración de tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas ya expresadas internacionalmente, incluyendo aquellas que son incipientes.

Un conjunto de tecnologías de TD+I 4.0, según se indica en Recuadro 2.

Recuadro 2. Tecnologías consideradas en la prospectiva.

Inteligencia artificial – Analítica avanzada	Realidad Virtual – Realidad Aumentada ⁶	Simuladores – Manufactura aditiva	Internet de las cosas.
Computación de alto desempeño.	Blockchain.	Servicios cloud avanzados.	Vehículos autónomos
Robótica	Plataformas digitales	Computación cuántica	Comunicaciones 5G

Algunos modelos de negocios y políticas públicas relevantes para tales tecnologías.

- Información de anticipación sobre nuevas tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas, e imaginación de los miembros de CPI sobre su desenvolvimiento.
- Uso de un *framework*⁷ para apoyar la realización de la prospectiva, homogéneamente entre ámbitos / sectores, considerando:
 - Lo que ya está expresado en Chile y que se prospecta continuar, aumentar, mejorar, potenciar, disminuir o eliminar.
 - Lo que ya está expresado en algún otro país y que se prospecta para Chile, en algún escenario.
 - Lo que no está expresado en parte alguna y que se prospecta para Chile.
 - Análisis de los efectos de COVID – 19 en las tendencias de transformación de los escenarios I y II en los respectivos ámbitos / sectores seleccionados. Catalizando algunas transformaciones y retardando otras.

⁶ La Realidad Virtual y la Realidad Aumentada se aplican en una variedad de ámbitos. Asimismo, se proyectan en el Metaverso, en el que los seres humanos pueden interactuar mediante uso de avatares.

⁷ En el anexo A se presenta la estructura del *framework* y su aplicación a la serie de ámbitos / sectores seleccionados.

⁸ Principales fuentes internacionales consideradas: OECD, WEF, ONU, BM, BID, organismos de diversos países. Al final del Informe se presenta la lista de referencias específicas.

⁹ Principales fuentes nacionales consideradas: estrategias y hojas de ruta de ministerios (minería, energía, medio ambiente, ciencia – tecnología – conocimiento – innovación, otros), programas estratégicos de CORFO, entidad de prospectiva.

- Uso de información secundaria de calidad
- (internacional⁸ y nacional⁹) como insumo para el debate de CPI y la realización de la prospectiva. Con foco en TD+I 4.0.
- Realización de hipótesis relevantes sobre las tendencias que continuarán expresándose hacia 2030, señaladas en el Recuadro 3.

Recuadro 3. Hipótesis relevantes para la Prospectiva referidas a TD+I 4.0 y su evolución.

- ✓ Se renovarán progresivamente los fundamentos del desarrollo económico - social de los países. Incorporando los significativos avances del conocimiento científico – tecnológico.
- ✓ Seguirán los contextos sociales dinámicos con incertidumbre, complejidad y vulnerabilidad. Incluyendo: tensiones sociales y políticas, migraciones y cambios demográficos, pandemias, aspiraciones de las personas (trabajo de mejor calidad, equidad e inclusión, otros), y posible crecimiento de desigualdad por aceleración tecnológica.
- ✓ Continuarán simultáneamente los desenvolvimientos de las visiones positivistas sobre la ciencia y tecnología, y de las visiones distópicas, y las tensiones entre ellas.
- ✓ Aumentará la orientación de los países a cumplir los ODS y a satisfacer las necesidades sociales. Con énfasis en la respuesta al cambio climático, a la equidad, al bienestar de las personas.
- ✓ La TD y la I4.0 continuarán desplegándose con dinamismo a nivel internacional. Generando muchas oportunidades, y también riesgos.
- ✓ Las inversiones internacionales continuarán aumentando en las iniciativas innovadoras de servicios, además de los activos físicos. Con creciente orientación al triple impacto (lógicas ESG¹⁰ y otras).
- ✓ Aumentarán las tensiones asociadas a la “Trampa”¹¹ de Tucídides y la hipótesis sobre el despliegue de China como potencia global (en particular, en América Latina) y la declinación de EUA.
- ✓ En Chile: aumentará la voluntad y disposición de la población, no sólo de sus actores especializados, para participar creativamente en la TD+I 4.0 (y otros ámbitos científico – tecnológicos), aplicándolas en el desarrollo de una sociedad sustentable, que provea bienestar y prosperidad para todos.

- Consideración de la experiencia lograda en Chile hasta 2021 en iniciativas estratégicas y prospectiva, según Recuadro 4.

⁸ Principales fuentes internacionales consideradas: OECD, WEF, ONU, BM, BID, organismos de diversos países. Al final del Informe se presenta la lista de referencias específicas.

⁹ Principales fuentes nacionales consideradas: estrategias y hojas de ruta de ministerios (minería, energía, medio ambiente, ciencia – tecnología – conocimiento – innovación, otros), programas estratégicos de CORFO, entidad de prospectiva.

¹⁰ ESG: Environmental, Social and Governance.

¹¹ La Trampa de Tucídides se refiere a las tensiones entre una potencia dominante y otra en ascenso, y los efectos en sus entornos de influencia. Actualmente, se utiliza para abordar las tensiones evolutivas entre EUA y China (económicas, tecnológicas, geopolíticas), y sus efectos en otros países y regiones. En particular, América Latina.

Recuadro 4. Relación selectiva de avances de Chile en prospectiva e iniciativas estratégicas (hasta 2021).

- ✓ Síntesis de planteamientos de diversos estudios: Propuesta de Estrategia de Transformación Digital de Chile (CPI); Estrategia Chile 2030 (Consejo Chileno de Prospectiva y Estrategia); Competitividad; otros.
- ✓ Síntesis de compromisos internacionales de Chile que orientan su evolución futura: ONU (derechos humanos, ODS), OECD, COP, APEC, TLCs y otros.
- ✓ Síntesis de algunas iniciativas relevantes del país proyectadas al 2030 y futuro: en particular los Programas Estratégicos (Minería, Energía, Economía Circular, Alimentos, Construcción, y otros). Varios de los cuáles han sido realizados con participación ciudadana.
- ✓ Análisis crítico respecto de los antecedentes chilenos consultados: ¿Cómo apalancarlos en la prospectiva de CPI para crear valor para Chile y las personas?

Síntesis de escenarios en cada ámbito / sector por los miembros de la CPI y análisis colectivo en sus plenarios. Debate constructivo, retroalimentaciones sobre las presentaciones y elaboración sintética.

Consideración de un “tono Chile 2030” de las presentaciones en función de las aspiraciones: logros de los ODS¹² en el país, bienestar de las personas, orientación al consenso, inclusión y equidad, innovación, desarrollo en los territorios. Con orientación estratégica y teniendo presente los indicadores ONU (ODS), WEF, CPI.

Consideración de aspectos jurídicos que facilitan o no la evolución de Chile en TD + I 4.0.

Síntesis de evolución hacia 2030, en los escenarios I y II, y con el “tono Chile 2030”, considerando: tipo de inversión; tipo de I+D+i; características de capital humano; políticas públicas de diverso tipo; actuaciones de empresas privadas y estatales, emprendedores e innovadores; actuaciones de IES¹³ y otras instituciones privadas, estatales y mixtas; actuaciones de ingenieros/as.

Síntesis de reafirmaciones, cambios y planteamientos nuevos (diferentes a los existentes) realizados por los miembros de CPI.

Finalmente, retroalimentaciones realizadas en la plenaria de CPI a los escenarios por ámbito / sector. Y la armonización (coherencia) entre ellos y la síntesis final realizada por el Comité Editorial constituido para la edición del Informe CPI.

Así, la metodología usada por CPI presenta las características señaladas en el Recuadro 5.

¹² ODS: Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU.

¹³ IES: Instituciones de Educación Superior.

Recuadro 5. Características relevantes de la Metodología.

- ✓ El Horizonte de prospectiva (2030) hace posible tanto la proyección de las tecnologías que ya se están desplegando internacionalmente y sus usos diversos, como el surgimiento de nuevas tecnologías y la construcción de nuevas realidades.
- ✓ La Metodología articula los aspectos transversales de la TD+I 4.0 y su impacto en la sociedad, así como los aspectos verticales característicos de los diversos ámbitos / sectores. Con ello, permite realizar unos análisis más profundos y las síntesis de planteamientos para apoyar las decisiones de los actores en el país.
- ✓ Va más allá de los “lugares comunes” originados en el mero traslado de las prácticas de los países más avanzados (“me too”), y prospecta las dimensiones y los elementos más relevantes para Chile y su población.
- ✓ Permite sintetizar orientaciones, propuestas de decisiones y motivaciones para los diversos actores del país.
- ✓ Facilita la generación de visiones compartidas a nivel del país y de sectores / ámbitos y de las hojas de rutas para materializarlas.

Imperiosa necesidad¹⁴ de comprender, analizar e interpretar lo que está ocurriendo a escala global, más allá de lo evidente

Aumenta la velocidad de desarrollo de las tecnologías, así como su variedad y poder de impacto. Algunos actores líderes (empresas, organismos públicos, academia) declaran la enorme dificultad de mantenerse actualizados.

Auge de modelos disruptivos en varias industrias – basados intensamente en la digitalización y la ampliación de las comunidades (poblaciones con ciertas identidades, necesidades y aspiraciones) – que desplazan a los incumbentes (empresas, instituciones, organismos públicos existentes) o los impulsan a transformarse. Con el surgimiento del liderazgo de nuevos actores.

Generación de asimetrías importantes como consecuencia de TD+I 4.0: entre industrias, entre organismos públicos, entre instituciones, entre países, entre personas:

- Concentración y efecto de inequidad entre las personas: necesidad de mejor acceso y distribución de los bienes que genera.
- Creación y destrucción de valor en las industrias: necesidad de mayor colaboración entre actores y las políticas públicas aptas para el desarrollo sustentable y armónico.
- Creación y destrucción de empleo: necesidad de anticipación, preparación y apoyos en las transiciones laborales (educación continua, desarrollo oportuno de ocupaciones más valiosas, protección en la transición de empleo).
- Vulnerabilidad y protección frente a los ataques cibernéticos crecientes y al uso no autorizado de la data.

¹⁴ Esta necesidad surge de: los significativos efectos colaterales de diversas tecnologías; la complejidad creciente de la articulación de las tecnologías con los fenómenos ambientales y sociales.

Evolución progresiva hacia la singularidad¹⁵ tecnológica y sus impactos mayores en la sociedad.

Ampliación y transversalidad de los usos y efectos de las tecnologías, en prácticamente todos los campos de actividad humana y su articulación con la naturaleza.

Osmosis creciente entre los sectores, los ámbitos, las industrias, las profesiones. Y fronteras que se derriban o se hacen difusas. Colaboración progresiva y aparición de nuevos campos. En particular, ingeniería con capacidad de interacción multidisciplinaria.

Profundizaciones en los ámbitos y actividades. Alcanzando niveles desconocidos, moviendo la frontera de lo posible.

Sinergia tecnológica: entre TD+I 4.0 y otras tecnologías (tecnologías de energía, de materiales, biotecnología, y varias otras). Desarrollo de soluciones híbridas.

Sinergia y dinamismo interno en TD+I 4.0. Varias combinaciones: IoT + IA + Robótica; RV/RA + IA + Machine learning; blockchain + Big Data. Soluciones aceleradas y con crecientes grados de autonomía.

La expansión de la economía digital está liderada principalmente por la data digital y las plataformas. Una parte importante de los cambios se explican por ellos.

La TD+I 4.0 y la economía digital asociada están distribuidas inequitativamente entre los territorios a escala internacional, y también internamente en los países.

Necesidad de lograr una comprensión y un acuerdo internacional sobre cómo medir bien el valor que crea la economía digital (cuáles son los efectos imputables y los instrumentos de medición aptos). Según UNCTAD, desde 4,5% a 15%¹⁶ del PIB global.

La expansión de TD+I 4.0, en particular en la forma de plataformas digitales, tiene implicancias globales. Afecta la viabilidad de las industrias de cada país, altera los flujos de recursos financieros y de capital humano entre países, crea poderes mayores (empresas globales, en particular tecnológicas) incluso que los de varios países, genera unos vínculos directos con las personas que va muchos más lejos que los vínculos que ellas tienen en los contextos locales y nacionales.

Auge de la inteligencia artificial como tecnología transversal de impacto significativo en varias industrias y actividades. Y sus efectos en la toma de decisiones, los roles de las personas y de las empresas e instituciones, con la autonomía progresiva de los dispositivos y sistemas artificiales. Como una clave para el éxito en las transformaciones.

La TD+I 4.0 – y la economía digital asociada - están fuertemente impulsadas por la articulación y convergencia simultánea de las tecnologías señaladas en el Recuadro 2, en forma dinámica y potenciadas por la data digital y la gestión avanzada.

Los flujos de datos están aumentando a tasas sin precedentes (triplicándose en 5 años¹⁷ medido por flujo internet), creando un espacio de efectos mayores y con dificultad de control por los actores.

¹⁵ Singularidad tecnológica: momento hipotético del futuro en que el desarrollo tecnológico se torna autónomo e incontrolable por los seres humanos, con consecuencias imprevisibles.

¹⁶ Digital Economy Report. UNCTAD. Value Creation and Capture: Implications for Developing Countries. 2019.

¹⁷ Ibid

Dos países (EUA y China)¹⁸ concentran los principales activos tecnológicos: 75% del mercado cloud, 50% del gasto de I+D en ámbitos digitales, 90% de la capitalización de las empresas de plataformas digitales. Esto plantea un desafío para todos los países.

El uso de las tecnologías TD+I 4.0 está creciendo entre 20% y 80%¹⁹ anual a escala global, por sobre las tasas de crecimiento de otras tecnologías.

La aparición de nuevas tecnologías, en particular de aplicaciones, es cada vez más frecuente. En algunos casos, ya ocurre en plazos menores a un año.

La economía digital – asociada a TD+I 4.0 - continuará siendo estudiada por diversas entidades académicas. En particular, para desarrollar marcos teóricos más adecuados para abordarla y considerar sus variados efectos. Existen aproximaciones conceptuales tanto desde las teorías económicas existentes (por ejemplo, enfoque ONU con núcleo + economía digital + economía digitalizada) como desde el intento de desarrollar nuevas teorías. Pero estos desarrollos están en sus primeros pasos, y muy probablemente ocurrirán avances relevantes en los próximos años.

Considerando lo señalado más arriba, a nivel internacional - y más aún en Chile - son necesarias nuevos tipos de políticas para:

- hacer que la TD+I 4.0 - y la economía digital asociada - generen valor para todas las personas y no solo para unos pocos;
- fomentar: la anticipación y preparación de las personas en el uso adecuado de TD+I 4.0; la generación y capturar valor;
- aprovechar la data digital y proteger a las personas respecto de su eventual mal uso, asegurando su privacidad y protección frente a amenazas digitales diversas;
- realizar los cambios con velocidad y flexibilidad; y, muchas veces, en colaboración internacional;
- hacer viable la competencia sustentable entre empresas a escala internacional, así como una adecuada recaudación y distribución de los impuestos respectivos en los países.
- generar capacidades nacionales en algunas áreas críticas (I+D+i, formación, acumulación de talento y recursos, proyectos y programas relevantes, instituciones idóneas).
-

Prospectiva: lanzados hacia opciones desafiantes de futuro

Dinámica del ejercicio de prospectiva de la CPI: comprensión y caracterización de las tendencias internacionales respecto de su aplicación en Chile, según los desafíos del país (Recuadro 6).

¹⁸ Ibid

¹⁹ Ibid

Recuadro 6. Dinámica base del ejercicio de prospectiva de la CPI: comprensión y caracterización de las tendencias internacionales respecto de su aplicación en Chile, según los desafíos del país.

- ✓ Análisis de tipos de tecnologías, sus características relevantes y sus impactos actuales y proyectados.
- ✓ Desarrollo de relatos simples con algunos recuadros explicativos, citando fuentes secundarias.
- ✓ Énfasis en: convergencia tecnológica, aceleración tecnológica, no linealidad de la evolución tecnológica y su adopción social²⁰, complejidad e incertidumbre.
- ✓ Efectos de la Transformación Digital e Industria 4.0 en los ámbitos / sectores seleccionados: beneficios y riesgos.
- ✓ Uso de fuentes confiables de información secundarias (WEF, OECD, ONU, organismos internacionales y organismos de diversos países).
- ✓ Consideración de los efectos de TD+I 4.0: económicos, sociales (trabajo, uso del tiempo, bienestar), ambientales.
- ✓ Análisis crítico de las tendencias tecnológicas consideradas: ¿Cómo se usan en la prospectiva de CPI para el desarrollo de Chile y las personas?
- ✓ Comprensión y consideración de los avances de Chile en TD+I 4.0.
- ✓ Consideración de países de referencia para Chile en los ámbitos / sectores seleccionados o en forma amplia.
- ✓ Análisis crítico respecto de los casos de otros países considerados: ¿Cómo se aprovechan en la prospectiva de CPI para el desarrollo de Chile y las personas?
- ✓ Análisis crítico: ¿Qué es lo diferente de Chile, su población, su territorio? ¿Qué áreas relevantes están deficitarias? ¿Cuáles son oportunidades valiosas?

Escenario I: notables avances posibles con la aceleración y optimización de las tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas que se despliegan en el mundo aplicables a Chile. Con aspectos destacados diferenciados por ámbito / sector según se indica en Recuadro 7.

²⁰ Por ejemplo, en la lógica de Gartner.

Recuadro 7. Escenario I por sector / ámbito.

Sector / ámbito	Aspectos destacados de prospectiva en el Escenario I
Educación en Ingeniería	<p>Las empresas tecnológicas apoyan a los procesos educativos universitarios.</p> <p>Mejora el acceso a la educación superior y a los estudios de ingeniería, aumentando significativamente el número de estudiantes de ingeniería.</p> <p>El uso de learning analytics y data science permite tomar mejores decisiones educativas.</p> <p>Las IES se vuelven más flexibles y ágiles.</p> <p>El desarrollo de la ingeniería en áreas de relevancia nacional propicia un fuerte cambio en la formación de ingenieros/as.</p> <p>La calidad como criterio fundamental que guía a las IES.</p> <p>La investigación y desarrollo como un factor determinante en el desarrollo de productos, servicios y soluciones exportables.</p> <p>Un número mayor de mujeres participa activamente en procesos y prácticas de ingeniería.</p>
Energía	<p>Avance en la generación de energía eléctrica renovable.</p> <p>Electromovilidad masiva en el transporte público.</p> <p>Energía térmica confortable y limpia.</p> <p>Medición energética inteligente e irrupción del prosumidor.</p> <p>Digitalización de redes para mejorar la calidad de servicio.</p> <p>Mayor información transparente y de calidad.</p>
Minería	<p>Industria eficiente, integrada, de altos estándares y referente mundial.</p> <p>Impulso a la innovación en diferentes sectores productivos.</p> <p>Desarrollo tecnológicos y mantención como primer productor de cobre del mundo.</p> <p>Incorporación de sello “cobre verde” en el mercado.</p> <p>Incremento en el número y monto exportado por los proveedores mineros</p>
Transporte	<p>Desarrollo acelerado de medios de transporte unipersonales y personalizados.</p> <p>Aumento en la cobertura de redes de Metro y trenes, liderando el transporte público urbano de larga distancia.</p> <p>Recuperación del transporte aéreo en el periodo 2025-2030.</p> <p>Cambio en la naturaleza de los viajes debido a las TICs.</p> <p>Minimización de necesidades de espacio junto al mar en los puertos para el transporte marítimo.</p> <p>Agilización del transporte marítimo de carga con el uso de la tecnología.</p> <p>Rol relevante de las plataformas tecnológicas avanzadas en los servicios portuarios.</p> <p>Incremento en el número de automóviles circulando, recorriendo menos distancias.</p> <p>Aumento en el número de automóviles eléctricos.</p> <p>Transporte de carga urbano mayoritariamente eléctrico.</p>
Agricultura y alimentos	<p>Tecnología al servicio transformador de la industria agroalimentaria.</p> <p>Siembra realizada a partir de datos históricos y del suelo.</p> <p>Riego y la fertilización realizados según análisis de suelos in situ.</p> <p>Economía Circular desplegada en el sector agroalimentario.</p> <p>Cosecha robotizada ayuda a mejorar la productividad y la calidad de los productos agrícolas.</p> <p>Monitoreo remoto de animales es una realidad, aunque su aplicación no es aún masiva en nuestros campos.</p> <p>Monitoreo remoto y control automatizado de plagas permite aumentar la productividad y calidad de los productos agrícolas.</p> <p>Sensores se despliegan en el campo y en las cadenas de producción.</p> <p>Se concreta la trazabilidad del productor al consumidor.</p> <p>Agricultura urbana acerca los productos al consumidor disminuyendo sus costos.</p> <p>Disminución de los tiempos de producción a través de la automatización.</p> <p>Tecnología del agro permite reducir la emisión de gases de efecto invernadero producidos por la agricultura.</p>

Manufactura	<p>Aumenta el uso de productos y servicios avanzados mientras otros van en retirada.</p> <p>Surgimiento y despliegue de nuevos productos y servicios habilitados por las tecnologías I4.0.</p> <p>Aumenta la variedad y efectividad de los modelos operacionales y de negocios.</p> <p>Manufactura se transforma y tiene resultados e impactos importantes en el país.</p>
Economía Digital	<p>Se sistematiza la transformación provocada por la Pandemia (Covid-19) en teletrabajo, teleducación, telesalud, servicios digitales de gobierno, comercio electrónico, plataformas de delivery y otros.</p> <p>La innovación y el emprendimiento aumentan sus roles determinantes en el desarrollo y crecimiento de la industria digital, generando aceleradamente productos o servicios claves.</p> <p>Las empresas continúan su movilización hacia infraestructuras centradas en la nube, algunas con computación en la punta en los dispositivos IoT o en zonas intermedias.</p> <p>Avanza un modo de operación híbrido de las empresas, combinando actividades remotas y presenciales.</p> <p>La resiliencia digital se configura como un atributo clave de las empresas y organizaciones para que se adapten a la disrupción y en respuesta a las nuevas condiciones.</p> <p>Aumenta en forma importante la automatización de procesos de negocio y operacionales utilizando analítica en tiempo real, algoritmos de inteligencia artificial y aprendizaje automático.</p> <p>Las empresas y sus proveedores tecnológicos se articulan crecientemente como partners.</p> <p>Las tecnologías I4.0 se incorporan a la economía circular, en el diseño y operación de productos, servicios e infraestructuras.</p> <p>Los efectos combinatorios de las tecnologías continúan acelerando el cambio, aumentando la creación de valor y disminuyendo los costos.</p>
Infraestructura Digital	<p>Chile avanza hacia marcos regulatorios y de política pública que propician el despliegue de más y mejor infraestructura digital de telecomunicaciones</p> <p>Chile se proyecta como un Hub de conectividad internacional</p> <p>Mejoran los mecanismos de intercambio de infraestructura y la garantía de competencia para la conectividad nacional</p>
Salud	<p>Instituciones de educación superior forman en tecnología a los profesionales en áreas de salud y se fortalece la carrera de Ingeniería Biomédica.</p> <p>Centros de salud integran en sus procesos, en forma creciente, tecnologías digitales.</p> <p>Información de salud de los pacientes está disponible en línea, en forma segura.</p> <p>La interacción presencial entre pacientes y especialistas disminuye y se optimiza el uso de los recursos.</p> <p>Aumenta la atención médica bajo demanda.</p> <p>Mejoran la cobertura y los tiempos de atención.</p> <p>Crecimiento en el uso de dispositivos médicos portátiles permite una disminución en los costos de atención.</p> <p>Tipo de cuidado cambia desde diagnosticar y tratar a prevenir y gestionar.</p> <p>Cambia el lugar de tratamiento: del hospital al hogar .</p> <p>El uso de la medicina personalizada permite mejores recuperaciones y menores costos de atención médica.</p> <p>El uso de inteligencia artificial permite realizar mejores diagnósticos.</p>
Ciudades sísmicamente resilientes	<p>Aprobación de la actualización de las normas constructivas con objetivos de resiliencia.</p> <p>Código modelo de diseño sísmico para América Latina y el Caribe.</p> <p>Instrumentación sísmica de edificios altos.</p> <p>Incremento de edificios con aislación sísmica y disipación de energía.</p> <p>Nuevo método de diseño sísmico basado en propagación de ondas.</p> <p>Implementación del sistema integrado BIM.</p> <p>Internacionalización de las oficinas de consultoría.</p> <p>Red nacional de acelerógrafos de movimiento fuerte.</p> <p>Desarrollo de alerta temprana de evacuación sísmica.</p> <p>Mejoramiento de alerta temprana de tsunami.</p>

Ciudades inteligentes	<p>Sensorización para mejorar la movilidad.</p> <p>Sensorización para reducir la contaminación.</p> <p>Sensorización para aumentar la eficiencia energética.</p> <p>El uso de tecnologías asociadas a la industria 4.0 tiene efectos en la forma en la cual los gobiernos se comunican con las personas.</p> <p>Aumento de la participación ciudadana.</p>
Estado digital	<p>Centralización y calidad de los datos de la población.</p> <p>Uso de IA para un Estado algorítmico.</p> <p>Tecnologías 4RI para formación y desarrollo de capital humano avanzado.</p> <p>Tecnologías 4RI para la gestión de implantación y cumplimiento de proyectos de obras públicas y viviendas.</p> <p>Tecnologías 4RI para la gestión, control y atención eficiente a los ciudadanos y la administración de justicia.</p> <p>Sistemas avanzados de seguridad (smart city) basados en IA y 5G para la protección de los ciudadanos.</p>

Escenario II: transformaciones mayores y de gran impacto con las disrupciones y su combinación con la aceleración y optimización de las tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas que se despliegan en el mundo y que son aplicables a Chile. Con aspectos destacados diferenciados por ámbito / sector según se indica en Recuadro 8.

Recuadro 8. Escenario II²¹ por sector / ámbito.

Sector / ámbito	Aspectos destacados de prospectiva en el Escenario I
Educación en Ingeniería	<p>La educación en ingeniería es de alta calidad, inclusiva y equitativa.</p> <p>Para contribuir al logro del fin de la pobreza, las escuelas de ingeniería asignan un rol protagónico a las necesidades e intereses de la sociedad.</p> <p>Las escuelas de ingeniería contribuyen significativamente al desarrollo de la industria, innovación e infraestructura desde la formación de pregrado, posgrado y educación continua.</p>
Energía	<p>Generación eléctrica totalmente renovable.</p> <p>Electromovilidad en todo el transporte público, privado y de carga.</p> <p>Disminución de la pobreza energética para todos los habitantes.</p> <p>Mercado competitivo con nuevos actores.</p> <p>Proveedores mundiales de Hidrógeno verde.</p> <p>Información transparente y completa para todos los ciudadanos.</p> <p>Redes eléctricas digitalizadas permiten el empoderamiento de la demanda.</p>
Minería	<p>La Minería 4.0 convierte a Chile en un líder tecnológico, motivando el desarrollo de nuevas tecnologías, traccionando y habilitando industrias anexas.</p> <p>Chile se consolida como el primer productor de cobre a nivel mundial y su huella de carbono neutra le permite obtener posiciones ventajosas en los mercados internacionales.</p> <p>La industria de proveedores mineros logra exportar significativamente más que lo señalado en los planes actuales (PNM 2050).</p> <p>La brecha tecnológica entre la gran minería y la mediana-pequeña minería se reduce ostensiblemente.</p> <p>La minería chilena en su conjunto logra las menores tasas de accidentabilidad a nivel mundial.</p>

²¹ Desarrollo del Escenario se presenta en el capítulo 4 del Informe y anexos.

Transporte	<p>Los viajes de larga distancia disminuyen significativamente dentro de la ciudad, aumentando la productividad colectiva.</p> <p>Aumenta la cobertura de redes de Metro y trenes, liderando el transporte público urbano de larga distancia.</p> <p>Aumentan los vehículos unipersonales.</p> <p>El transporte es cada vez más semipersonalizado, y los taxis, autónomos.</p> <p>Se produce un cambio en la señalización urbana.</p> <p>Hacia 2030 el transporte aéreo se ha recuperado completamente.</p> <p>En el transporte marítimo la tecnología minimiza las necesidades de espacio junto al mar en los puertos.</p> <p>La demanda de transporte marítimo acelera el desarrollo portuario.</p> <p>Los automóviles eléctricos y vehículos autónomos dominan el mercado de personas y familias.</p> <p>El transporte de carga urbano e Interurbano es cada vez más automatizado y autónomo.</p>
Agricultura y alimentos	<p>Monitoreo remoto de animales y cultivos usando satélites y microsátélites.</p> <p>Frente a la crisis hídrica se mejora el aprovechamiento de las fuentes de agua.</p> <p>Las plantas soportan las nuevas condiciones a través de su modificación genética.</p> <p>Nuevas fuentes de agua.</p> <p>La manufactura agroalimentaria produce alimentos deshidratados de calidad.</p> <p>Los centros de producción están más cerca de los consumidores.</p> <p>La alimentación es personalizada siendo la tecnología uno de sus motores.</p> <p>Disminución del desperdicio de alimentos a través de la distribución de acuerdo con la madurez de los productos.</p> <p>Nuevas necesidades emergen.</p>
Manufactura	<p>Se acelera la transición desde productos y servicios avanzados hacia productos que habilitan nuevas realidades en sus usuarios.</p> <p>Despliegue de productos y servicios de nueva generación, basados en tecnologías I4.0, que hacen posibles impactos muy positivos en la sociedad en Chile e internacional.</p> <p>La industria se transforma significativamente con nuevos modelos operacionales, de negocios y de políticas públicas habilitados por las tecnologías I4.0</p> <p>Las industrias basadas en recursos naturales son sustentables e impactan positivamente el desarrollo del país.</p>
Economía Digital	<p>Chile se posiciona como líder regional de uso de tecnologías digitales, en gobierno, industria, servicios, educación.</p> <p>La digitalización es usada como herramienta de inclusión, acercando los beneficios de la economía digital a todos los habitantes de Chile.</p> <p>Clima de emprendimiento facilita la creación de muchas startups tecnológicas con visión global, varias de ellas logrando el status de unicornio.</p> <p>La industria digital logra ser una de las principales generadoras de empleo, de exportaciones y de crecimiento del País.</p> <p>Avances en la economía digital aumentan las transacciones en plataformas online y dinero digital.</p> <p>Uso masivo de tecnologías en la vida cotidiana: automóvil conectado, domótica, democracia participativa, arte y música digital, robótica cotidiana, identidad digital basada, educación continua.</p> <p>Nuevas tecnologías emergen permitiendo la integración hombre/mujer/máquinas inteligentes: computación cuántica, ciborg.</p> <p>Cambio cultural y resiliencia digital son factores determinantes en el futuro de nuestra sociedad.</p> <p>Las normativas y políticas públicas potencian los servicios digitales: tratamiento confiable de datos personales, modelos híbridos de trabajo, alianzas público-privadas y con instituciones diversas.</p>

Infraestructura Digital	<p>La industria de telecomunicaciones nacional esta a la vanguardia tecnológica</p> <p>La IDT es más compleja y diversificada</p> <p>La Tecnologías 5G o XG está ampliamente desplegadas</p> <p>La tecnología satelital esta disponible y asequible para todos los lugares donde no se puede llegar con redes fijas</p> <p>Se posicionan tecnologías que solo pueden ser desplegadas en ambientes de alta conectividad</p>
Salud	<p>Se consolida la formación de ingenieros/as biomédicos/as</p> <p>Mejora significativamente la atención de salud y disminuyen sus costos</p> <p>Diagnóstico de las enfermedades y condiciones de salud cada vez más temprano y preciso</p> <p>Consolidación de nuevos campos de aplicación de la ingeniería en el ámbito de la salud</p> <p>La medicina de precisión permite una variedad de mejores tratamientos</p> <p>Mejora la calidad y expectativa de vida de las personas</p> <p>El paciente tiene un rol activo en su salud</p> <p>Se crean nuevas entidades en la atención de salud</p>
Ciudades sísmicamente resilientes	<p>Diseño sísmico resiliente legal en Chile.</p> <p>Aplicaciones de inteligencia artificial en el diseño de ingeniería.</p> <p>Influencia paradigmática de la ingeniería sísmica en otras áreas de desastres naturales</p> <p>Desarrollo de la ingeniería sísmica para la minería subterránea.</p>
Ciudades inteligentes	<p>Ciudad con vehículos compartidos.</p> <p>Ciudad con polos autosustentables.</p> <p>Ciudad con mayor acceso a Internet inalámbrica.</p>
Estado digital	<p>Estado 100% digital.</p> <p>Alcance ciudadano transversal basado en las tecnologías de 4RI.</p> <p>Innovación como eje del Estado Digital de base algorítmica.</p> <p>Estrategia Nacional de desarrollo e I+D.</p> <p>Uso amplio del 5G y FO a nivel nacional.</p> <p>Smartcities: gestión de la ciudad con tecnologías de 4RI.</p> <p>Innovación y emprendimiento triple hélice.</p> <p>Nuevas industrias: inteligencia artificial, biotecnología y bioingeniería, astroinformática y astroingeniería.</p> <p>Nuevas políticas de Fondos de Inversión.</p> <p>Fuerte Inversión en capital humano digital.</p>

En síntesis: los sectores / ámbitos presentan algunas dinámicas similares y otras diferenciadas, según su naturaleza y sus posibilidades de transformación en los Escenarios I y II. Considerando: tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas y sus efectos en las transformaciones.

Identificación de oportunidades globales para el desarrollo de Chile, los actores y las personas (Recuadro 9). Oportunidades específicas señaladas en las secciones de los capítulos 3 y 4.

Recuadro 9. Oportunidades globales para el desarrollo de Chile, los actores y las personas basadas en TD+I 4.0.**Oportunidades para el país (global).**

- ✓ Aceleración del desarrollo sustentable (ODS) y su efectividad.
- ✓ Aumento de la factibilidad de modernización del estado, en particular del gobierno.

Oportunidades para las empresas y actores económicos.

- ✓ Facilitación del mejoramiento sustentable de las industrias existentes, o de renovación o de retiro adecuado.
- ✓ Evolución de la lógica empresarial (competencias digitales y su articulación con las dinámicas ambientales, sociales y de comunidades).
- ✓ Desarrollo de nuevas industrias, negocios y modalidades de creación de riqueza y bienestar.

Oportunidades para los organismos públicos.

- ✓ Mejor cumplimiento de los propósitos públicos, con mayor calidad y efectividad, al servicio de todos.
- ✓ Mayor efectividad de la inversión pública y de sus asociados privados, de las contribuciones de los servidores públicos y de su vinculación armoniosa con los ciudadanos.

Oportunidades para las IES.

- ✓ Aumento del aprendizaje de los diversos tipos de estudiantes y mejoramiento de sus experiencias formativas.
- ✓ Aumento de efectividad de la formación, la investigación, la vinculación, y su gestión institucional.

Oportunidades para las personas.

- ✓ Liberación de labores indeseadas o inseguras y evolución hacia labores de mayor calidad y más agradables.
- ✓ Mayor aprendizaje (educación formal, laboral y autodidacta), acceso a salud, empleos mejores, espacios de emprendimiento.

Espacios que se habilitan con los resultados de la prospectiva, en los escenarios I y II:

- Transición a modelos de desarrollo económico y social, más sustentables. Por ejemplo, el modelo económico de la “rosquilla”²².
- Desarrollo de industria tecnológica nacional - fuertemente vinculada a los ecosistemas de innovación a escala global – que aborda los desafíos de desarrollo del país.
- Evolución del gobierno y del estado desde unas organizaciones y actitudes reactivas y regulatorias (y de árbitro) hacia la incorporación de algunas modalidades proactivas (incrementales en algunos temas y disruptivas en otros). Con énfasis en el desarrollo de la democracia digital.
- Desarrollo de políticas públicas para generar y capturar valor para las personas, su bienestar y prosperidad, así como para el desarrollo sustentable del país.
- Gran variedad de opciones de las empresas y otros actores económicos para identificar y aprovechar las oportunidades nacionales e internacionales, aumentar la creación de valor con la TD+I 4.0, para el país y las personas. Considerando innovación empresarial y social, colaboración, inversión y desarrollo de mercados.
- Variedad de opciones de las instituciones de educación superior para ampliar y profundizar sus contribuciones en formación de personas, realizar I+D+i y transferencia tecnológica, vincularse con los actores económicos y sociales. Identificando y aprovechando las oportunidades nacionales e internacionales, aumentando la creación de valor con la TD+I 4.0, para el país y las personas. Considerando innovación institucional, colaboración, inversión e impactos en el entorno.
- Potencial de aumento del protagonismo de las personas – además de empresas e instituciones - en el desarrollo social.

Políticas Públicas: el desafío de transitar rápidamente a la proactividad con compromiso.

Transición desde políticas públicas neutras y reactivas a políticas públicas proactivas para capitalizar oportunamente los beneficios de TD+I 4.0 para la sociedad y cada persona. En particular, en torno a desafíos relevantes.

Políticas públicas específicas en transformación digital (digitalización) e Industria 4.0, en focos prioritarios (desafíos estratégicos). Para: actores estatales (ministerios, servicios públicos, fuerzas armadas, otros), actores privados o institucionales (empresas, instituciones, otros) y entidades mixtas.

Inversión pública y promoción de inversión privada (local y extranjera) en los ámbitos TD+I 4.0.

Inversión relevante y organización de I+D+i en los ámbitos TD+I 4.0 con impacto transformacional.

Desarrollo, fortalecimiento y aumento significativo del capital humano (formación, atracción, progresión) en los ámbitos TD+I 4.0.

²² Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. Kate Raworth. Oxford. 2017

Promoción del trabajo de calidad para todas las personas usando adecuadamente la TD+I 4.0.

Promoción de la ciudadanía digital, la calidad de vida (incluyendo bienestar, salud, educación, seguridad, privacidad y otros) y relaciones armoniosas de las personas con el gobierno y el estado, con las grandes empresas y otros actores.

Desarrollo de la infraestructura digital y la data como activos: disponibilidad, acceso, asequibilidad, uso efectivo, derechos digitales.

Desarrollo de los mercados en los ámbitos digitales y en los otros ámbitos impactados por la digitalización.

Compras públicas para generar valor con la TD+I 4.0 para el país y las personas, a través de sus usos y del desarrollo de oferta de soluciones avanzadas.

Avance hacia el estado digital, en particular el gobierno digital, y su descentralización en los territorios, buscando un equilibrio armonioso con la vida de las personas.

Empresas y actores económicos: participación responsable en un mundo en transformación por la iniciativa emprendedora e innovadora.

Colaboración activa en la generación de políticas públicas – según las tendencias internacionales avanzadas - para aumentar significativamente:

- La formación y la inserción de capital humano con competencias digitales avanzadas.
- La renovación digital de los trabajadores. Y su participación sistemática en educación continua de calidad.
- La colaboración con las IES en los ámbitos digitales.
- La I+D y la innovación en ámbitos digitales.
- El desarrollo de empresas tecnológicas y otros actores orientados a la creación de alto valor en los ámbitos digitales.
- La renovación de las industrias y de su articulación con el estado y los otros actores.

Aceleración de su transformación digital y transición a industria 4.0, para lograr niveles superiores de resultados, desempeño y calidad.

Renovación de las respectivas industrias, en algunos casos en forma disruptiva, para asegurar la viabilidad empresarial, la competitividad internacional y la contribución de valor a la sociedad.

Desarrollo de nuevas industrias habilitadas por las tecnologías digitales. Aumento significativo del emprendimiento a través del territorio y del desarrollo de empresas tecnológicas sustentables.

Aumento de la educación continua de sus colaboradores en los ámbitos digitales y sus aplicaciones.

Aumento significativo del número de productos y servicios de calidad en los ámbitos digitales, con proyección nacional e internacional.

Aumento de la asociatividad y colaboración entre empresas, y con otros actores, para abordar desafíos mayores en los ámbitos digitales.

Orientación a las oportunidades de alta creación de valor en los mercados y la sociedad, con proyección internacional, y los necesarios incrementos en I+D e innovación en las empresas.

Aumento significativo del número, tamaño y sustentabilidad de las empresas que participan en los ámbitos digitales.

Aumento de las actividades inter y transdisciplinarias en los ámbitos digitales, y con otros ámbitos, para abordar los desafíos complejos de la sociedad y las transformaciones necesarias.

Utilización intensa de los medios digitales para aumentar significativamente los resultados e impactos en los Objetivos del Desarrollo Sostenible y las respuestas al cambio climático.

Aumento de la colaboración con las IES y centros de I+D+i, chilenos y extranjeros.

Aumento significativo del volumen de actividades y de resultados en I+D e innovación en los ámbitos digitales, con proyecciones locales e internacionales.

Instituciones de Educación Superior (IES): un mundo de opciones y responsabilidades en la encrucijada transformacional

Colaboración activa en la generación de políticas públicas – según las tendencias internacionales avanzadas - para aumentar significativamente:

- La formación de pregrado y posgrado especializadas en los ámbitos digitales.
- La formación digital pertinente en los ámbitos no-digitales.
- La articulación de CFT²³ -IP²⁴ -Universidades y con la EM²⁵ – EB²⁶ , en los ámbitos digitales.
- La educación continua de calidad para facilitar la transición laboral de las personas a ocupaciones mejores.
- La renovación de la EB y EM con contenidos y medios digitales. Y la respectiva colaboración con los establecimientos educacionales.
- La alfabetización digital de las personas como ciudadanos digitales competentes y autovalentes.

Aumento significativo del número de titulados y graduados de calidad en los ámbitos digitales. En particular, de mujeres y de otras poblaciones (pueblos originarios, migrantes, personas con discapacidades).

Aumento significativo del número de titulados y graduados con competencias digitales en los ámbitos no – digitales.

Aumento de la actividad inter y transdisciplinaria en los ámbitos digitales, y con los otros ámbitos, como medio para abordar los desafíos complejos de la sociedad y las transformaciones necesarias.

Utilización intensa de los medios digitales para aumentar significativamente los resultados e impactos en torno a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS de NU).

²³ CFT: Centros de Formación Técnica.

²⁴ Institutos Profesionales.

²⁵ Educación Media.

²⁶ Educación Básica.

Aumento de la colaboración con empresas tecnológicas líderes, a nivel nacional e internacional, en I+D, innovación y capital humano en los ámbitos digitales.

Aumento significativo del volumen de actividad y de resultados en I+D e innovación en los ámbitos digitales.

Aumento significativo de la orientación emprendedora e innovadora de sus estudiantes y egresados en los ámbitos digitales y en otros ámbitos con aplicaciones digitales.

Participación con contribuciones relevantes en los ecosistemas de innovación en los ámbitos digitales, nacional e internacional.

Altos niveles de dominio - en al menos un ámbito digital - para constituirse en un referente en los ecosistemas globales. Y su contribución a otros países.

Desarrollo de ofertas de educación en línea de alta calidad y cobertura, con amplia proyección internacional. Para ello, desarrollo de alianzas entre universidades chilenas y extranjeras para organizar las suficientes capacidades críticas. En particular, con foco en América Latina.

Aumento significativo de la internacionalización de la educación superior; en particular en los ámbitos digitales, con la construcción de un hub de calidad. Con foco principal en América Latina.

Aceleración integrada de su propia transformación digital para lograr mejor calidad y desempeño en: formación - I+D, innovación y creación – vinculación con el medio – gestión institucional.

Colaboración con industrias, organismos públicos y organizaciones de la sociedad para acelerar la transformación digital valiosa y la transición a las modalidades convenientes de la TD+I 4.0.

Eventualmente, creación de nuevas IES dedicadas a los ámbitos digitales.

Las personas: evolucionado desde meros usuarios hacia protagonistas

Aumento significativo de la preparación digital de las personas para lograr una mejor calidad de vida, aprovechando los beneficios y neutralizando los efectos colaterales de la TD+I 4.0.

Dominio en las respectivas ocupaciones y profesiones impactadas por TD+I 4.0 para co – evolucionar con las tecnologías y el empleo (por ejemplo, como prosumidor), avanzando hacia trabajos de mayor calidad humana.

Demanda al estado de una nueva relación con el ciudadano que sea más efectiva en los derechos, en los servicios y en una vinculación armoniosa. Apalancando la TD+I 4.0.

Participación como ciudadano empoderado en la sociedad y respetuoso de todas las personas, al usar TD+I 4.0 y realizar las actividades basadas en ellas.

Aprovechamiento de las oportunidades que brinda la TD+I 4.0. Como usuario avanzado en sus actividades, y también como generador de soluciones a los desafíos que enfrenta. Trabajando colaborativamente con diferentes actores.

Despliegue de un continuo interés, alerta y análisis sobre la evolución de la TD+I 4.0, y sus efectos en la sociedad y el medio ambiente.

La Ingeniería evoluciona para contribuir a la evolución de la sociedad

Facilitación de las diversas actividades de ingeniería (concepción, diseño, implementación, operación y mantenimiento) así como de la gestión de ingeniería, e innovación en ella, al usar TD+I.40

Facilitación del trabajo inter y transdisciplinario, de sinergias y del surgimiento de entidades híbridas. Entre especialidades de ingeniería y con otras profesiones (medicina, agricultura, derecho, artes, y otras).

Globalización de la Ingeniería desde los territorios: servicios globales de Ingeniería habilitados y potenciados por las plataformas digitales. Simultáneamente, aumento de las producciones locales y reshoring de producción.

Aumento de las capacidades y desempeños de ingenieros/as y otros profesionales a través de plataformas digitales y su despliegue en diversos territorios, especialidades y estructuras laborales. Efectos de aumento 2x – 10x de los desempeños y asimetrías significativas entre los profesionales.

Habilitación de nuevos modelos de negocios para ingeniería. Auge de la variedad de stakeholders (diversos públicos de interés), no solo de los mandantes y clientes habituales.

Aumento del potencial de creación de valor de la ingeniería en los diversos ámbitos, algunos de carácter exponencial y disruptivo.

Aumento de la demanda social por mejores obras y productos de ingeniería. Aumento de la calidad de diseño e implementación y superando las prácticas incorrectas (obsolescencia programada, acuerdos indebidos, efectos colaterales de las tecnologías en las personas).

Espacios significativos de creación de valor de la ingeniería para: dar respuesta al cambio climático, al desarrollo sustentable (según los ODS) y a las aspiraciones y necesidades de las personas; facilitar el desarrollo de la democracia digital y la participación de ciudadanos activos, las relaciones horizontales entre ellos con autonomía, la descentralización del poder y la participación de los actores regionales y locales en las decisiones; que las plataformas digitales y sistemas de comunicaciones (con diseños y regulaciones adecuadas) eviten la manipulación de los ciudadanos, aseguren la privacidad de datos, minimicen los bulos²⁷; asimismo, faciliten la democracia y la eficiencia del Estado en la provisión de servicios básicos, de información, de supervisión, de seguridad ciudadana (en particular, frente a crecientes delitos cibernéticos), de control democrático sobre los sistemas digitales (previniendo el control social por ellos).

Concluyendo: un mundo de oportunidades y riesgos para el país y las personas. Una gran responsabilidad para la Ingeniería y su contribución

Las TD+I 4.0 continuarán desplegándose con dinamismo a nivel internacional, como consecuencia de 4 factores relevantes: el significativo volumen de conocimiento

²⁷ "Fake news".

científico – tecnológico; el aumento de emprendedores innovadores en los países; el aumento de las políticas públicas proactivas en la digitalización; el aumento relevante de la inversión en los ámbitos digitales.

Chile podrá aumentar significativamente su participación en este despliegue, para el beneficio del país y su población, y también para otros países

Estos factores continuarán generando oportunidades importantes para el desarrollo sustentable de los países y para el bienestar y prosperidad de las personas: mayor viabilidad de soluciones tecnológicas efectivas (energía, agua, alimentos, minería, manufactura, otras); emprendimientos y empleo calificado en base a tecnologías digitales aptas para el desarrollo sustentable; nuevas industrias habilitadas por las tecnologías y nuevos modelos de negocios (soluciones digitales para salud, educación, entretenimiento, servicios diversos, otras); mejor organización del estado, en particular del gobierno y sus servicios, y una armonización en su relación con las personas.

Chile podrá aprovechar varias de esas oportunidades y también generar otras

También ellas representan riesgos importantes para el país y las personas: disminución del empleo en labores existentes y no generación oportuna de nuevas ocupaciones, pérdida de privacidad y de autonomía personal, aumento de cibercrimen, disminución de la soberanía nacional.

Chile podrá abordar estos riesgos, detectándolos a tiempo, neutralizando o minimizando sus efectos

El desafío para Chile y su población, así como para otros, es aprovechar a tiempo las oportunidades y neutralizar los riesgos que generan las TD+I 4.0. Esto supone la gestión estratégica y táctica de la complejidad dinámica que se expresa en los sistemas tecno – sociales.

Chile puede abordar este desafío con responsabilidad e importantes probabilidades de éxito

Esto se fundamenta en: apalancar los avances que ha logrado hasta ahora; usar los propios problemas de desarrollo como fuente de nueva actividad económica y social habilitada y potenciada con TD+I 4.0, usando intensamente I+D e innovación; preparar y movilizar masivamente a las personas para su participación creativa en la digitalización del país a escala humana, su desarrollo sustentable y su propio bienestar y prosperidad; atraer capital humano desde diversos países; movilizar inversiones locales y extranjeras en torno a las oportunidades, en particular con proyección internacional (Chile como polo digital de desarrollo sustentable); lograr dominio avanzado en algunos ámbitos de TD+I 4.0 para disponer de ventajas competitivas y colaborar a nivel internacional (para ser actores relevantes en los ecosistemas y no solo usuarios).

La prospectiva realizada por CPI muestra que Chile dispone de tres posibles evoluciones a consecuencia de TD+I 4.0

- Evolución “principalmente reactiva”, basada en problemas de la sociedad ya expresados. Corresponde al tipo de evolución predominante de Chile en la última década.
- Evolución “principalmente proactiva”, basada en problemas emergentes de la sociedad y oportunidades relevantes habilitadas por las tecnologías, modelos de

negocios y políticas públicas que se están desplegando en el mundo. Corresponde al tipo de evolución del Escenario I, con algunos componentes reactivos y otros componentes innovadores.

- Evolución “principalmente disruptiva”, basada en la reinterpretación de los problemas de la sociedad y en oportunidades relevantes habilitadas por las nuevas tecnologías, los modelos de negocios y las políticas públicas que cambian drásticamente las organizaciones y dedicaciones humanas. Corresponde al tipo de evolución resultante del Escenario II, con algunos componentes disruptivos y proactivos, y eventualmente pocos reactivos.

Esto implica el desarrollo y articulación de: políticas públicas, actuaciones de empresas e instituciones, y sobre todo iniciativas constructivas, colaborativas e innovadoras de las personas en diferentes profesiones y ocupaciones; y el ejercicio del liderazgo.

La ingeniería tiene un rol protagónico para que esto sea posible

Considerando: aumento significativo del número de ingenieros/as competentes en los ámbitos digitales en los campos de especialización TD+I 4.0 y transversalmente en todas las otras actividades profesionales; aumento de la importancia del diseño integrado de las soluciones de ingeniería, con aportes de saberes de diversas profesiones (inter, multi y transdisciplina); pensamiento crítico e innovación; generación de soluciones de problemas complejos; uso intenso de las herramientas y plataformas digitales; articulación efectiva en redes y ecosistemas internacionales de colaboración; combinación simultánea de calidad y velocidad de la realización de obras y productos de ingeniería; profundización de la ética como medio clave para lograr los beneficios de las tecnologías y neutralizar los efectos colaterales; empatía colaborativa y constructiva con usuarios y ciudadanos.

1

OBJETIVOS, FUNDAMENTOS, METODOLOGÍA Y SUS ALCANCES

La Comisión de Prospectiva de Ingeniería (CPI)²⁸ presenta su informe sobre prospectiva en Ingeniería con foco en transformación digital e industria 4.0 (TD+I 4.0)²⁹.

El informe está estructurado en 5 capítulos, 2 anexos, un glosario y referencias bibliográficas.

El capítulo 1 aborda los objetivos, algunos fundamentos y la metodología de prospectiva elegida para realizar el estudio. El capítulo 2 presenta una serie de antecedentes relevantes, internacionales y nacionales. Los capítulos 3 y 4 exponen las prospectivas y sus resultados en los respectivos sectores seleccionados para los escenarios I y II definidos por la CPI. Finalmente, el capítulo 5 sintetiza las conclusiones de la prospectiva.

Un anexo se refiere a las prospectivas realizadas en los sectores, y el otro señala las presentaciones hechas por los miembros de CPI.

1.1 Objetivos

Objetivo general

Realizar la prospectiva que facilite la comprensión de las tendencias y transformaciones tecnológicas y sus impactos. Y, con ello, apoyar la toma de decisiones de organismos públicos, **empresas, instituciones de educación superior, comunidad de ingenieros y otros actores** para el desarrollo del país y de las personas.

Objetivos específicos

Elaborar una metodología para abordar la prospectiva, apta para considerar tanto las tendencias y transformaciones internacionales, como los escenarios futuros de desarrollo del país en base a las tecnologías de TD+I 4.0.

Realizar la prospectiva por sectores o ámbitos determinados y obtener resultados pertinentes a cada uno de ellos.

Obtener resultados integrados de la prospectiva para el país y las personas, a partir de los resultados de prospectiva en cada uno de los ámbitos - sectores.

1.2 Origen de la CPI y fundamentos de la prospectiva

La CPI tiene su origen en la decisión del Directorio del Instituto de Ingenieros de Chile de hacer prospectiva en Ingeniería como medio para comprender mejor la evolución de esta actividad y sus contribuciones efectivas al país y a las personas, considerando los significativos avances actuales y proyectados en las tecnologías.

La ingeniería está cambiando y continuará haciéndolo. Entonces, es muy importante

²⁸ De aquí en adelante: CPI.

²⁹ De aquí en adelante: TD+I 4.0

comprender bien esas dinámicas y orientar el desarrollo de capacidades anticipatorias en base a ellas.

Al iniciar su trabajo, la CPI deliberó sobre si abordar la prospectiva ampliamente para todos los sectores – ámbitos de aplicación de ingeniería y tecnología o si hacerlo en un conjunto acotado de ellos con el fin de lograr más profundidad en su comprensión y en las elaboraciones derivadas.

Considerando los beneficios y limitaciones de ambos enfoques, la CPI optó por una prospectiva acotada a un conjunto de tecnologías (críticas para TD+I 4.0) y una selección de sectores – ámbitos de aplicación de ingeniería y tecnología que tuvieran un alto impacto en el país (Recuadro 1.1).

Recuadro 1.1. Sectores / ámbitos seleccionados para realizar la prospectiva.

Energía	Minería	Transporte	Agroindustria y alimentos
Salud	Educación en Ingeniería	Ciudades inteligentes	Ciudades sísmicamente resilientes
Manufactura	Economía digital	Infraestructura digital	Estado digital

Entonces, se identificaron las tecnologías fundamentales de la transformación digital y de la industria 4.0 (Recuadro 1.2), que tienen efectos significativos en los propósitos, metodologías, herramientas y prácticas de la Ingeniería. Así, la prospectiva se llevó a cabo en los sectores - ámbitos seleccionados considerando principalmente el papel que juegan estas tecnologías.

Recuadro 1.2. Tecnologías consideradas en la prospectiva.

Inteligencia artificial – Analítica avanzada	Realidad Virtual – Realidad Aumentada	Simuladores – Manufactura aditiva	Internet de las cosas.
Computación de alto desempeño.	Blockchain.	Servicios cloud avanzados.	Vehículos autónomos
Robótica	Plataformas digitales	Computación cuántica	Comunicaciones 5G

Los escenarios de futuro (hacia 2030) considerados por la CPI son:

- Escenario I: despliegue de las tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas existentes a nivel internacional, optimizados y acelerados, en lo que es pertinente para el caso de Chile.
- Escenario II: combinación de Escenario I con disrupciones en tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas.

Ambos se consideran respecto al escenario de referencia base consistente en despliegues de tecnologías y modelos de negocios existentes, sin mejoras significativas ni aceleración. Esto es, en la lógica de “más de lo mismo” (*business as usual*).

Para realizar la prospectiva en los sectores – ámbitos seleccionados y escenarios definidos, considerando las tecnologías señaladas, la CPI procedió a identificar y sistematizar un conjunto de hipótesis que configuran el contexto dinámico de evolución (Recuadro 1.3).

Estas hipótesis se originan tanto en los planteamientos de organismos y autores nacionales e internacionales como en las deliberaciones de la CPI.

Recuadro 1.3. Hipótesis relevantes para la Prospectiva referidas a TD+I 4.0 y su evolución.

- ✓ Se renovarán progresivamente los fundamentos del desarrollo económico - social de los países. Incorporando los significativos avances del conocimiento científico – tecnológico.
- ✓ Continuarán los contextos sociales dinámicos con incertidumbre, complejidad y vulnerabilidad. Incluyendo: tensiones sociales y políticas, migraciones y cambios demográficos, pandemias, aspiraciones de las personas (trabajo de mejor calidad, equidad e inclusión, otros) y posible crecimiento de desigualdad por aceleración tecnológica.
- ✓ Continuarán simultáneamente los desarrollos de las visiones positivistas sobre la ciencia y tecnología, así como de las visiones distópicas, y las tensiones entre ellas.
- ✓ Aumentará la orientación de los países a cumplir los ODS³⁰ y a satisfacer las necesidades sociales. Con énfasis en la respuesta al cambio climático, a la equidad y al bienestar de las personas.
- ✓ La TD y la I4.0 continuarán desplegándose con dinamismo a nivel internacional. Generando muchas oportunidades, y también riesgos.
- ✓ Las inversiones internacionales continuarán aumentando en torno a las iniciativas innovadoras de las personas, además de los activos físicos. Con creciente orientación al triple impacto (lógicas ESG³¹ y otras).
- ✓ Aumentarán las tensiones asociadas a la “Trampa”³² de Tucídides y la hipótesis sobre el despliegue de China como potencia global (en particular, en América Latina).
- ✓ En Chile: aumentará la voluntad y disposición de la población, no sólo de sus actores más especializados, para participar creativamente en la TD+I 4.0 (y otros ámbitos científico – tecnológicos), aplicándolas en el desarrollo de una sociedad sustentable, que provea bienestar y prosperidad para todos.

Chile ha venido avanzando en ejercicios de prospectiva, así como en el desarrollo de iniciativas estratégicas nacionales o regionales que consideran elementos de prospectiva (Recuadro 1.4). La CPI las ha considerado como antecedentes para su trabajo.

Recuadro 1.4. Relación selectiva de avances de Chile en prospectiva e iniciativas estratégicas.³³

- ✓ Síntesis de planteamientos de diversos estudios: Propuesta de Estrategia de Transformación Digital de Chile (Consejo Políticas de Infraestructura); Estrategia Chile 2030 (Consejo Chileno de Prospectiva y Estrategia); Competitividad; otros.
- ✓ Síntesis de compromisos internacionales de Chile que orientan su evolución futura: ONU (derechos humanos, ODS), OECD, COP, APEC, TLCs y otros.
- ✓ Síntesis de algunas iniciativas relevantes del país proyectadas al 2030 y futuro: en particular los Programas Estratégicos (Minería, Energía, Economía Circular, Alimentos, Construcción, Ingeniería y otros). Varios de los cuáles han sido realizados con participación ciudadana.
- ✓ Análisis crítico respecto de los antecedentes chilenos consultados: ¿Cómo apalancarlos en la prospectiva de CPI para crear valor para Chile y las personas?

³⁰ ODS: Objetivos del Desarrollo Sostenible (Naciones Unidas): <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

³¹ ESG: Environmental, Social and Governance.

³² La Trampa de Tucídides se refiere a las tensiones entre una potencia dominante y otra en ascenso, y los efectos en sus entornos de influencia. Actualmente, se utiliza para abordar las tensiones evolutivas entre EUA y China (económicas, tecnológicas, geopolíticas), y sus efectos en otros países y regiones. En particular, América Latina.

³³ Hasta 2021.

Con estos fundamentos, y la metodología que se expone en la sección 1.3, la CPI realizó la prospectiva.

1.3 Metodología y sus alcances

Para abordar los objetivos y los alcances de la prospectiva, la CPI elaboró una metodología que integra los desarrollos propios y algunas prácticas internacionales, compuesta por:

- Horizonte de prospectiva: 2030.
- Proceso metodológico de prospectiva válido a nivel internacional, según el esquema presentado en Figura 1.1, que considera un análisis crítico e interpretación por los miembros de la CPI sobre las tendencias internacionales.
- Escenarios de futuro I y II, descritos en la sección 1.2.
- Selección de ámbitos / sectores³⁴ relevantes para Chile a los cuales aplicar la prospectiva, según se indica en el Recuadro 1.1. y con ello, comprender mejor las transformaciones posibles, para luego generalizar con fundamento, a nivel de país y de la ingeniería.
- Consideración de tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas ya expresadas internacionalmente, incluyendo aquellas que son incipientes:
 - Un conjunto de tecnologías³⁵ de TD+I 4.0, según se indica en Recuadro 1.2.
 - Algunos modelos de negocios y políticas públicas relevantes para tales tecnologías.
- Información de anticipación sobre nuevas tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas e imaginación por los miembros de CPI sobre su desenvolvimiento.
- Uso de un *framework*³⁶ para apoyar la realización de la prospectiva homogéneamente entre ámbitos / sectores, considerando:
 - Lo que ya está expresado en Chile y que se prospecta continuar, aumentar, mejorar, potenciar, disminuir o eliminar.
 - Lo que ya está expresado en algún otro país y que se prospecta para Chile, en algún escenario.
 - Lo que no está expresado en parte alguna y que se prospecta para Chile.
- Análisis de los efectos de la pandemia COVID – 19 en las tendencias de transformación de los escenarios I y II en los respectivos ámbitos / sectores seleccionados; catalizando algunas y retardando otras.
- Uso de información secundaria de calidad (internacional³⁷ y nacional³⁸) como insumo para el debate de la CPI y la realización de la prospectiva. Con foco en TD+I 4.0.
- Planteamiento de hipótesis sobre las tendencias que continuarán expresándose

³⁴ Aunque el alcance de la CPI es amplio incluyendo diversos ámbitos de Ingeniería, no considera otros que son también importantes. Por ejemplo: ingeniería genética, ingeniería militar, ingeniería aeroespacial.

³⁵ Existen otras tecnologías relevantes que no se incluyen en este Informe.

³⁶ En Anexo A se presenta la estructura del *framework* y su aplicación a la serie de ámbitos / sectores seleccionados.

³⁷ Principales fuentes internacionales consideradas: OECD, WEF, ONU, BM, BID, organismos de diversos países. Al final del Informe se presenta la lista de referencias específicas.

³⁸ Principales fuentes nacionales consideradas: estrategias y hojas de ruta de ministerios (minería, energía, medio ambiente, ciencia – tecnología – conocimiento – innovación, otros), programas estratégicos de CORFO, entidad de prospectiva, otros.

hacia 2030, señaladas en el Recuadro 1.3.

- Consideración de la experiencia lograda en Chile en algunas iniciativas estratégicas y de prospectiva, según Recuadro 1.4.
- Síntesis de escenarios en cada ámbito / sector, realizados por los miembros de la CPI, y su análisis colectivo en sus plenarios.
- Debate constructivo en la CPI, retroalimentaciones sobre las presentaciones y elaboración sintética.
- Consideración de un “tono Chile 2030” de las presentaciones en función de las siguientes aspiraciones: logros de los ODS³⁹ en el país, bienestar de las personas. Teniendo presente algunos indicadores ONU (ODS), WEF, OECD y de la CPI.
- Consideración de aspectos jurídicos que facilitan o no la evolución en TD + I4.0 en Chile.
- Síntesis de evolución hacia 2030, en los escenarios I y II, y con el “tono Chile 2030”, considerando: tipo y magnitud de inversión; tipo y magnitud de I+D+i; características y número de capital humano; políticas públicas de diverso tipo; actuaciones de empresas privadas y estatales, emprendedores e innovadores; actuaciones de IES⁴⁰ y otras instituciones privadas, estatales y mixtas; actuaciones de ingenieros/as.
- Síntesis de reafirmaciones, cambios y planteamientos nuevos (diferentes a los existentes) realizados por los miembros de CPI.
- Finalmente, retroalimentaciones a los escenarios por ámbito - sector, armonización (coherencia) entre ellos y síntesis final. Realizados por la plenaria de CPI y luego por el Comité Editorial constituido para la edición del Informe de CPI.

En síntesis, la metodología usada presenta las características señaladas en el Recuadro 1.5.

Recuadro 1.5. Características relevantes de la Metodología.

- ✓ El Horizonte de prospectiva (2030) hace posible tanto la proyección de las tecnologías que ya se están desplegando internacionalmente y sus usos diversos, como el surgimiento de nuevas tecnologías y la construcción de nuevas realidades.
- ✓ La Metodología articula los aspectos transversales de la TD+I 4.0 y su impacto en la sociedad, así como los aspectos verticales característicos de los diversos ámbitos / sectores. Con ello, permite realizar análisis más profundos y las síntesis de planteamientos para apoyar las decisiones de los actores en el país.
- ✓ Va más allá de los “lugares comunes” originados en el mero traslado de las prácticas de los países más avanzados (“me too”), y prospecta las dimensiones y los elementos más relevantes para Chile y su población.
- ✓ Permite sintetizar orientaciones, propuestas de decisiones y motivaciones para los diversos actores del país.
- ✓ Facilita la generación de visiones compartidas a nivel del país y de sectores - ámbitos y de las hojas de rutas para materializarlas.

³⁹ ODS: Objetivos del Desarrollo Sostenible de la ONU.

⁴⁰ IES: Instituciones de Educación Superior.

Modelo genérico de prospectiva



Fuente: Adaptación del modelo generado por Joseph Voros y presentado en su trabajo "A generic foresight process framework", Joseph Voros, Faculty of Business and Enterprise, Swinburne University of Technology, Australia. Foresight, vol.5, no.3, pp.10-21, 2003. ISSN: 1463-6689.

Figura 1.1 Modelo genérico de prospectiva

2

ANTECEDENTES PRINCIPALES

2.1. Tendencias tecnológicas internacionales y su impacto

Impacto de la transformación digital y la Industria 4.0 en todos los ámbitos de actividad

La Industria digital está impactando a todos los sectores de actividad, ya sea gobierno, educación, transporte, manufactura, servicios locales y globales, salud, construcción, retail, educación, entre otros; y todo esto sucede a distintas velocidades. Si se compara la tasa de penetración de la tecnología, medida en años para llegar a 50 millones de usuarios, a la radio le tomó 30 años llegar a esa cantidad de usuarios y a las actuales redes sociales les ha tomado menos de un año.

Por su parte, la Industria 4.0 promueve la integración de datos, inteligencia artificial, maquinaria, comunicación y otras tecnologías para crear un ecosistema industrial eficiente que no solo sea automatizado sino inteligente. Las principales tecnologías que están transformando la industria 4.0 y que son habilitadoras de la transformación digital en los diferentes sectores industriales y de servicios se presentan en la Figura 2.1.1.



Robots Autónomos

Se cuenta con más de 1,2 millones de robots industriales en funcionamiento en el mundo, y se prevé que esta tecnología eliminaría en el año 2030 la necesidad de trabajadores en algunos sectores productivos. Tesla Motors' Gigafactory es un ejemplo en la manufactura: los vehículos autónomos interiores (AIV) transfieren materiales de hasta 130 libras entre estaciones de trabajo y cargan su propia batería en forma autónoma; los robots seguidores de línea se mueven en caminos definidos supervisando las actividades de las líneas productivas.

Manufactura Aditiva.

Permite la construcción tridimensional de objetos, herramientas y otros recursos a partir de una imagen previamente diseñada. El diseño es procesado en una impresora 3D con la capacidad de generar ese diseño en un objeto físico.

Simulación

Se utiliza preferentemente para diseñar componentes que luego se fabrican; permite representar entornos productivos virtuales con datos en tiempo real y analizar la productividad; ayuda a los ingenieros/as a visualizar el diseño e identificar problemas y obstáculos en los proyectos.

Integración de Sistemas

La integración horizontal permite la creación de redes entre los sistemas ciber-físicos y los sistemas empresariales, habilitando la comunicación entre sistemas en diferentes instalaciones, donde los trabajos pueden ser planificados y ajustados por las propias máquinas, sin intervención humana. La integración vertical asigna roles en toda jerarquía, para humanos y máquinas, con sofisticados protocolos de comunicación e interfaces.

Computación en la nube

Como sistema remoto, se puede acceder a éste desde cualquier lugar, utilizando internet. Amazon.com Inc. es un buen ejemplo, ya que cualquier cliente puede seguir el paradero de su pedido en tiempo real y cuando su paquete ha llegado al almacén, la información se actualiza en la nube y es notificado, asegurando la trazabilidad del producto. Por otra parte, la computación distribuida de servicios en la nube pública asegura las ubicaciones fuera de los centros de datos físicos del proveedor de la nube.

Internet de las Cosas (IoT)

Configura un ecosistema, comunicando sensores, transmisores y actuadores, que son dispuestos en máquinas y otros objetos para uso masivo y conectados a Internet, produciendo un cambio de las cosas que operan solas a un enjambre de cosas inteligentes colaborativas. Sus aplicaciones son muy variadas, van desde la coordinación de robots en procesos productivos, pasando por el manejo de instalaciones, edificios, barrios, y hasta ciudades inteligentes.

Cyber Seguridad

Se orienta principalmente a la creación de seguridad independiente de la ubicación de personas y cosas; a la gestión de los riesgos de seguridad en empresas e instituciones; y a la evolución de la tecnología de seguridad de la computación en la nube.

Realidad Aumentada (AR)

Permite aumentar las experiencias cognitivas y físicas del ser humano, a través de un aumento físico de tipo sensorial (funciones biológicas y cerebrales). Por su parte, la Realidad Virtual (VR), se proyecta como habilitadora de cambios, haciendo que el usuario sienta que está inmerso en un entorno virtual. Se combina con AR creando escenarios de inteligencia aumentada.

Big Data y Analítica de Datos

Big Data no sólo hace referencia a la gestión de datos internos de las organizaciones (CRM, facturación, ventas) sino también a la información procedente de muchos flujos de datos como los emitidos desde móviles, los registrados a partir de la conexión de los objetos a Internet o los generados en las redes sociales. Así se está manejando el Service Desk de empresas. El análisis de datos se está incorporando en la manufactura y la cadena de suministro, reduciendo el tiempo de inactividad y los desperdicios, favoreciendo el mantenimiento predictivo.

También, colaboran en el desarrollo de sistemas Blockchain que están siendo utilizados en cripto monedas y monedas digitales emitidas por Bancos Centrales; la certificación en cadenas de valor; las capas de abstracción de Middleware para Blockchain; y la automatización en la Generación de Contratos Inteligentes (Smart Contracts).

La Comisión Prospectivas de la Ingeniería 2030 focalizó su trabajo en las tecnologías habilitadoras de procesos de transformación utilizadas preferentemente en los diferentes ámbitos elegidos para elaborar la prospectiva (basadas en el juicio de los miembros de la comisión. Ellos señalaron en el *framework* (Anexo A) las tecnologías que consideran más relevantes en cada sector en Chile. Esto es, Inteligencia artificial – analítica avanzada, Computación de alto desempeño, Realidad Virtual – Realidad Aumentada, Blockchain, Plataformas digitales, Simuladores, Internet de las cosas, Servicios en la nube (cloud services) avanzados, Vehículos autónomos y Computación cuántica.

A nivel internacional, Deloitte realiza en 2022 un estudio en que consulta a empresas y organizaciones acerca de qué tecnologías de la Industria 4.0 han causado un impacto más profundo en las empresas y organizaciones. Sus resultados se presentan en la Figura 2.1.2, ocupando los tres primeros lugares el Internet de las Cosas (IoT), la Inteligencia artificial y los Sistemas en la Nube.

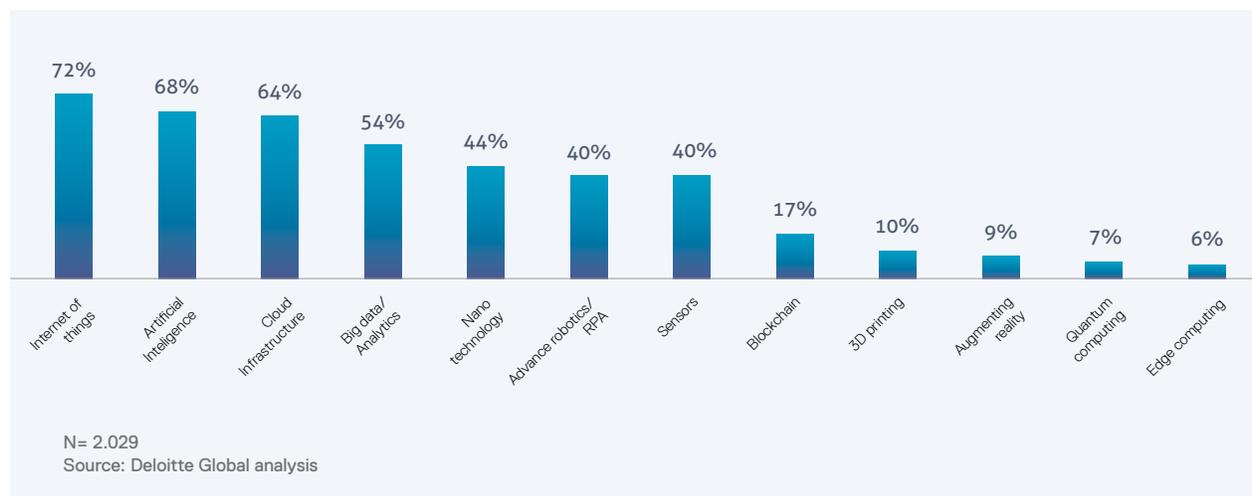


Figura 2.1.2 Tecnologías de mayor impacto
Fuente: Deloitte – Industry 4.0 technologies in companies. <https://www.zerynth.com/blog/iot-5-top-trends-to-follow-in-2022-which-4-0-strategies-to-adopt-for-more-targeted-investments/>

Tendencias tecnológicas emergentes

La computación – en lo avanzado del siglo XXI - muestra Interfaces cada vez más naturales, inteligencia integrada en objetos cotidianos, almacenes masivos de datos, aprendizaje automático y acceso a la red omnipresente, todo ello habilitado por la tecnología. Un rol importante lo ocupa hoy la Inteligencia artificial (IA), que se utiliza en aplicaciones de teléfonos móviles, análisis de gran volumen de información en dispositivos domésticos, representación digital de sistemas del mundo real, en el uso de plataformas digitales inteligentes y en sistemas de conversaciones en diferentes idiomas. Se estima que las tecnologías de IA agregarán cerca de US\$ 15.000 millones a la economía global en los próximos 10 años, por lo que se implementan planes de formación en IA para profesionales de la ingeniería (WEF, 2018; European Commission, 2020a).

A esto, se suman los recientes avances en computación cuántica, que pronostican aumentos exponenciales en la capacidad de procesamiento. Con el apoyo de la Simulación y la Integración de Sistemas, se están generando iniciativas para aumentar la disponibilidad de las instalaciones de pruebas y experimentación cuánticas, que ayudarán a aplicar estas nuevas soluciones cuánticas a un cierto número de sectores industriales y académicos.

Diversas instituciones tales como el MIT, WEF, Gartner e IBM han analizado las principales tendencias de las tecnologías emergentes, indicando tópicos relevantes y métodos, tal como se muestra en la Figura 2.1.3.

Research institutes		Topics and methods
	“10 Breakthrough Technologies”	<p>Topics Emerging technologies that are expected to have widespread consequences for human life in terms of the society and economy</p> <p>Methods Select the promising technologies based on the advice of best experts in each field</p>
	“Top 10 Emerging Technologies”	<p>Topics Emerging technologies that will bring a positive impact to the humans in 5 years</p> <p>Methods Candidate technologies are evaluated by the International Steering Committee consist of 11 experts for the selection</p>
	“Top 10 Strategic Technology Trends”	<p>Topics Promising IT technologies that are expected to be in the spotlight within 3 to 5 years</p> <p>Methods Technologies that may disrupt the IT industry and business or garner the interest of large investment management companies are evaluated for the selection</p>
	“5 in 5”	<p>Topics Promising technologies that may change the world in 5 years among the ones developed by IBM Research</p> <p>Methods Selected among the ones that IBM Research is working on to respond to certain future issues</p>

Figura 2.1.3 Tendencias tecnológicas, tópicos y métodos
Fuente: KISTEP. Korea Institute of S&T. Evaluation and planning.

La Comisión Prospectivas de la Ingeniería 2030, mediante el juicio experto de los miembros de la comisión, ha analizado también las principales tendencias que presentan las tecnologías emergentes para Chile, identificando los tópicos relevantes, modelos de negocios y operacionales, métodos y tendencias utilizados en los ámbitos seleccionados por la comisión en su análisis prospectivo, así como sus resultados e impactos transformacionales.

Principales tendencias tecnológicas

Se han detectado las principales tendencias tecnológicas que están en desarrollo y que tendrán gran influencia como habilitadoras de procesos de transformación futuros:

	<p>Democratización de la Inteligencia artificial. Las tecnologías de IA estarán prácticamente en todas partes durante los próximos 10 años y disponibles para toda la comunidad. Tendencias tales como la computación en la nube, la comunidad “creadora” y el código abierto pondrán la IA en las manos de todos.</p>
	<p>Tecnologías de apoyo. Plataformas de IA como servicio, inteligencia general artificial, conducción autónoma, robots móviles autónomos, plataforma conversacional de IA, redes neuronales profundas, vehículos autónomos voladores, robots inteligentes y asistentes virtuales.</p>
	<p>Ecosistemas digitalizados. Las tecnologías emergentes proporcionan el volumen de datos necesario, la potencia computacional avanzada y los ecosistemas habilitadores de ubicuidad. El cambio de una infraestructura técnica compartimentada a plataformas que permitan el desarrollo de ecosistemas está sentando las bases de nuevos modelos de negocio que están formando el puente entre los seres humanos y la tecnología. Esta tendencia es posible gracias a tecnologías como: blockchain, blockchain for data security, digital twin, IoT platform y knowledge graphs.</p>
	<p>“Modifíquese a su gusto” (Biohacking). Según algunos pensadores, la humanidad avanza hacia su era “transhumana”, que sugiere la modificación del propio organismo y de sistemas para potenciarlo. Y lograr objetivos dependiendo del estilo de vida, intereses y necesidades de salud, a través de: uso de tecnología, nutrigenómica, biología experimental. Esta tendencia es posible por las siguientes tecnologías: biochips, biotech – tejido cultivado o artificial, interfaz cerebro-computadora, realidad aumentada, realidad mixta y tejidos inteligentes.</p>
	<p>Experiencias transparentes inmersivas. Las tecnologías seguirán centrándose más en el ser humano hasta el punto de lograr transparencia entre las personas, las empresas y las cosas. Ellas extienden y permiten una vida más inteligente y de calidad en el trabajo y el diario vivir. Esta tendencia es posible por las siguientes tecnologías: impresión 4D, hogar conectado, tecnologías de sistemas de auto-saneamiento, baterías de ánodo de silicio, polvo inteligente, espacio de trabajo inteligente y pantallas volumétricas.</p>
	<p>Infraestructura ubicua. La necesidad de infraestructura ya no es un obstáculo para la consecución de los objetivos de una organización. La proyección masiva de la computación en la nube y sus muchas variantes han permitido un entorno infraestructura digital siempre activo, siempre disponible y casi ilimitado. Esta tendencia es posible por las siguientes tecnologías: 5G, nanotubo de carbono, red neural profunda, hardware neuromórfico y computación cuántica.</p>

Figura 2.1.4 Top 10 Strategic Technology Trends for 2020. David W. Cearley, Gartner.

2.2. Casos de experiencia prospectiva de países seleccionados

Países y organizaciones nacionales e internacionales han realizado diversas experiencias prospectivas, estableciendo tendencias y perspectivas para desarrollar posibles escenarios futuros y han presentado sus resultados a la comunidad internacional. Para dar cuenta de estos desarrollos, se analizó la prospectiva de Finlandia, Australia y Corea del Sur.

Finlandia

Gobernanza anticipatoria innovativa y prospectiva tecnológica en Finlandia

Finlandia ocupa el primer lugar entre los países más desarrollados en el ámbito tecnológico del planeta, según un informe reciente del Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) que compara 72 países (OECD, 2020b). Se encuentra también entre los diez países líderes en innovación y entre los cinco países con mayor cantidad de patentes. El 4% del PIB es destinado a investigación y desarrollo. El gobierno financia parcialmente los emprendimientos del país, en particular el 23% de los startups y, en la actualidad, hay más de 2.000 compañías jóvenes creciendo, siendo de 19 años la edad promedio en que los jóvenes inician su emprendimiento. La economía del país mantiene un ritmo de crecimiento superior al 3% y la tasa de empleo ha aumentado en un 70% en los últimos seis años. En el ámbito educacional, el 95% de los centros educacionales son públicos. Un antecedente interesante es el que los finlandeses leen un promedio de 47 libros al año, de los cuales 10 son leídos por placer.

Finlandia se caracteriza por el diseño industrial, la buena usabilidad, la utilización eficaz de la tecnología y la comprensión de las necesidades del mercado. Todo esto ha permitido contar con modernos coches - restaurantes en la compañía nacional de ferrocarriles, el desarrollo de importantes proyectos domóticos, puentes de mando para buques y sistemas inteligentes de ventilación. En el sector de salud y bienestar, los diseños van desde los monitores de pacientes para GE, hasta un calentador para los moldes médicos de madera para la compañía finlandesa Onbone, pasando por equipos de rayos X, dispositivos de anestesia, instrumental de odontología, aparatos de medición y equipos para tratamientos linfáticos.

La colaboración entre el gobierno, las universidades y las 'startups' ha sido una de las claves para situar a Finlandia a la vanguardia de una de las actuales disrupciones tecnológicas. En el año 2017 Finlandia se convirtió en el primer país europeo en presentar su estrategia nacional de inteligencia artificial y en el año 2018, el Ministerio de Empleo y Economía de Finlandia publicó un informe que destacaba la necesidad de reforzar las habilidades y competencias de los profesionales en los algoritmos, la automatización de tareas y otras tendencias digitales. La idea es que la población esté lo suficientemente preparada para asumir nuevas funciones derivadas de la irrupción de la inteligencia artificial y otras tecnologías en el entorno laboral. Las universidades han lanzado propuestas como minicursos 'online' gratuitos en un plan de formación continua para reeducar a un millón de sus ciudadanos para que aprendan nuevos conocimientos en este dominio. Por otra parte, la formación de empleados en técnicas analíticas se ha convertido en una apuesta clave para lograr que las compañías puedan llegar a explotar todo el potencial de sus datos. De esta manera, tanto el Gobierno como las universidades y el ecosistema emprendedor del país han puesto en marcha distintas iniciativas encaminadas a impulsar proyectos basados en algoritmos y aprendizaje automático, creando el Finnish Center for Artificial Intelligence FCAI y el NVIDIA AI Technology Center NVAITC, en conjunto con la U. de Helsinki y la U. Aalto.

¿Cómo Finlandia va logrando sus propósitos tan destacables?

El gobierno finlandés, ha ido más allá de la prospectiva, comprometiendo una gobernanza anticipatoria innovadora, definida como una “capacidad de base amplia para explorar activamente posibilidades, experimentar y aprender continuamente como parte de un sistema de gobierno más amplio” (Tönurist and Hanson, 2020). Es importante señalar que la necesidad de desarrollar una visión de largo plazo para Finlandia nació frente a la necesidad de sobrevivir frente a un vecino desafiante como Rusia.

El sistema de prospectiva de Finlandia está integrado por seis redes, con estructura plana, con participación de múltiples actores: públicos, privados, no gubernamentales, internacionales o combinaciones de los anteriores. Es flexible y tiene la capacidad de llegar a toda la sociedad, pues en él participan muchos de los encargados de la adopción de decisiones, ministerios oficiales, universidades e investigadores, organizaciones empresariales, organismos nacionales de financiación y otros actores clave. Utiliza el informe de prospectiva del Gobierno; la red de prospectiva del Gobierno; el Comité para el Futuro del Parlamento de Finlandia; el consorcio de prospectiva para la fuerza de trabajo, la competencia y las necesidades educativas; la red de prospectiva del SITRA, y la comunidad finlandesa de estudios del futuro.

Con ayuda de la OECD, a fines del año 2020 y comienzos del 2021 se desarrolló una metodología de diagnóstico prospectivo, donde se realizaron más de 50 entrevistas semiestructuradas con expertos en políticas del gobierno finlandés, la sociedad civil y los medios de comunicación, sobre cómo el sector público aborda problemas complejos y se ocupa de los desafíos a largo plazo. Los hallazgos fueron luego validados en diez workshops temáticos: ciudadanos, confianza y participación; futuro y previsión; presupuesto y recursos; experimentación; capacidad individual y organizativa; ciclos de políticas y continuidad de las reformas y coordinación transversal del gobierno. Todo esto en un contexto de gobernanza anticipatoria innovadora: “Towards an anticipatory innovation governance model in Finland” (DG REFORM, 2020). Esta investigación identificó seis áreas desafiantes para el gobierno finlandés:

- Superar la brecha de impacto de la prospectiva estratégica integrando futuros y previsión con estrategias centrales.
- Abrir las alternativas políticas conectadas a los desafíos futuros de forma sistemática e involucrar a los ciudadanos y otras partes interesadas en la creación de políticas orientadas al futuro.
- Fortalecer la capacidad de los servidores públicos para reflexionar y actuar sobre los futuros desafíos políticos mediante el acceso a enfoques anticipatorios y herramientas de innovación.
- Asegurar los mecanismos tradicionales de dirección de políticas gubernamentales (estratégicos, presupuestarios y legales) para permitir la exploración de alternativas políticas y abordar problemas complejos.
- Aprovechar los mecanismos de gobernanza anticipatoria para permitir cuestiones de política complejas y de largo plazo en forma colectiva, a través del ciclo de políticas.
- Contrarrestar los silos gubernamentales y crear nuevas formas de colaboración para analizar los problemas emergentes de manera intergubernamental.

De esta forma, se identifican los desafíos sustantivos de política que necesitan anticipación, los que son presentados en la Figura 2.2.1.

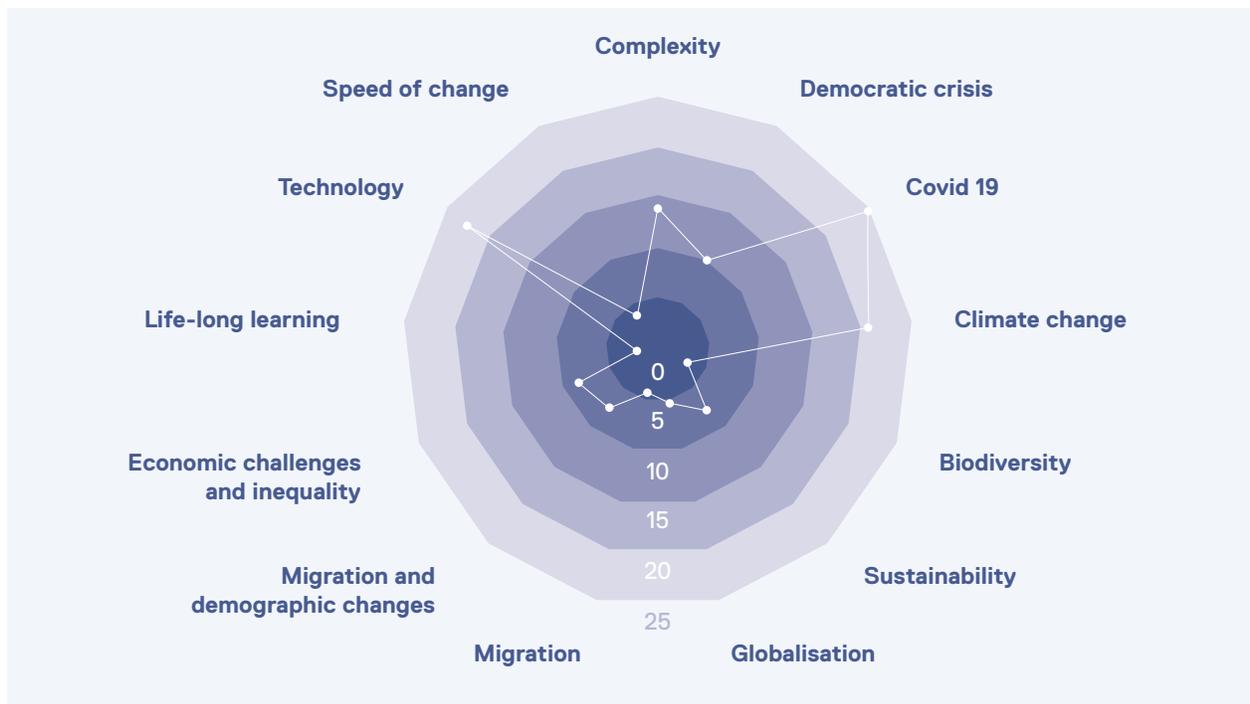


Figura 2.2.1 Desafíos sustantivos de política Finlandia
Fuente: (OECD 2020c). Substantive policy challenges needing anticipation

A partir de este diagnóstico y desafíos asociados, se creó un modelo de gobernanza y unos mecanismos de gobernanza anticipatoria innovadora, balanceando la anticipación con la adaptación, a través de un conjunto de mecanismos y herramientas tales como: estructuras institucionales; alternativas de exploración y experimentación; capacidad organizacional; data y mediciones; herramientas y métodos; creación de sentido; círculos de aprendizaje: evidencia y evaluación; legitimación; intereses creados y sesgos cognitivos; interés público y participación; redes y socios.

También, se perfilaron los escenarios futuros de gobernanza pública para el año 2030, que se presentan en la Figura 2.2.2. y se enfatizó la capacidad para renovar o no renovar el gobierno internamente cuando corresponda, la habilidad para influenciar cambios sociales y el aprecio por las tradiciones. Luego, se creó un Heat-map para validar los resultados de la metodología anticipatoria y la Oficina del Primer Ministro. En conjunto con la Timeout Foundation organizaron 50 diálogos con ciudadanos, donde ellos compartieron sus pensamientos, esperanzas y sueños del futuro de Finlandia. Estos resultados fueron comparados con los escenarios propuestos en la metodología y se analizaron las brechas entre ellos.

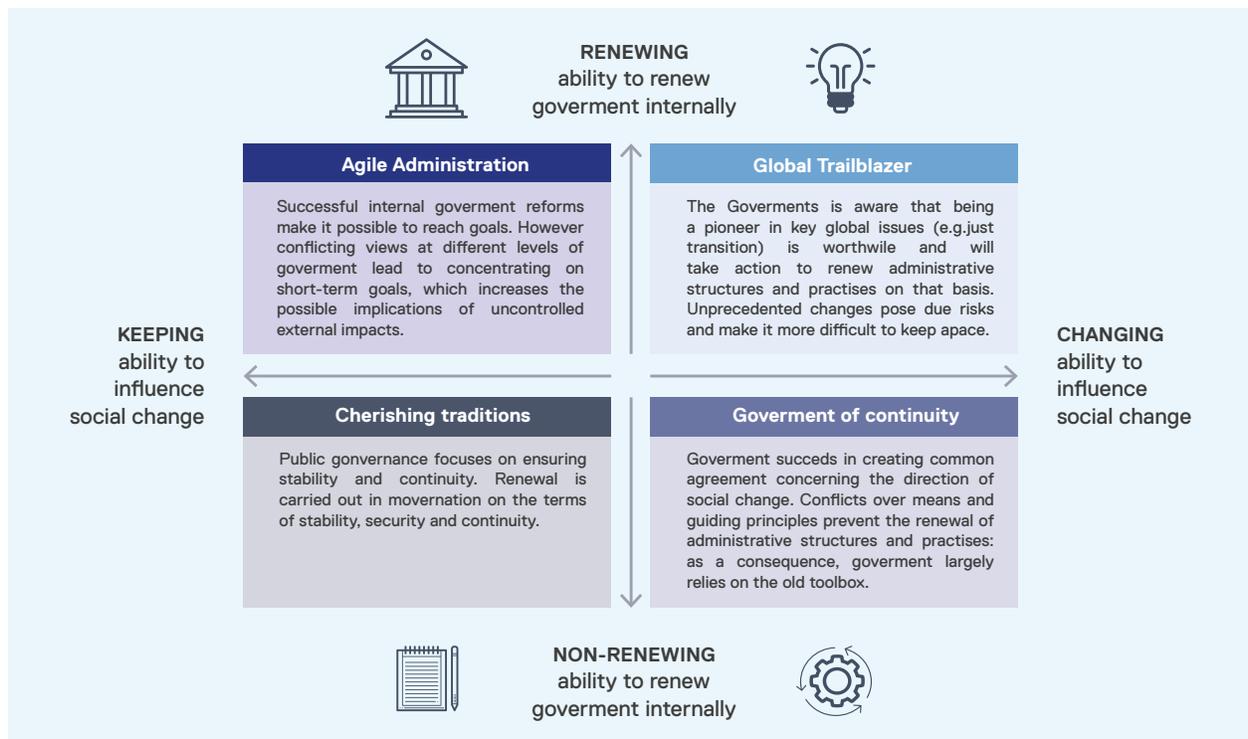


Figura 2.2.2 Escenarios futuros de gobernanza pública. Finlandia
Fuente: Strategy for Public Governance Renewal. Available at: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi>

Finalmente, el gobierno finlandés propuso el diseño de su sistema de gobernanza para manejar la incertidumbre y la complejidad, haciéndose cargo de sus necesidades y oportunidades para lograr una gobernanza anticipatoria innovadora, a través de proyectos piloto. El modelo utilizado considera los hallazgos encontrados en los temas: futuro y previsión; interés público y participación; exploración de alternativas; capacidad individual y organizacional; presupuesto y asignación de recursos; ciclos de política y continuidad de las reformas y coordinación para abordar los desafíos gubernamentales. El prototipo fue probado en cuatro casos experimentales, que deben informar el aprendizaje obtenido sobre la gobernanza efectiva anticipatoria innovadora, demostrando cómo las estructuras de gobernanza de Finlandia pueden hacer frente a valores cambiantes, nuevas expectativas públicas, futuros inciertos y una variedad de futuros que el país prefiere respecto de:

- Aprendizaje continuo e implementación de reformas.
- Neutralidad de carbono y evidencia sobre el futuro.
- Dirigir el cambio a través de los niveles de gobierno en el ámbito de la política de la infancia, la juventud y la familia.
- Interfaz entre políticos y altos funcionarios públicos sobre su papel en la gobernanza anticipatoria innovativa.

Resultados de la prospectiva tecnológica

Para Finlandia, son de vital importancia la agricultura, la silvicultura y la pesca, la alimentación, la biotecnología y las tecnologías digitales y de información. También lo son la producción de energía limpia, la creación de infraestructuras de ciudades y de transporte sostenible, que permitan mejorar las condiciones de vida de sus

comunidades locales y ciudadanos. El medioambiente, los recursos naturales y la energía los ha impulsado al desarrollo de un modelo de economía circular, haciendo uso de los materiales que se encuentran en los residuos, dándole una segunda vida a los productos desechados, reutilizando y reintroduciendo en el ciclo de vida de los productos. Esta apuesta ha convertido esta región en un potencial eje estratégico para el crecimiento de las empresas finlandesas, potenciando la demanda en el mercado laboral y generando oportunidades de alianzas internacionales (Agenda 2030 in Finland).

Por su parte, las Tecnologías de Información, la analítica y los servicios están permitiendo el desarrollo de una infraestructura digital de calidad. Destacan también los resultados en las aplicaciones industriales, de negocios y económicas.

En la Tabla 2.2.1. se presenta una muestra de resultados relevantes de la prospectiva tecnológica finlandesa, en diversos ámbitos.

Ámbito	Resultado
Alimentos, Biotecnología	<p>Ecosistema de Alimentación: Sistema de cocción flexible aplicable a varios menús para restaurantes. Tecnología para detectar la entrada de materia orgánica en las líneas de producción de alimentos. Creación de una base de datos internacional de resultados de investigación, que integra ciencia cognitiva, lingüística, química e IA, para lograr el “sabor” de los alimentos. Sistema de análisis cuantitativo de la calidad de los productos agrícolas, forestales y pesqueros en un sitio de producción de manera no destructiva y en tiempo real. Tecnología para producir alimentos que no causan alergias basada en la tecnología de medición de alérgenos. Variados alimentos funcionales como un mix que considera el envejecimiento de la sociedad. Tecnología para monitorear y analizar la cadena de valor de los alimentos para reducir la pérdida de alimentos. Tecnología de almacenamiento a corto plazo para mantener la frescura y la calidad de los alimentos frescos sin congelar. Tecnología de procesamiento para nuevas fuentes de proteínas. Tecnología de fabricación, procesamiento y cocción para lograr una personalización masiva y acortar la distancia entre el lugar de producción y el de consumo. Tecnología de generación de recursos basada en la reutilización de residuos de alimentos, usando impresora 3D de alimentos. Cadena de valor alimentaria circular completa a lo largo de los procesos de producción, distribución, transformación y consumo.</p>
Agricultura, Forestal	<p>Biomasa: Cultivo de productos de biomasa superiores a 50 toneladas/ha/año de materia seca. Tecnología para descomponer y utilizar fibras vegetales mediante el uso de proteínas artificiales. Sistema de producción cooperativa ganadera que utiliza fertilizantes estables en los ingredientes. Tecnología a través de la concentración de jugos digestivos de fermentación de metano. Tecnología para diseñar estructuras de madera ignífugas de alta resistencia para la construcción de edificios de mediana altura, para sustituir estructuras de acero y cemento y reducir las emisiones de CO2. Madera de alta durabilidad que se puede utilizar al aire libre durante un largo período de tiempo (alrededor de 50 años). Generación de energía de alta eficiencia y bajo costo, utilización térmica de biomasa como la madera. Biodegradabilidad y materiales fotodegradables para el ecosistema alimentario. Tecnologías para sustituir los productos de combustibles fósiles por recursos forestales, para la pavimentación de carreteras y materiales de construcción. Tecnología para agregar valor a los subproductos de la madera.</p>
Medioambiente, recursos y energía	<p>Desarrollo, reducción, reutilización y reciclaje de recursos: Tecnología eficiente de exploración minera utilizando TIC y satélites. Tecnología de minería y bombeo para la extracción de recursos minerales oceánicos. Tecnología de minería de gas no contaminante; tecnología para extraer hidrato de metano; tecnología para recuperar eficazmente el helio del aire. Tecnología para fundir titanio al ≤50% del costo actual. Tecnología para tratar y almacenar arsénico en minas de cobre. Tecnología para desarrollar recursos hasta una temperatura de 250°C y presión de 500 átomos. Tecnología para la extracción económica de recursos metálicos de aguas profundas en depósitos hidrotermales. Tecnología para separar y recuperar económicamente los metales útiles de los usados. Tecnología para recolectar y utilizar racionalmente metales raros de pequeños dispositivos electrónicos, residuos y lodos procedentes de cenizas volantes de incineración. Tecnología para recuperar económicamente metales raros como el uranio del agua de mar. Formato de refinería de biomasa que permite la producción de diversos productos industriales básicos. Tecnología de sensores de clasificación para mejorar aún más los sistemas de selección y clasificación de residuos. Tecnología para reducir drásticamente la cantidad de residuos con transmutación nuclear de radionucleidos en residuos radiactivos. Uso de tecnología digital para el análisis de estratos, estimación de reservas de recursos y formulación de planes de desarrollo.</p>

<p>Medioambiente, recursos y energía</p> <p>(continuación)</p>	<p>Nueva tecnología de recuperación mejorada de petróleo y gas natural que utiliza bio-nanotecnología.</p> <p>Búsqueda de causas y condiciones reales de los terremotos inducidos, asociados al desarrollo de los recursos.</p> <p>Tecnología innovadora de desmantelamiento y diseño que mantiene la función para promover la reutilización.</p> <p>Conservación del medioambiente. Recursos y energía:</p> <p>Estructuras flotantes compatibles con la preservación del medio marino (tráfico, comunicación, producción, base de actividad, etc.).</p> <p>Tecnología de aguas residuales para la recuperación de metales preciosos de aguas residuales y lograr la autosuficiencia energética.</p> <p>Tecnología para estimar y observar la calidad y el flujo del agua subterránea.</p> <p>Estimación de las reservas mundiales de agua subterránea (agua fósil) que sólo pueden ser utilizadas de forma no continua para una gestión internacional adecuada.</p> <p>Tecnología de alerta temprana para brechas de diques utilizando una combinación de predicción y observación.</p> <p>Tecnología para la restauración frente a emergencias, incluido el cierre rápido de las riberas de ríos, brechas en caso de deformación de los diques.</p> <p>Tecnología de diseño de canales fluviales que integra la conservación y el mantenimiento del medio ambiente.</p> <p>Sistema de transporte de sedimentos para predecir los cambios geográficos, incluidas las regiones montañosas y costeras, las estimaciones y la tecnología para conservar adecuadamente la tierra.</p> <p>Sistemas para que los turistas de todos los países que viajan en Finlandia reciban información y apoyo relacionados con lugares turísticos y puedan viajar en cualquier momento y en cualquier lugar, para garantizar que el turismo receptivo se pueda disfrutar sin problemas y cómodamente.</p> <p>Tecnología para determinar cuantitativamente los cambios en tiempo real en la tierra, grandes estructuras y deformación durante desastres utilizando los datos de posicionamiento de satélites cuasi-cenitales.</p> <p>Tecnología para dilucidar el mecanismo en el que se generan los microplásticos y la carga real en aguas públicas, con el fin de implementar un contexto adecuado de fuentes de contaminación.</p> <p>Tecnología de separación física y enriquecimiento para promover el reciclaje avanzado de metales.</p> <p>Tecnologías digitales para mejorar drásticamente la eficiencia de la cadena de suministro para la circulación de recursos, considerando su recogida y el transporte.</p> <p>Tecnología para utilizar el vapor generado a partir de la incineración de residuos para fábricas y generación de energía, implementada para más de la mitad de los incineradores.</p> <p>Gestión de los recursos y las sustancias peligrosas mediante la creación de una base de datos común para el flujo de materiales.</p> <p>Operación automática de la eliminación de residuos y el mantenimiento de las instalaciones de reciclaje, incluido el autodiagnóstico mediante IA.</p> <p>Equipos terrestres de alta temperatura para la utilización de recursos geotérmicos, con orientación a recursos geotérmicos supercríticos.</p> <p>Tecnología de generación de energía geotérmica utilizando agua supercrítica ubicada a una profundidad de aproximadamente 5.000 m.</p> <p>Tecnología de recarga artificial de yacimientos geotérmicos agotados.</p> <p>Expansión nacional de sitios geotérmicos potenciales basados en un modo de flujo de agua subterránea.</p> <p>Agua:</p> <p>Mapa nacional de aguas subterráneas con integración efectiva de observación por satélite y observación terrestre.</p> <p>Tecnología para monitorear áreas de agua y detectar la calidad del agua.</p> <p>Tecnología de gestión integrada del agua en zonas densamente pobladas, incluida la gestión de inundaciones urbanas, marejadas ciclónicas y hundimiento de tierras debido a bandas de lluvias lineales y a lluvias torrenciales.</p> <p>Tecnología de optimización de recursos hídricos y de energía basada en modelos climáticos y de nevadas. Con observaciones para utilizar eficazmente la nieve como recurso.</p> <p>Tecnología para monitorear continuamente las trazas químicas nocivas, patógenas, microorganismos, etc., en el suministro de agua.</p> <p>Tecnología para analizar y eliminar rápidamente los antibióticos residuales en las aguas residuales tratadas.</p> <p>Tecnología de purificación de agua mediante membranas de ósmosis inversa, con energía presurizada reducida en un 50% o más.</p> <p>Tecnología de purificación de agua con membranas de ósmosis inversa económicamente reciclables.</p> <p>Tecnología para el reciclaje de agua contaminada, que puede ser ampliamente utilizado en los países en desarrollo.</p> <p>Indicador integrado de calidad del agua que puede evaluar la calidad del medio acuático.</p> <p>Método de análisis rápido para detectar micro plásticos en la hidrósfera y evaluación de riesgos para la salud.</p> <p>Geoingeniería (tecnología de química ambiental) y biomimética (tecnología para adquirir recursos hídricos de la atmósfera).</p>
<p>TICs, Analítica y servicios</p>	<p>Infraestructura de redes:</p> <p>Tecnología de comunicación móvil cableada e inalámbrica que facilita simultáneamente gran capacidad, ultra confiable, latencia ultra baja y comunicación súper multi-terminal.</p> <p>Tecnología de red de comunicación / nodo de comunicación que reduce dramáticamente el consumo de energía por cantidad de datos transferidos.</p> <p>Tecnología de plan de datos que logra una mayor capacidad de comunicación en la nube.</p> <p>Centro de datos permite el potencial de evolución de la arquitectura.</p> <p>Tecnología de comunicación móvil que facilita la comunicación de alta capacidad con multiplexación de alta densidad, que puede predecir y seguir el movimiento del terminal, realizar selectivamente comunicaciones de gran capacidad y permitir la comunicación de terminal a terminal.</p> <p>Tecnología de infraestructura de comunicación disponible de manera óptima que vincula la nube y terminales Edge, y combina orgánicamente recursos informáticos dispersos, recursos de almacenamiento de información y recursos de comunicación.</p> <p>Red orientada a la información y al contenido que lleva a cabo su procesamiento dentro de la red.</p> <p>Tecnología de la información y la comunicación flexible que contribuye a mitigar la congestión y mejorar la tolerancia a fallas en tiempos normales, permite un servicio preferencial de comunicación de emergencia en caso de desastre, o que se puede construir rápidamente desde cero.</p> <p>Tecnología de comunicación óptica capaz de acomodar innovadoramente gran capacidad y comunicación de alta densidad, como la fibra multi-núcleo y la fotónica de silicio.</p> <p>Comunicación cuántica innovadoramente segura mediante criptografía cuántica.</p> <p>Tecnología de configuración de dispositivos de red convertida en software, combinando rendimiento, flexibilidad y robustez.</p> <p>Tecnología para adaptarse a aplicaciones y servicios sin interferencias, de extremo a extremo.</p>

<p>Ciudad, infraestructura, arquitectura, obras civiles y transporte</p>	<p>Ciudades y medioambiente: Plataforma para compartir, vincular y utilizar datos en poder de varias organizaciones, con el fin de abrir los datos relacionados con la ciudad. Tecnología para la provisión integral y eficiente, mantenimiento y evaluación de la infraestructura verde. Sistema de provisión de información de viviendas que promueve la selección residencial racional. Distrito residencial independiente de la infraestructura más amplia. Tecnología para crear mapas de peligro de desastres de alta precisión para permitir una planificación urbana detallada. Sistema de apoyo a la creación de consenso que permite el debate y la toma de decisiones sobre planificación urbana sin limitaciones de tiempo y lugar. Sistema de seguimiento de los cambios en el uso del suelo y de propuesta de un planeamiento urbanístico adecuado. Tecnología de evaluación ambiental para evaluar con precisión los micro cambios provocados por el desarrollo. Tecnología para un amplio mantenimiento y gestión de bajo uso de zonas no utilizadas causadas por la despoblación.</p>
<p>Aplicaciones Industriales, de negocios y económicas</p>	<p>Aumentará el número de clientes y la importancia de la propiedad intelectual. Manejo de la propiedad intelectual y proporción de nuevos productos y servicios basado en la innovación abierta representará más del 30% de todos los nuevos negocios. Con plataformas generalizadas de crowdsourcing y job matching, más del 30% de la población trabajadora lo hará como autónomos en lugar de empleados contratados. La economía colaborativa y la conversión de servicios progresarán en una amplia gama de campos, incluida la movilidad, el ocio, la gastronomía y la ropa, y las compras representarán el 10% o menos del gasto de consumo. El 30% o más del monto total de los pagos realizados por la gente común en la vida diaria será realizado en moneda virtual gestionada por tecnología de blockchain sin ser controlada por bancos centrales. Sistemas de energía que utilizan tecnología de blockchain y otras para gestionar la energía eléctrica, y las transferencias y transacciones entre comunidades e individuos. Con la difusión de la IA y la capacidad de automatizar la mayor parte del trabajo, alrededor del 30% de la población en edad de trabajar no estará empleada. La personalización masiva se volverá popular en una amplia gama de áreas, incluidos automóviles, ropa, bienes de ocio, etc. El modo de ordenar y comprar artículos personalizados para satisfacer las necesidades del individuo se convertirá en la corriente principal. A medida que las ventas netas y los servicios de entrega aumenten en popularidad, las compras en las tiendas representarán el 10% o menos del consumo total. Todas las empresas ofrecerán sus productos en un pequeño número de plataformas globales y casi todo el negocio, incluidas las ventas, la liquidación, la compra, el marketing y el análisis de ventas, se llevará a cabo en estas plataformas.</p>

Tabla 2.2.1 Resultados relevantes de la prospectiva tecnológica en Finlandia

Referencia: Foresight for Our Circular Economy Society Cooperative Project Between Business Finland and Nistep, VTT, Business Finland, June 2020.

Australia

Prosperidad a través de la innovación en Australia

Australia visualiza grandes oportunidades en la industria 4.0, reconociendo que la productividad global de largo plazo de la manufactura australiana dependerá de qué tan bien se haga la transición hacia la cuarta revolución industrial. En este contexto, el gobierno australiano decide evaluar cómo quiere abordar la Industria 4.0, incluyendo el establecimiento de proyectos apropiados para demostrar el éxito nacional en el desarrollo e implementación de infraestructuras y arquitecturas apropiadas para la innovación global (Blackburn et al., 2017; Australian Government, 2017). Es así, que han firmado un Memorando de Entendimiento con Alemania para impulsar la cooperación en la Industria 4.0, cuyo objetivo es desarrollar vías de comunicación, innovación y cooperación entre ambos países. El Gobierno australiano se ha subido a la iniciativa alemana Plattform Industrie 4.0, que reúne a empresas, asociaciones, el mundo académico, comunidad, sindicatos y responsables políticos, para coordinar la transformación digital de la industria. Participan allí diversas instituciones, centros, empresas y universidades, entre ellas: Standards Australia, Advanced Manufacturing Growth Centre, Siemens Australia and New Zealand, Robert Bosch Australia, Engineers Australia, CSIRO, Communications Alliance, University of Technology Sydney, Austroads, Asialink Business and Business Council of Australia.

La Ley de Ciencia e Investigación de Australia es uno de los instrumentos que guía el trabajo científico del país y su conexión con la industria, en las áreas productivas que se consideran prioritarias para el desarrollo económico del país. Esto se ha traducido en una alta inversión en ciencia y tecnología; en una estrategia de innovación que

juega un rol central en el crecimiento del producto interno bruto y en la competitividad internacional; y en una institucionalidad adecuada a estos propósitos.

Australia adopta como estrategia la estandarización mediante el establecimiento de normas internacionales para los productos y servicios provistas por Standards Australia, 2017 (ISO/IEC JTC 1/SC 41). La estandarización es considerada de importancia central para el éxito de la Industria 4.0 porque involucra la creación de redes y la integración de múltiples empresas diferentes a través de sus cadenas de valor. Al fomentar la interoperabilidad, las normas internacionales facilitan el crecimiento, la competitividad y la innovación. Las actividades de normalización donde Australia participa con un enfoque cooperativo con organizaciones pares son consideradas factores críticos, dada la complejidad del desafío. Australia se incorporó a la Industrial Internet Consortium, organización global apoyada que promueve el crecimiento acelerado del Internet de las Cosas. Mediante la coordinación de iniciativas del ecosistema para conectar, controlar e integrar de forma segura los activos y sistemas de activos con personas, procesos y datos que utilizan arquitecturas comunes, interoperabilidad y estándares abiertos para ofrecer transformaciones, resultados empresariales y sociales en todos los sectores industriales y de infraestructura pública.

El gobierno, por su parte, negocia acuerdos comerciales bilaterales o regionales, estableciendo los Centros de Crecimiento de la Industria, el Grupo de Trabajo de Industria 4.0 del Primer Ministro y el apoyo a Standards Australia, para trabajar en la Industria 4.0. Tal es el caso de la fabricación inteligente, desarrollada por el Centro de Crecimiento de Fabricación Avanzada y el Manufacturing Futures Research Institute (MFI) de la Universidad Tecnológica de Swinburne.

También, se ha venido produciendo un renovado interés en el sector agrícola y minero. El sector de servicios sigue siendo el mayor de la economía australiana, representando cerca del 70% del PIB en 2019. El empleo en este sector representa el 78,3% de la población activa en Australia, con 10 millones de empleados (2019). Los servicios como el turismo, las finanzas, sus avances tecnológicos y la educación son componentes principales de la economía de Australia. Un hecho significativo para apoyar estos sectores ha sido la creación de la Agencia de Transformación Digital de Australia (DTA), que tiene la visión de crear un mundo online seguro para los ciudadanos australianos, sus negocios y los servicios esenciales de los cuales ellos dependen (Standards Australia, 2017; Digital Transformation Agency, 2022). Para esto, cuenta con tres iniciativas principales:

- **Política de reutilización digital y de las TIC.** Garantiza que todo el gobierno australiano se centre en la reutilización de las capacidades digitales y de las TIC, con estándares digitales utilizados para evaluar si una propuesta de inversión digital o habilitada por las TIC es sólida, de alta calidad y puede presentarse para su consideración por el Gobierno. La DTA elabora orientaciones para ayudar a las agencias a comprender la reutilización y lo que debe hacerse en cada etapa del ciclo de vida de la inversión digital y en TIC.
- **Identidad digital.** El contar con una identidad digital ayuda a los australianos a verificar su identidad de una manera segura, para acceder a los servicios de gobierno y otros servicios en línea. Elimina la necesidad de que las personas y las empresas visiten una tienda con sus documentos de identidad, lo que ahorra tiempo y dinero.
- **Fortalecimiento de las TI gubernamentales (HGIT).** La visión del gobierno australiano es crear un mundo en línea seguro para los australianos, sus negocios y los servicios esenciales de los que todos dependen. Bajo la Iniciativa HGIT,

la resiliencia de la seguridad cibernética es el enfoque a medida que permite la transición a una sociedad digital. Se desea que los ciudadanos australianos tengan la confianza de que sus datos están seguros y que los sistemas de los que dependen también lo están.

¿Cómo perfila Australia su prospectiva tecnológica?

En el año 2017, Australia realizó su prospectiva tecnológica, visualizando en el largo plazo el futuro de la ciencia, la tecnología, la economía y la sociedad, con el propósito de identificar las tecnologías emergentes que, probablemente, produzcan mayores beneficios económicos y sociales, para luego diseñar los roadmaps tecnológicos. Esto, apoyado por la consulta a profesionales y expertos de diferentes sectores de actividad y utilizando la metodología Delphi (Australian Government, 2017).

Para aprovechar las oportunidades futuras que se identifican en la prospectiva, se propuso hacer de Australia uno de los mejores lugares del mundo para emprender abordando la innovación, la ciencia y la investigación, y maximizar la difusión de los beneficios a todos los australianos. De esta forma, se definieron **cinco imperativos relevantes: Educación, Industria, Gobierno, Investigación y Desarrollo, Cultura y Ambición** (Figura 2.2.3).

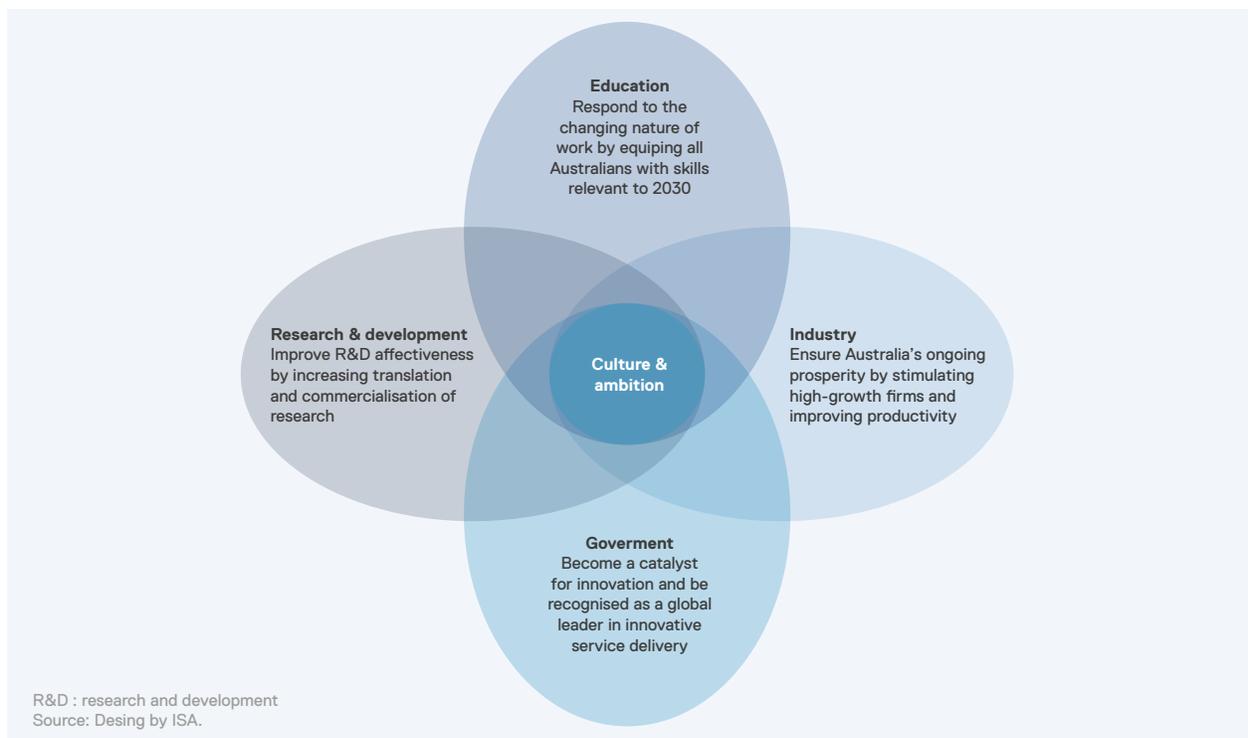


Figura 2.2.3 Imperativos relevantes Australia
Fuente: Design by ISA. Five imperatives for australian innovation, science, and research system.

En cada uno de los imperativos se identifican oportunidades estratégicas para los diferentes actores involucrados, a saber:

Imperativo 1. Educación.

- La Enseñanza de la ciencia, la tecnología, ingeniería y matemáticas y las habilidades de este siglo se pueden mejorar a través del desarrollo de profesores y escuelas líderes; la desigualdad educativa puede ser reducida a través de intervenciones específicas.
- La educación vocacional de Australia y el sistema de capacitación se pueden hacer receptivos a las nuevas prioridades habilitadas por la innovación.

Imperativo 2. Industria.

- La investigación y desarrollo empresarial, así como la inversión pueden incrementarse a través de una mejor orientación de ellas, con el Programa de Incentivos Fiscales al Desarrollo, el aumento del apoyo a la subvención directa y los programas que apuntan a las prioridades nacionales.
- El crecimiento de las empresas exportadoras, en particular las empresas jóvenes de alto crecimiento, se puede fomentar aumentando las subvenciones para el desarrollo de los mercados de exportación, haciendo mejor uso de los acuerdos comerciales.
- Las oportunidades que presenta la 'cuarta ola' de internet se pueden capturar mediante el fortalecimiento de la economía digital de Australia.
- La productividad empresarial en todos los sectores puede ser facilitada por niveles saludables de competencia.
- La inversión en innovación y talento en Australia puede mejorar el acceso a grupos de talento globales y fomentar una mayor diversidad étnica y de género.

Imperativo 3. Gobierno.

- La creación de un entorno regulatorio flexible que apoye la innovación puede lograrse a través de la colaboración entre los gobiernos de los estados australianos.
- Animación a los inversores a buscar oportunidades que generen rendimientos financieros y sociales.
- Aceleración del uso de open data mejorando su acceso y utilidad.
- La innovación nacional puede ser estimulada usando desde el gobierno la contratación como palanca estratégica.
- La prestación de servicios gubernamentales puede ser mejorada a través del proceso de rediseño y tecnología digital.

Imperativo 4. Investigación y Desarrollo.

- Colaboración entre la industria y el sector de la investigación se puede aumentar mediante una articulación premium con el programa de Incentivos Fiscales al desarrollo tecnológico.

- El apoyo institucional para la comercialización se puede incrementar mediante un flujo dedicado de financiamiento de actividades de colaboración universidad-empresa.
- Mantener la alta calidad de Australia en investigación requiere continuar con la inversión en infraestructura, comenzando con instalaciones informáticas de alto rendimiento.
- Aprovechamiento al máximo del talento investigador promoviendo una mayor diversidad en la participación en labores de investigación e innovación.
- Creciente impulso del capital de riesgo en Australia apoyado con las mediciones y los enfoques adecuados para las intervenciones.

Imperativo 5. Cultura y Ambición.

- La Genómica y Medicina de Precisión son una primera misión del plan nacional, entregando salud y beneficios de innovación para todos los australianos.
- Se puede asegurar que las misiones nacionales de Australia sean eficaces a través del desarrollo de un marco sólido para identificar y ejecutar esas misiones.

De esta manera, nació el Plan 2030, que se ha beneficiado con amplios aportes de personas y organizaciones de todo el país, a través de foros de consulta, escritos, presentaciones, encuestas y consultas de expertos, así como un análisis de fortalezas y debilidades del sistema australiano. El Plan 2030 pretende entregar prosperidad a través de la innovación, ayudar a los responsables políticos en todos los niveles de gobierno y actuar sobre los desafíos identificados en la revisión del desempeño de las organizaciones. También, ayuda a los participantes en el sistema de innovación, ciencia e investigación mediante la adopción de un enfoque integrado que entrega la perspectiva sobre cómo el gobierno puede apoyar sus esfuerzos de innovación.

Resultados de la prospectiva tecnológica en Australia

A partir de los cinco imperativos propuestos para mejorar las capacidades de innovación, se espera que en el año 2030 Australia se encuentre dentro del nivel superior de las naciones en innovación y así lograr una prosperidad sostenible para sus ciudadanos. En ese contexto, en la Tabla 2.2.2. se presentan resultados de la prospectiva tecnológica, considerando escenarios de crecimiento del desarrollo tecnológico y de apoyo social.

Vision futura	Resultados
Expansión de tecnologías que ya existen o que existirán y estarán disponible antes de 2025.	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de predicción de la oferta y la demanda de alimentos basado en un aumento de la población mundial; desarrollo económico y tendencias en las tecnologías de producción de cultivos. • Cadena de valor alimentaria circular completa en todos los procesos de producción, distribución, transformación y consumo. • Reciclaje de tecnología de tratamiento de agua contaminada, que podría ser ampliamente utilizado en los países en desarrollo.
Tecnologías transformadoras que requieren un rápido desarrollo tecnológico y un fuerte apoyo social para ser realizadas.	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías para el mantenimiento y gestión de áreas de bajo uso o no utilizadas causadas por la disminución de la población. • Tecnologías para evaluar la vitalidad económica, el impacto social y la carga ambiental de una sociedad que utiliza energía renovable como la biomasa. • Estimación de las reservas mundiales de agua subterránea (agua fósil) que sólo se puede utilizar de forma no continua para una gestión internacional adecuada.
Aumento incremental en el uso de tecnologías que pueden tener éxito en un entorno basado en el mercado.	<ul style="list-style-type: none"> • Madera altamente duradera que se puede utilizar al aire libre para un largo período de tiempo (alrededor de 50 años), con el objetivo de expansión de la demanda en campos como la ingeniería civil. • Sistemas ZEB / ZEH de uso general (edificios de energía neta cero/ casas de energía neta cero) que se pueden utilizar en $\geq 30\%$ de las nuevas construcciones. • Tecnologías para diagnosticar el estado de deterioro interior de una infraestructura, en tiempo real.
Tecnologías que requieren un rápido desarrollo tecnológico y que tendrán éxito debido a la demanda del mercado.	<ul style="list-style-type: none"> • Tecnologías de almacenamiento a corto plazo para mantener la frescura y calidad de los alimentos frescos sin congelación. • Automatización del montaje in situ mediante unificación de componentes del hormigón en estructuras como puentes. • Tecnologías para agregar valor a los subproductos de la madera (tecnología para reutilizar, refinar, separar y extraer restos madereros y productos no estándares en la tala, y residuos comestibles en líneas de procesamiento).

Tabla 2.2.2 Visión y resultados de la prospectiva tecnológica en Australia
Referencia: Digital Transformation Agency. Australian Government. (2022). <https://www.dta.gov.au/Electronicsforum>

Corea del Sur

Tendencias relevantes en la Visión Futura de Ciencia y Tecnología de Corea del Sur

Desde los años 60 del siglo pasado, las economías del este de Asia han crecido fuertemente, producto de la inversión privada nacional y el rápido crecimiento del capital humano. En particular, el crecimiento de Corea fue de 60% en las décadas de los 60s y 70s y de cerca del 90% en los 80s y 90s, del 70% en la primera década del año 2000, marcado por una eficiente asignación de recursos y cambio en la productividad, compromiso con las exportaciones, elevado nivel de ahorro nacional, fuerte marco político que promovía el crecimiento económico y gran énfasis en la educación (SINGH, 1998; Kennedy, 2003). Como resultado, Corea mostró una expansión industrial y el cambio de una economía agrícola a una economía industrial.

En la década del 2010 Corea presentó un alza del empleo en el sector servicios, disminuyendo en la agricultura y el sector industrial. Sus avances se muestran en el último Índice de Innovación de Bloomberg realizado el año 2021, que considera Investigación y Desarrollo, Manufactura, Compañías de Alta Tecnología, Educación, Investigación y patentes. Corea del Sur se ubica en el primer lugar de ese ranking.

En el año 2019, Corea efectuó un análisis prospectivo en lo político, social, económico, tecnológico y medioambiental (PESTA), basado en la revisión y desarrollo documental de las bases de datos de Human Development Report, Korea Statistical Information Service, The World Bank Group, entre otros. Realizando encuestas de inversiones en industrias, para luego hacer un desarrollo analítico y prospectivo a través de indicadores (PIB, Precios de Consumo, tipo de cambio, indicadores de consumo privado, empleo por ramas de actividad con tendencia al alza, índice de precio al productor, deuda externa y tasas de interés), planteando las tendencias y perspectivas de los desafíos futuros gatillados por las tecnologías de transformación digital (Foresight, 2019):

- **Política:** surgen países que se proyectan en ascenso y países en desarrollo, un aumento en el proteccionismo, conflictos entre grupos étnicos, religiones y países, y una hiperglobalización.
- **Economía:** se produce una disparidad económica, producto de la aparición de Asia en la economía global acompañada de un crecimiento lento de la economía mundial y de un aumento del comercio mundial.
- **Sociedad:** se detectan crecientes amenazas a la seguridad, urbanización, con una baja tasa de natalidad y aumento del envejecimiento de la población. La sociedad se caracteriza por el individualismo, la falta de contacto real, la intensificación de la desigualdad y polarización, apareciendo la sociedad multicultural.
- **Tecnología:** caracterizada por la hiperconectividad y superinteligencia, la propagación de enfermedades infecciosas que conducen a la innovación sanitaria, la alta velocidad del transporte, el desarrollo de nanotecnología, la inteligencia artificial y automatización, y otras.
- **Medio ambiente:** cada vez se produce mayor falta de recursos alimentarios y hídricos, el cambio climático ya es un hecho, se van destruyendo diversos ecosistemas, se va instalando la descarbonización, la electrificación se va haciendo descentralizada, se introduce la economía circular y el desarrollo de energías renovables.

Resultados de la prospectiva tecnológica en Corea del Sur

Corea del Sur potencia el desarrollo de la robótica, y es el país con mayor cantidad de robots industriales por cada 10 mil trabajadores (631 robots). Su apuesta futura es por una robótica orientada a las personas, que les ayude en tareas específicas. La ley de robótica y la creación del Consejo para la Política de Robótica Industrial y el Instituto de Robótica Avanzada KIRIA impulsado por el Ministerio de Comercio, Industria y Energía en el año 2021, cumplirán un rol preponderante en el desarrollo de la robótica, frente al crecimiento de la demanda de las industrias por estas soluciones. Algunos de los resultados de la prospectiva tecnológica son:

- Desarrollo de robots que puedan pensar por sí mismos y desarrollo de inteligencia artificial para ayudar a las personas, como por ejemplo en el rescate de personas.
- Los robots se crearán en un medio amigable para los humanos contribuyendo a su bienestar.
- El Ministerio de Ciencia y TIC de Corea del Sur tiene como prioridad desarrollar nuevas tecnologías enfocadas en los negocios, que incorporen las redes 5G:
- Lanzar anticipadamente la primera red nacional de telefonía móvil de quinta generación 5G, por tres grandes operadores KT, SK Telecom y LG UPlus.
- Cobertura de redes 5G en 85 ciudades a lo largo del país, y planea que los operadores de telecomunicaciones compartan sus redes 5G en pueblos costeros y agrícolas remotos para alcanzar la cobertura a nivel nacional.
- Desarrollo de productos como vehículos de conducción autónoma e infraestructura apropiada para soportarlos.
- Desarrollo de servicios de realidad virtual (RV) y realidad aumentada (RA), como una medida para impulsar el uso de la red de última generación en el país.

En el ámbito de ciudades del futuro, Corea del Sur desarrollará el concepto de ciudades inteligentes, partiendo desde cero. Su primera ciudad es Songdo, ubicada a 65 kms. de Seúl, que se construye provista de rascacielos y viviendas tradicionales (hanoks) en un terreno ganado al mar, inspirada en Nueva York y los canales venecianos. El Plan Maestro Digital de e-government, proyectado inicialmente al año 2025 considera:

- Soberanía en 35 tipos de datos personales.
- Servicio de Asistencia Virtual, con información administrativa personalizada.
- Plan “Subvención 24”. Creación de sitio único dotado de acceso para recibir más de seis mil beneficios públicos.
- Licencia de conducir móvil digital.
- Notificación georreferenciada de disponibilidad de mascarillas.
- Servicio de protección y seguridad de auto cuarentena y seguimiento remoto.
- Implementación de Escuela en Línea con clases regulares y a distancia.

En el ámbito espacial, Corea del Sur lanzará su primer orbitador lunar KPLO con la colaboración de NASA, USA.

Análisis de los casos de países considerados

Finlandia ha liderado en innovación y diseño a nivel mundial, utilizando tecnologías disruptivas como habilitadoras de la transformación digital, en ámbitos tan relevantes como el transporte, el diseño industrial, la genómica, la agricultura, la pesca, la alimentación y la biotecnología. También en la producción de energía limpia, la creación de infraestructuras de ciudades y de transporte sostenible, que permitan mejorar las condiciones de vida de sus comunidades locales y ciudadanos. El medioambiente, los recursos naturales y la energía los ha impulsado al desarrollo de un modelo de economía circular. También, han desarrollado un modelo de gobernanza y mecanismos de gobernanza anticipatoria innovativa, balanceando la anticipación con la adaptación.

Finlandia muestra resultados de su prospectiva en una variedad de ámbitos, convirtiendo a su región en un eje estratégico para el crecimiento de sus empresas, potenciando la demanda en el mercado laboral y generando oportunidades de alianzas internacionales.

Por su parte, las Tecnologías de Información, la analítica y los servicios están permitiendo el desarrollo de una infraestructura digital de calidad, destacando también los resultados en las aplicaciones industriales, de negocios y económicas.

En particular, la colaboración entre el gobierno, las universidades, las ‘startups’ y las empresas ya establecidas, ha sido una de las claves para situar a Finlandia en la vanguardia tecnológica. Su plan de formación continua en inteligencia artificial para el 20% de su población parece notable.

Australia, por su parte, manifiesta el acercamiento a la Industria 4.0 a través de alianzas internacionales (Alemania, Nueva Zelanda); involucramiento del gobierno en el fortalecimiento de centros e instituciones que promueven las actividades de transformación digital e industria 4.0; creación de una Agencia de Transformación Digital; desarrollo de iniciativas de trabajo colaborativo entre centros, empresas y universidades. Se ha propuesto iniciativas interesantes tales como la reutilización de las capacidades digitales y de las TIC, con estándares digitales; la identidad digital para sus ciudadanos y el fortalecimiento de las TI gubernamentales.

La Visión futura de ciencia y tecnología de la Sociedad Coreana se realiza a través de un análisis PESTA (Político, Económico, Social, Tecnológico, Ambiental), que identifica los desafíos futuros inducidos por las tecnologías de transformación digital. Los factores políticos y económicos prevén a Asia en la economía global y ciertos conflictos de diversa índole; la tecnología se caracteriza por la hiperconectividad y superinteligencia, impactando los diferentes sectores de actividad; el medioambiente propicia el desarrollo de la economía circular y de energías renovables, así como el diseño de ciudades inteligentes.

El ejercicio de prospectiva de CPI del Instituto de Ingenieros se hace cargo de la riqueza de las visiones de los diferentes países, sus instituciones y empresas, explorando aspectos relevantes tales como nuevos productos, servicios, modelos de negocios y patrones de vida y trabajo, que son habilitados por las tecnologías de apoyo a la transformación digital y la industria 4.0.

2.3. Antecedentes chilenos

Chile ha venido desarrollando visiones de futuro en diferentes sectores del quehacer nacional, tal como se propone en múltiples estudios y proposiciones. El Instituto de Ingenieros de Chile, conociendo y apreciando estos planteamientos, que representan perspectivas asociadas a propósitos específicos en los diferentes sectores de actividad, propone un enfoque amplio desde el punto de vista del aporte que la ingeniería puede realizar (y su articulación con los propósitos de cada sector). El rol de la ingeniería en la renovación del quehacer nacional debe estar a la altura del potencial de valor que entrega la prospectiva.

Síntesis de planteamientos de diversos estudios

El documento “Estrategia Chile 2030” (Aceituno et al., 2017), recoge las opiniones de 22 especialistas con respecto a cómo enfocar el desarrollo de Chile en sectores tan diversos como energía, medio ambiente, estrategia digital, minería, infraestructura, defensa, etc., tanto desde el punto de vista técnico propio de cada sector, como desde el punto de vista de la institucionalidad necesaria.

El documento parte de dos premisas: 1) Chile está inserto en procesos de globalización —se identifican 5 grandes tendencias, desde evolución demográfica hasta gobernabilidad, y además se observa un desplazamiento del poder económico y político de occidente a oriente—; y 2) nuestro futuro se sostendrá principalmente en ocho sectores: minería, agricultura, acuicultura, silvicultura, turismo de intereses especiales, logística, astronomía, y Antártica. Uno de los sectores analizados es la estrategia digital, tanto desde el punto de vista de infraestructura digital y acceso a internet, como de la institucionalidad. La conclusión global más importante es que hay un rezago institucional para enfrentar los desafíos identificados.

Por su parte, la “Propuesta de Estrategia para la Transformación Digital de Chile”, del Consejo de Políticas de Infraestructura (2018), es enfático en concluir la importancia de “[...] una institucionalidad con autoridad y presupuesto que lidere el Plan Nacional de Desarrollo Digital, del más alto nivel, liderada por la Presidencia de la República, como parte esencial de un plan estratégico que, además, incluya aspectos como logística, infraestructura vial, puertos, etc.”; además insiste en que el legado del plan debe quedar “[...] en manos del siguiente Gobierno, pensado en el largo plazo, [ya que] ninguna administración logrará en cuatro años ejecutar a carta cabal una estrategia de las características descritas”.

Para lograr caminar en la dirección sugerida, el documento propone un plan de acción para las políticas públicas en TIC, “[...] que contribuya al desarrollo económico, social y político de la nación, y elevar la calidad de vida de los chilenos”. Este plan se enfoca en cuatro “pilares”: I+D+i, conectividad, capital humano, e institucionalidad; y aborda los desafíos y oportunidades de la economía digital, la conectividad digital, y la formación de personas.

Con anterioridad, la Agenda Digital 2020 del Gobierno de Chile (2015), definida como “una hoja de ruta para avanzar hacia un desarrollo digital del país, de manera inclusiva y sostenible a través de las Tecnologías de la información y la Comunicación [...]” —uno de cuyos propósitos es que el uso masivo de las TIC sea un medio para reducir desigualdades, abrir oportunidades de desarrollo, y contribuir al respeto de los derechos de chilenos y chilenas— propone un total de 60 (hoy, 63) medidas concretas en los ámbitos de derecho, conectividad, gobierno, economía, y competencias. En cada uno de estos ámbitos se hace un diagnóstico de la situación actual, se identifican desafíos y metas, y se definen líneas de acción, 13 en total, las que se enumeran a continuación (agrupadas por ámbito):

Derechos para el Desarrollo Digital	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar un marco normativo para el entorno digital. • Trabajar en el pleno respeto de los derechos fundamentales en el desarrollo digital.
Conectividad Digital	<ul style="list-style-type: none"> • Masificar el acceso digital de calidad para todas y todos. • Mejorar las condiciones habilitantes para un servicio de conectividad de mayor calidad.
Gobierno Digital	<ul style="list-style-type: none"> • Masificar el uso de los servicios en línea del Estado y garantizar su calidad. • Apoyar las políticas sectoriales del Estado, mediante el uso de la tecnología. • Fortalecer un Estado abierto y transparente. • Promover un Estado más dinámico e innovador.
Economía Digital	<ul style="list-style-type: none"> • Transformar la empresa digitalmente. • Impulsar el crecimiento del sector TIC. • Promover el emprendimiento y la innovación digital.
Competencias Digitales	<ul style="list-style-type: none"> • Mejorar la calidad de la educación mediante tecnologías digitales. • Abrir oportunidades laborales en la era digital.

Por su parte, la ACTI (Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información), en el Capítulo V de su Memoria 2020, la más reciente publicada⁴¹ explica que concluyó su Jornada de Planificación Estratégica haciendo un diagnóstico de la situación actual en 5 ámbitos y proponiendo varios desafíos estratégicos en cada uno; los ámbitos y sus respectivos desafíos son los siguientes:

Desafío	Medioambiente y sustentabilidad de los negocios en la Sociedad	<ul style="list-style-type: none"> • Definición compartida y aceptada de sustentabilidad. • 100% socios ACTI implementen y promuevan modelos de negocios sustentables. • Reducir huella de carbono o reducir emisiones de CO2 o alcanzar huella de carbono cero o compensación económica.
Desafío	Marco ético y legal en un mundo cambiante	<ul style="list-style-type: none"> • Definir áreas de riesgo y oportunidad regulatoria. • Existencia de estándares éticos. • ACTI como 1er filtro de intervención regulatoria. • Rol de ACTI en anticiparse al discurso público • Rol de ACTI como referente a nivel chileno y latinoamericano.
Desafío	Poner a la persona al centro de la tecnología para su bienestar	<ul style="list-style-type: none"> • Difundir y educar en el impacto positivo y beneficios de la tecnología en el cliente.
Desafío	Aporte de la industria tecnológica a la visión país de largo plazo	<ul style="list-style-type: none"> • ACTI sea visto como un referente, como un centro de pensamiento. • Ser un policy maker y donde toda ley/regulación tenga una position partner de ACTI. • ACTI debe tener una visión de desarrollo país, donde sea más proactivo con temas contingentes. • La Constitución favorezca la Transformación Digital y la Innovación.
Desafío	Talento Digital cambio de <i>mindset</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Planificación estratégica en la generación de capacidades a partir de la demanda TI. • Convocar a la academia para generar nuevos planes formativos y poder desarrollarse con nuevas capacidades. • Generar información real del déficit de profesionales TI.

⁴¹ <https://acti.cl/quienes-somos/memorias-acti>

Síntesis de compromisos internacionales de Chile que orientan su evolución futura

En marzo 2015 Chile adhirió a la Agenda 2030 de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas. Como consecuencia, el Consejo Nacional para la Implementación de la Agenda 2030 elaboró una “Estrategia de Implementación de la Agenda 2030 en Chile”, que fue presentada en 2020. Esta estrategia se basa en dos pilares —a) crecimiento sostenible y cambio climático, y b) las personas al centro del desarrollo— que en conjunto incluyen 8 líneas de acción; además, el informe incorpora un grupo de indicadores para visibilizar logros y brechas en la implementación de la Agenda 2030. La buena noticia es que Chile lidera el Índice ODS 2019, del Centro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (CODS) para América Latina y el Caribe (33 países). En particular, Chile es el país de la región que presenta mayores avances en reducción de la pobreza (ODS 1), en garantizar educación de calidad (ODS 4), agua y saneamiento (ODS 6); en fortalecer la industria, la innovación y la infraestructura (ODS 9); en la producción y consumo responsable (ODS 12), en la vida submarina (ODS 14); y en el trabajo por la justicia, la paz e instituciones sólidas (ODS 16).

En la misma línea, la joven chilena Valentina Muñoz Rabanal, que participó en la redacción de la primera política de Inteligencia artificial en Chile, es una de las nuevas defensoras de los ODS, nombrada recientemente por el Secretario General de las Naciones Unidas. Uno de los objetivos de Valentina es ser la voz de los jóvenes, especialmente de las niñas, para mejorar el diálogo intergeneracional en los lugares de toma de decisiones y sentar las bases para establecer los derechos digitales en todo el mundo.

Por otra parte, Chile tiene 11 años de participación en la OCDE. En el ámbito de la educación superior, Chile participa en el Working Group on Higher Education (a través de la Subsecretaría de Educación Superior). En cuanto a índices, en el período 2013-2017/2018, la tasa de entrada a la educación superior aumentó en 4% y aumentó el gasto en educación superior como porcentaje del PIB. Sin embargo, en la prueba PISA, aplicada cada tres años, Chile está consistentemente bajo el promedio en ciencias, lenguaje y matemáticas a nivel mundial.

Siguiendo con los índices según la OCDE, pero en el ámbito de CTI y transformación digital, la proporción de usuarios de Internet en Chile es similar al promedio de la OCDE (88%); pero aún estamos bajos en penetración de banda ancha fija y conexión de alta velocidad (54% en Chile versus 89% promedio OCDE). Y, si bien casi el 100% del territorio está cubierto, el gran desafío es reducir la brecha en el despliegue entre áreas urbanas y rurales. En este sentido, se espera que la introducción de la telefonía móvil 5G sea un avance, con aplicaciones para fortalecer sectores productivos.

Síntesis de algunas iniciativas relevantes del país proyectadas al 2030

La “Política Nacional de Inteligencia artificial”, del Ministerio CTCI (2020), tiene como objetivo insertar a Chile en la vanguardia y colaboración global relacionada con IA. Para ello, la política se basa en cuatro principios transversales —relativos al bienestar de las personas, los derechos humanos, y el desarrollo sostenible— y está organizada en torno a tres “ejes”: a) los factores habilitantes para el desarrollo de esta área de la ciencia/tecnología computacional; b) el propio desarrollo y la adopción de la IA, que incluye la generación, provisión y demanda de las aplicaciones y técnicas de la IA; y c) los aspectos éticos y los impactos socioeconómicos a los que da lugar la adopción de la IA por la sociedad. Finalmente, en cada eje se hace un análisis del estado actual y se proponen 28 objetivos.

Los objetivos propuestos están relacionados, en primer lugar, con la formación de personas tanto a nivel escolar como universitario en los diversos aspectos de la IA, y tanto a nivel de “alfabetización”, como a nivel de formación de especialistas que permitan convertir a Chile en un “hub” internacional a la vanguardia en IA, con capacidades de conectividad, almacenamiento y procesamiento de primer nivel, incluyendo una agenda de datos de interés público. Los objetivos también apuntan a potenciar la I+D+i en IA en Chile, impulsando la colaboración entre el Estado, la academia y el sector productivo y, a partir de ahí, impulsando la productividad económica. En ámbitos específicos de aplicación, se propone la adopción de la IA tanto para apoyar la modernización del Estado, como para mitigar el cambio climático. Finalmente, todo esto debe tener lugar respetando los derechos fundamentales de las personas y las comunidades, y, más allá, cuidando especialmente las posibilidades de trabajo de las personas.

Por otra parte, el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo (CTCI), del mismo Ministerio de CTCI, en su documento “Base para la Estrategia Nacional CTCI 2021,” (Ministerio de CTCI, 2021), en que la base es considerada como una etapa previa a la Estrategia misma (aún no publicada o disponible), propone la incorporación de Chile a la sociedad del conocimiento a través del fortalecimiento de un ecosistema de CTCI. Este ecosistema debe darse a partir de una visión estratégica construida sobre la base del desarrollo sustentable, de un compromiso con la equidad, inclusión y dignidad, y de la convicción de que el crecimiento del país debe ser condicionado a estos elementos.

Este documento concluye planteando una doble disyuntiva a nivel país en cuanto a posibilidades de inversiones en ciencia y tecnología: urgencia versus mediano plazo, y selectividad versus ensayo y error; así como desafíos de futuro: desafíos societarios y desafíos país.

En otro sector, en el caso particular de la minería, el documento “Roadmap: Digitalización para una minería 4.0”, busca identificar ámbitos donde las nuevas tecnologías pueden agregar más valor en los próximos 15 años (a partir de 2020) para orientar la implementación de tecnologías digitales por parte de la industria. El documento identifica múltiples desafíos —principalmente de corto o mediano plazo y agrupados en núcleos— y para cada uno propone varias soluciones. Los núcleos llamados traccionantes (desafíos tecnológicos cruciales para la evolución de la industria) son la minería integrada e inteligente, la minería verde, y la minería segura; mientras que los núcleos habilitantes (dimensiones que condicionan la capacidad de la industria para desarrollarse) son la digitalización, la ciberseguridad, el desarrollo del capital humano, y la licencia social y política para innovar.

Desde este último punto de vista, algunos de los desafíos inmediatos identificados son conocer el nivel de madurez de la digitalización en la minería chilena; proteger la información, tecnología y sistemas de los ciberataques de diversos orígenes⁴²; definir las “competencias 4.0” para la capacitación de la fuerza de trabajo; atraer y retener talentos para la industria minera 4.0; y asegurar un marco regulatorio de políticas públicas que habiliten las tecnologías 4.0. Entre las soluciones propuestas están relevar la experiencia internacional en términos de digitalización, implementar sistemas de alerta, contención y mitigación por ataques, alinear las mallas curriculares con los requerimientos de la minería 4.0, reverse mentoring, y anticipar requerimientos especiales de futuros trabajos y prácticas laborales.

Análisis crítico respecto de los antecedentes chilenos consultados

El presente documento, una prospectiva desarrollada por el Instituto de Ingenieros, propone escenarios concretos que son posibles en 2030 —tanto en el caso de cambios sólo evolutivos de aquí al 2030, como en el caso de cambios más bien disruptivos. Estos escenarios son propuestos dentro de un cierto número de los sectores identificados en la “Estrategia Chile 2030”, cuando estos sectores son apoyados, habilitados y/o impulsados por las TICs, la transformación digital y la industria 4.0.

Esta prospectiva también explica cómo estos cambios están alineados con los ODS de la ONU. En este sentido, este documento se puede considerar como el resultado de combinar los objetivos propuestos en la “Estrategia Chile 2030” con aquellos abordados en la “Propuesta de Estrategia para la Transformación Digital de Chile” y en la “Política Nacional de IA”. En esta mirada, el logro de los objetivos propuestos en estos dos últimos documentos puede ser considerados como habilitadores de los objetivos propuestos en el primero.

Sin embargo, el presente documento va más allá, porque está centrado en diseñar y analizar escenarios futuros, sugiriendo y ejemplificando cambios concretos que podrían ocurrir en Chile, en los distintos sectores abordados, si primero alcanzamos tales objetivos. Estos cambios representan oportunidades de desarrollo específicas en cada sector y del país en su conjunto.

3

ESCENARIO I 2030

3.1 Introducción

El escenario I se caracteriza por la aceleración del desarrollo y uso de tecnologías TD+I 4.0, su mejor aprovechamiento con modelos de negocios y políticas públicas aptas para ello.

En las secciones de este capítulo se presentan las perspectivas para los diversos sectores / ámbitos seleccionados para el escenario I. Cada una de ellas ha sido elaborada por un autor miembro de la CPI, revisado por el Comité Editorial y otros miembros.

Recuadro 3.1 Sector/Ámbito y responsables.

Séctor/Ámbito	Responsable(s)
Educación en Ingeniería	Felisa Córdova/ Yadrán Eterovic
Energía	Cristian Hermansen
Minería	Javier Ruiz del Solar
Transporte	José Orlandini
Agroindustria y alimentos	Víctor Grimblatt
Manufactura	Jorge Yutronic
Economía digital	Thierry De Saint Pierre
Infraestructura Digital	Paola Arellano/ Raúl Ciudad
Salud	Juan Carlos Barros
Ciudades sísmicamente resilientes	Rodolfo Saragoni
Ciudades inteligentes	Javier Ruiz del Solar
Estado digital	Raúl Ciudad/Sergio Bitar

Los Sectores / Ámbitos han sido seleccionados considerando tres factores: su importancia para el país, para la ingeniería, los impactos actuales y potenciales de TD+I 4.0 en ellos.

Las perspectivas se han hecho usando como guía común el *framework* presentado en el Anexo A. No obstante, cada autor ha redactado con su propio estilo para facilitar que las ideas sean bien expresadas.

En las secciones 3.1 a 3.13 se puede apreciar tanto los elementos comunes como los diferentes entre los respectivos sectores / ámbitos. Todos ellos expresan un potencial relevante de desarrollo del país y de los actores correspondientes (personas, empresas, instituciones, organismos públicos y otros).

En el capítulo 4 sobre el Escenario 2, el potencial de desarrollo se proyecta aún más.

En el capítulo 5, a modo de resultados y conclusiones, se presenta un conjunto de oportunidades valiosas para los actores a partir de la prospectiva.

⁴² Desafío que, a raíz de la situación reciente de ciberataques, ha adquirido un carácter de urgente.

3.2 Educación en Ingeniería

Antecedentes

La ingeniería producirá un amplio impacto en la satisfacción de las necesidades del ser humano y la sociedad, profundizando las actividades científicas, tecnológicas y de innovación, en un contexto económico, social y cultural. El informe *Engineering and Economic Growth: a global view* (Royal Academy of Engineering, 2016), asigna a Chile un *engineering index* (EI) de 40%, y muestra que un aumento de un punto porcentual en este índice está correlacionado con un aumento de 0.85% en el GDP per cápita; como comparación, un 1% de aumento en la inversión en capital humano está asociado con un aumento de casi un 1% en el GDP per cápita. El índice de Chile es similar a otros países de la región, tales como México, Colombia y Argentina. Por otra parte, un índice de 50% es el caso de países tales como España, Portugal y Sudáfrica; y un índice de 60% es el caso de Estados Unidos, Francia y Singapur. Asimismo, el informe *Engineering for Sustainable Development*, del International Centre for Education, señala que la ingeniería jugará un rol vital en las necesidades básicas del ser humano, mejorando la calidad de vida y creando oportunidades para el crecimiento sustentable en los niveles locales, regionales, nacionales y globales (UNESCO ICEE, 2021).

El sector Educación Superior en Ingeniería se verá impactado favorablemente por las tecnologías y modelos de negocios existentes a nivel internacional, que serán optimizados y acelerados tanto en el ámbito de la formación de ingenieros/as, ejercicio de la profesión e innovación y desarrollo tecnológico. Las tecnologías digitales tendrán un rol protagónico en la formación de ingenieros/as, en particular, la inteligencia artificial y el aprendizaje de máquinas revolucionarán los métodos y técnicas de aprendizaje (European Commission, 2020). Los nuevos métodos pedagógicos en la enseñanza de la ingeniería entregarán educación y aprendizaje continuo para toda la vida.

Por su parte, las empresas tecnológicas están apoyando los procesos educativos universitarios, con lo cual, van a mejorar las posibilidades de acceso a la educación superior, aumentando significativamente el número de estudiantes de ingeniería. El desarrollo de la ingeniería en áreas de relevancia nacional propiciará un fuerte cambio en la formación de ingenieros/as. La investigación y desarrollo será un factor determinante en el desarrollo de productos, servicios y soluciones exportables.

Las cinco principales tendencias tecnológicas emergentes destacadas en (Gartner, 2020), que impulsarán la innovación tecnológica para la próxima década son: a) las tecnologías de distanciamiento físico y de acercamiento social, que se van integrando cada vez más con las personas para crear nuevas oportunidades para las representaciones digitales de nosotros mismos; b) las arquitecturas compuestas (composable) construidas sobre una estructura de datos flexible, donde la inteligencia incorporada está descentralizada y se extiende hacia los dispositivos periféricos y el usuario final; c) el diseño asistido por Inteligencia artificial, basadas en modelos de IA que pueden evolucionar dinámicamente para adaptarse con el tiempo en la resolución de problemas complejos; d) los modelos de confianza algorítmica, que garantizan la privacidad y seguridad de los datos, la fuente de los activos y la identidad de las personas y las cosas; y, e) los sensores biodegradables que crean oportunidades innovadoras en la industria de las TI.

Estas tecnologías emergentes son disruptivas por naturaleza, alcanzando la meseta de productividad en más de cinco años y la ventaja competitiva que brindan aún no es bien conocida o probada en el mercado.

Las tecnologías digitales tendrán un rol protagónico en la formación de ingenieros/as. El uso masivo de plataformas digitales y sistemas abiertos (open source) permitirán cambios no sólo en la enseñanza-aprendizaje (Breslow, 2016 a, b), sino también en la práctica de la ingeniería (Eurofound, 2018; WEF, 2018). Por supuesto, estos cambios sólo serán posibles gracias a que se garantizará una conectividad digital de alta calidad para el 100% de la población estudiantil y del personal de la educación

superior; es decir, gracias a que disminuirá significativamente la brecha digital entre ciudades y zonas rurales, todo ello a base de las tecnologías 5G y 6G (Afolabi et al., 2018; Deloitte (2019).

En particular, la inteligencia artificial y el aprendizaje en máquinas (machine learning) revolucionarán los métodos y técnicas de aprendizaje, proporcionando tutores virtuales inteligentes y empáticos, para colaborar en el aprendizaje del estudiante, todo esto, acompañado de sistemas y personajes holográficos que acompañarán al estudiante en su tránsito por la ejercitación de materias de interés. En ese contexto, el profesor se integrará al sistema de herramientas colaborativas inteligentes, como un actor más del proceso de enseñanza-aprendizaje, que se comunicará en diferentes idiomas con profesores reales, virtuales y a distancia, ya sea por imágenes holográficas en el escenario del receptor o avatar en el computador (Jang, 2021).

Los desafíos impuestos a la educación por el ritmo acelerado del desarrollo científico y tecnológico serán abordados por las IESs, tanto por la vía de flexibilizar su organización y agilizar sus procesos, como formando alianzas con empresas, institutos de investigación, y organizaciones públicas y privadas.

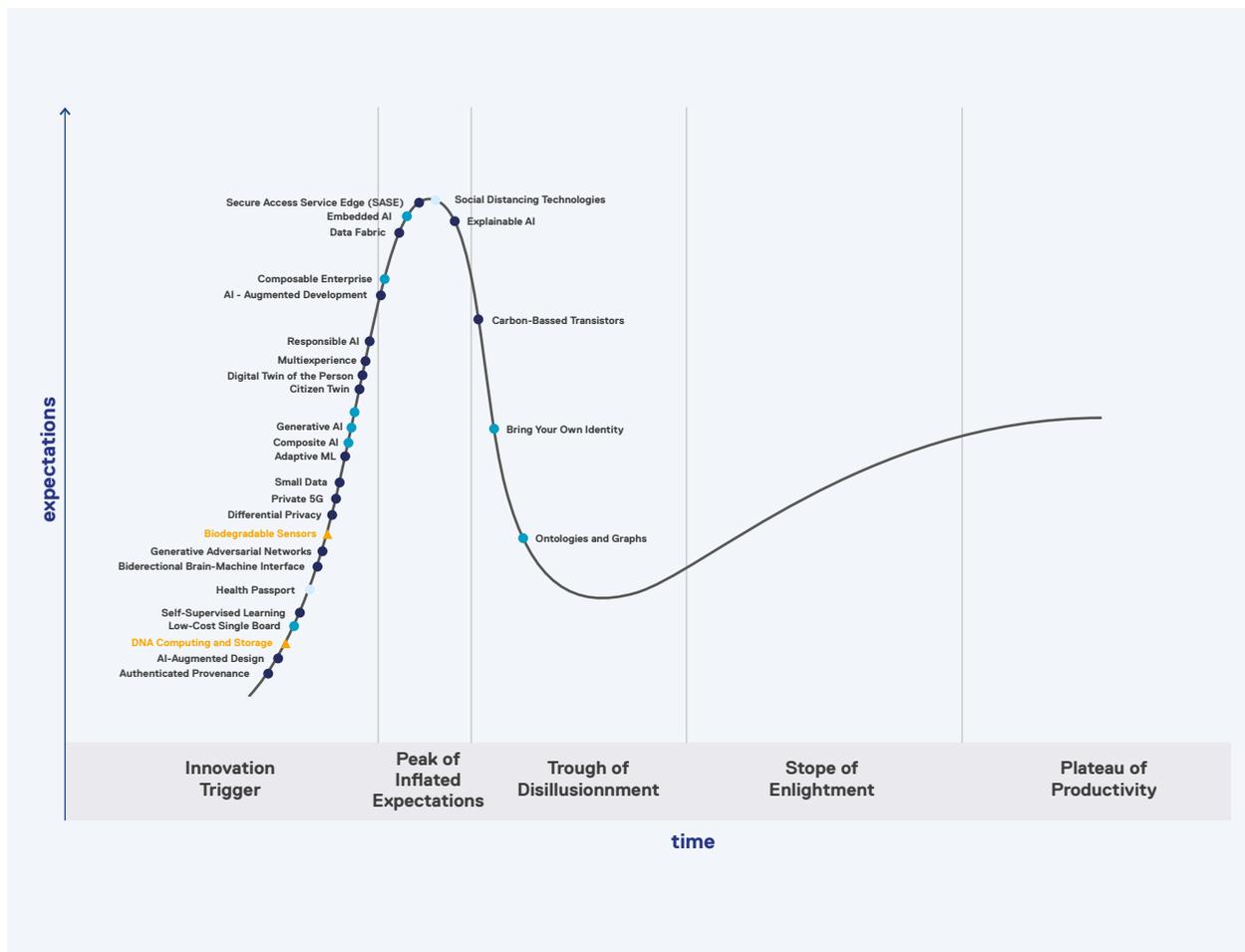


Figura 3.2.1. Hype Ciclo para Tecnologías Emergentes
Fuente: Gartner (August 2020)

El Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2020 analizó el impacto del COVID-19 en cada ODS y reveló que la mitad de la fuerza laboral mundial se ha visto gravemente afectada. En ese contexto, la comunidad de la ingeniería, guiada por la Agenda 2030 para la Sostenibilidad, tiene una clara comprensión de sus funciones y responsabilidades para el logro de los ODS y busca promover un futuro sostenible para la humanidad, incorporando las prácticas de la ingeniería que crean un ambiente más sostenible, innovador, inclusivo, y respetuoso con el medio ambiente (Naciones Unidas, 2020).

■ Visión 2030

La universidad, como actor reconocido, propiciará un entorno colaborativo entre el sector privado, institucional, gobierno y ciudadanía, y contribuirá así a un cambio cultural en nuestra sociedad. En particular, las escuelas de ingeniería tendrán un rol más protagónico en el quehacer nacional, aportando más innovación, mejores decisiones, mayor aprovechamiento de oportunidades y mejor capacidad de reacción ante adversidades.

Los nuevos métodos pedagógicos en la enseñanza de la ingeniería entregarán educación con significado y aprendizaje continuo para toda la vida. Las escuelas de ingeniería se harán cargo de la “educación para toda la vida” de sus titulados/as, ofreciendo, además de las licenciaturas y títulos profesionales, certificaciones, postítulos, diplomados y postgrados acordes a las necesidades cambiantes de formación de profesionales en las empresas (CDIO, 2021).

Las IESs se van a volver más flexibles y ágiles, con el uso de learning analytics y data science para tomar mejores decisiones educativas. La calidad será el criterio fundamental que guiará a las IES.

■ Prospectivas 2030

Las empresas tecnológicas están apoyando a los procesos educativos universitarios

La existencia actual de aulas con tecnología digital embebida, por un lado, y, por otro, el hecho que las empresas internacionales más relevantes —por ejemplo, CISCO, Microsoft, SAP, PMI— ofrezcan certificaciones en tecnologías específicas, directamente o a través de las universidades, va a dar paso a una colaboración mucho más estrecha entre universidades y empresas tecnológicas: realización de convenios con empresas especialistas en tecnología de apoyo a procesos educativos a distancia; y fomentar que los estudiantes desarrollen sus actividades de titulación y tesis de postgrado trabajando en problemas de las empresas y que los profesores puedan hacer sus períodos sabáticos en las empresas. Esta colaboración se da y seguirá dándose en el contexto de programas que acercan los sectores productivo y público a las universidades.

Van a mejorar las posibilidades de acceso a la educación superior y a los estudios de ingeniería, aumentando significativamente el número de estudiantes de ingeniería

Las carreras harán uso de plataformas virtuales, intuitivas e inteligentes, de última generación, adaptadas al estudiante nativo digital. La educación a distancia y virtual tendrá un alto porcentaje de participación y las carreras de ingeniería ampliarán su matrícula en modalidad a distancia, pero se conservará la “experiencia universitaria” (Mazur 2019; Lewis, 2019).

Ya existe un uso inteligente de la tecnología como complemento en el proceso educativo, que se demuestra en el gran aumento de cursos tipo MOOC y de programas —tales como diplomados y magísteres profesionales— construidos a partir de este tipo de cursos. Las tecnologías Web y móvil se aplican para impartir clases y desarrollar otras actividades educativas sin requerir la presencia física y simultánea de profesores y estudiantes en una misma sala de clases.

Otra manifestación de esto son los tutores inteligentes —sistemas computacionales que ofrecen instrucción personalizada y retroalimentación a sus usuarios, empleando la inteligencia artificial y sin un profesor humano— que ya han demostrado su eficacia en ayudar a enseñar temas como álgebra y gramática. En este contexto, las plataformas digitales serán cada vez más un instrumento cotidiano de acceso a los contenidos educativos y a los objetos de aprendizaje (Schoeder, 2022; Balwin et al., 2019).

El continuo progreso de estas tecnologías va a permitir una experiencia educacional “casi” presencial para aquellos que participen remotamente, tanto en cátedras, como en laboratorios, lo que va a favorecer la aparición de programas mixtos, con una parte presencial y otra remota; y, si bien la colaboración entre universidades es de larga data, la tecnología va a simplificar el proceso y mejorar su impacto, aumentando la oferta de programas de postgrado no presenciales impartidos por dos o más universidades de países distintos. Esto implica que va a aumentar el reconocimiento del rol cada vez más relevante que ha tomado la docencia en estas carreras. Algunas de las tecnologías de apoyo, tal como la realidad aumentada, ya salieron del peak de expectativas y prometen un crecimiento, madurez y adopción institucional al 2030, tal como se ejemplifica en el Caso 1.

El uso de learning analytics y data science permite tomar mejores decisiones educativas

El Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación acaba de poner en marcha la plataforma “Observa” (MinCTCI, 2022), la cual alberga datos, información y estudios, y contará con bases de datos y buscadores de proyectos financiados por el Estado. Este ejemplo apunta a que el uso de técnicas tales como learning analytics y data science permitan una mayor coordinación entre universidades e instituciones gubernamentales con el propósito de promover y facilitar acciones tan diversas como, por ejemplo, la movilidad académica y estudiantil, el desarrollo de investigación en problemas nacionales, y la creación de observatorios de necesidades de educación en ingeniería (y posiblemente en otras áreas) y sus impactos transformacionales, lo que a su vez permitirá a las empresas e institutos profesionales crear en conjunto centros de formación técnica de alto nivel.

Las IESs se van a volver más flexibles y ágiles

Las instituciones de educación superior harán uso, cada vez más intensivamente, de la automatización para que su organización administrativa sea más flexible y sus procedimientos sean más ágiles, de modo de poder reaccionar más rápidamente a los cambios que están teniendo lugar y aprovechar mejor las oportunidades que se están presentando. Esto propiciará la flexibilidad y modularización curricular, así como la actualización ágil de contenidos. A su vez, los sistemas administrativos se verán fuertemente impactados por el big data, la simulación, los sistemas en la nube (cloud systems) y los sistemas basados en blockchain, permitiendo la digitalización completa de datos, del manejo de información de credenciales, así como del conocimiento y las competencias que posee la comunidad de educación superior (Eurostat, 2014).

El desarrollo de la ingeniería en áreas de relevancia nacional propiciará un fuerte cambio en la formación de ingenieros/as

El desarrollo de la ingeniería moderna requiere un conocimiento acabado de las nuevas tecnologías y de cómo éstas pueden impactar positivamente a otras disciplinas. Esto, exige a su vez, preparar expertos/as con formación distinta a las ingenierías tradicionales. Las facultades de ingeniería ya han incorporado en sus currículos competencias en los ámbitos de la innovación, emprendimiento y liderazgo (Autio et al.; Eurostat, 2018) y están ofreciendo carreras y programas de postgrado y educación continua hasta hace poco ausentes (al menos, en Chile); por ejemplo, licenciatura en ciencia de datos e ingeniería biomédica, tal como se presenta en el caso 2; magíster profesional en inteligencia artificial, magíster on-line en analítica de datos para negocios, diplomado en técnicas de big data para machine learning, etc. A nivel de pregrado, además, las escuelas de ingeniería están ofreciendo minors

en áreas interdisciplinarias. Un cambio importante es el aumento sostenido de programas de diplomado dirigidos a profesionales que quieren profundizar o actualizar sus conocimientos en temas específicos, o incluso reorientar su carrera profesional.

En un país que se vuelve más “tecnológico” en su infraestructura, procesos productivos y oferta de servicios, aumentará significativamente la importancia del ejercicio de la profesión de ingeniero/a. Esta mayor oferta de temas y disciplinas se combina con una mayor variedad en la modalidad de enseñanza (presencial, on-line, mixta), con la posibilidad de programas conjuntos entre dos o más IESs, y seguramente con un acortamiento de la duración, comparativamente larga, de las carreras de ingeniería en Chile. Los desafíos que la propia tecnología presenta en este ámbito tendrán un impacto adicional en la formación ética de los ingenieros/as.

La calidad será el criterio fundamental que guiará a las IES

La aparición de nuevos programas de pregrado y postgrado, incluyendo la interdisciplina, va a acentuar la necesidad de acreditación con estándares internacionales, lo que a su vez va a demandar una actualización de la definición y significado de la profesión de ingeniero/a de parte de las correspondientes sociedades profesionales del país. Así, y coherentemente con las posibilidades cada vez crecientes de desempeñar la profesión en el extranjero, la acreditación con validez internacional será una realidad y crecerá rápidamente (International Engineering Alliance IEA, 2021). Se masificarán los/las profesores/as globales, entregando sus servicios docentes de alta calidad a nivel internacional y los estudiantes tendrán acceso directo a contenidos internacionales.

En paralelo, la universidad colaborará con la educación escolar aportando al mejoramiento de la calidad de la educación básica y media. Las facultades de ingeniería aportarán a la formación de profesores/as en las áreas STEM, por ejemplo, en cuanto a la comprensión y capacidad de uso profesional de las nuevas tecnologías y a la incorporación de mujeres al estudio superior de ingeniería (Gillen et al., Brussevich et al.; 2019).

La investigación y desarrollo será un factor determinante en el desarrollo de productos, servicios y soluciones exportables

La investigación y desarrollo realizada en las escuelas de ingeniería será un factor determinante para la innovación tecnológica de la mayoría de las empresas e instituciones a nivel nacional. La educación en ingeniería aportará valor agregado en innovación e investigación aplicada en productos y servicios exportables, y capacidad de resiliencia de infraestructura del país. Esto irá acompañado de un cambio de la orientación del financiamiento de la investigación en ingeniería hacia grandes problemas de la realidad nacional. Aumentará el número de doctorados en ingeniería participando en diferentes industrias, produciendo innovaciones en los sectores productivos como se ha ejemplificado en los Casos 3 a y b.

Un número mayor de mujeres participará activamente en procesos y prácticas de ingeniería

Con respecto a la igualdad de género, se harán esfuerzos a todo nivel, desde la educación primaria y hasta los procesos de selección universitaria, para aumentar de forma importante la participación de mujeres, y de mujeres enseñando a mujeres, en las carreras de ingeniería. En la actualidad, menos de un 30% de las personas tituladas de carreras de ingeniería son mujeres (Royal Academy of Engineering RAE, 2016).

Las facultades de ingeniería y de ciencias, serán garantes del acceso de las mujeres a la tecnología y la ingeniería cerrará muchas brechas de género, logrando que las mujeres se beneficien de la revolución tecnológica y participen en ella, asumiendo posiciones de liderazgo en empresas e instituciones. Como ejemplos, destacan los programas de admisión especial de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la U. de Chile (Universidad de Chile, 2021) y el Proyecto Ciencia 2030 UC de la U. Católica) P. Universidad Católica de Chile, 2022).

Casos de estudio

Caso 1. Educación apoyada por tecnología

La realidad virtual y aumentada, en combinación con los sistemas de e-learning y simulación, permiten la simulación y en un futuro cercano, la emulación de laboratorios, procedimientos, equipos y sistemas, potenciando la docencia no presencial. También, dan la posibilidad real para interactuar con los contenidos que se pretenden transmitir a los alumnos. El aprendizaje inmersivo dará la oportunidad al estudiante de tener experiencias cercanas a la realidad para visualizar productos y componentes a escala real, datos en tiempo real, manejar maquinaria, procesos y sistemas complejos. Empresas como Microsoft y Samsung se han sumado al aprendizaje inmersivo con “Virtual School Suitcase”, con el objetivo de garantizar que este nuevo modelo educativo pueda convertir al aprendizaje en una experiencia que fomente el aprendizaje colaborativo y participativo. En el diseño de ingeniería, se están creando plataformas de creatividad tales como Second Life, las que con ayuda de lenguajes de scripting (LSL Linden Scripting Language) permiten crear primitivas, objetos y avatares. Otras empresas como Intel Real Sense, Inmersive Teaching, Real-Time Collaboration, Global Community ó Safe y Secure Campuses permitirán en el futuro que el mundo digital y nuestro mundo físico puedan interactuar. En particular, los avatares permitirán la incursión en mundos virtuales de aprendizaje.



Figura 3.2.2. Mantenimiento de equipos con realidad aumentada

Caso 2. Instituto de Ingeniería Biológica y Biomédica

El Instituto de Ingeniería Biológica y Médica de la P. Universidad Católica de Chile (IIBM UC), dirigido por el profesor Pablo Irrazábal M., se fundó en enero de 2016 como la primera unidad académica interdisciplinaria de esta universidad que realiza investigación, docencia y extensión en la intersección de la tecnología, la salud y las ciencias. Este trabajo interdisciplinario se funda en un trabajo colaborativo, no sólo dentro de la misma institución sino también afuera de ella. El IIBM pertenece simultáneamente a las facultades de Ingeniería, Medicina y Ciencias Biológicas, y está formado por académicos, investigadores y estudiantes de diversas áreas y formaciones, incluyendo las ingenierías, física, biología, bioquímica, biotecnología y especialidades de la medicina. El IIBM es un espacio de colaboración para la generación de conocimiento que impacte y beneficie al país y a la sociedad. Por un lado, a través de la aplicación de principios fundamentales de la ingeniería y el concepto de diseño en ingeniería a diversos ámbitos de la medicina y la biología; y por otro, empleando células, organismos vivos y los principios de la biología para resolver problemas específicos de la ingeniería, medicina y otras disciplinas.

El IIBM administra dos programas académicos de pregrado: los “majors” en Ingeniería Biomédica y en Ingeniería Biológica, y dos programas de postgrado: Magister y Doctorado en Ingeniería Biológica y Médica, a través de los cuales les dará una sólida formación a sus estudiantes con énfasis en la interdisciplina, trabajo colaborativo y emprendimiento. Actualmente el IIBM tiene trece académicos desarrollando investigación de punta en las áreas de interfaz cerebro-computador, imágenes biomédicas, biopelículas, fisiología cuantitativa, ingeniería de proteínas, biofísica y biología computacional, biología sintética, biomecánica y dispositivos médicos.

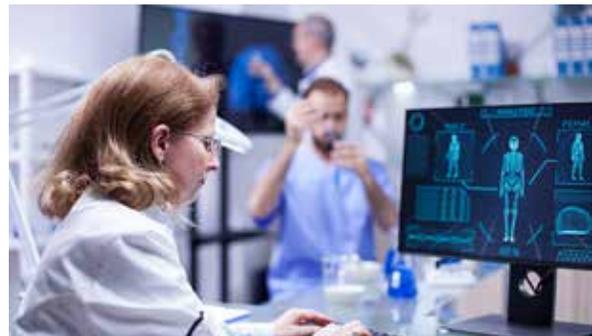


Figura 3.2.3. Instituto de Ingeniería Biológica y Biomédica

Caso 3a. Zippedi en supermercados

En 2017 el profesor Álvaro Soto, de la U. Católica de Chile, y los emprendedores Ariel Schilkrut y Luis Vera fundaron la empresa Zippedi. Zippedi ha desarrollado un robot que, mediante el uso de Inteligencia artificial y sistemas de percepción visual basado en un software y cámaras que le permiten una visión 3D, interactúa con los miles de productos que conforman el inventario de supermercados, a fin de mantener un control sobre quiebres de stock, o detectar rótulos de precios incorrectos o productos mal ubicados, entre otras funciones. Esto permite que los proveedores vean en línea el nivel de abastecimiento real de un estante, facilitando una eficiente operación en sus diversos puntos de ventas y ayudando a disminuir pérdidas derivadas de complicaciones del retail como quiebres de stock, productos mal ubicados o interrupciones en el flujo de compra y pago debido a errores de inventario. Los socios comerciales de Zippedi ven enriquecido sus flujos de trabajo, gracias a la predicción y organización de labores para el capital humano derivado de las revisiones periódicas que realiza al stock disponible.



La tecnología detrás del robot Zippedi se sustenta en investigaciones y desarrollos realizados a lo largo de cuatro proyectos Fondecyt liderados por el profesor Alvaro Soto en la PUC, dos de ellos enfocados en técnicas de navegación autónoma, y dos en técnicas de IA y reconocimiento visual de objetos. Estas tecnologías fueron luego integradas y adaptadas para el desarrollo del robot Zippedi.

Aunque muchas empresas del retail no creían posible el desarrollo en Chile de una tecnología como ésta, que incluso no estaba disponible en países desarrollados, finalmente directivos de la cadena Cencosud apoyaron el proyecto.

Figura 3.2.4. Robótica en retail

Caso 3.b NotCo®

Notco es una foodtech líder en la utilización de tecnología de IA —desarrollada y patentada por la compañía— a través de cual se puede reemplazar la proteína animal para desarrollar productos 100% plant-based. Gracias a la tecnología desarrollada —Giuseppe, algoritmo que combina IA y ciencia molecular— se puede analizar estructuralmente los alimentos de origen animal y replicarlos en base a ingredientes vegetales, manteniendo las propiedades que nos gustan como olor, textura, nutrición, funcionalidad y, por, sobre todo, sabor. Fue fundada en Chile en 2015, y a la fecha ha recaudado US \$120 millones de capital, con aportes de inversionistas claves de la industria, incluidos Bezos Expeditions, Future Positive, L Catterton, Kaszek Ventures, The Craftory, General Catalyst, Maya Capital y Endeavor Catalyst. Su portafolio está compuesto por: NotMayo®, NotIceCream®, NotMilk® y NotBurger® y actualmente cuenta con operaciones y presencia en Chile, Argentina, Brasil y Estados Unidos, y además de presencia en México, Colombia, Perú y Uruguay, y espera entrar pronto al mercado de Canadá.

Se presenta como una compañía global que ha generado un cambio de paradigma en la industria de consumo masivo de alimentos, irrumpiendo de manera simultánea con productos plant-based en categorías como lácteos, huevos y carne. Después de tres meses de lanzar NotMilk en el mercado norteamericano a través de la cadena Whole Foods Market, NotCo® recibió la aprobación para patentar, en Estados Unidos, parte de las aplicaciones de Giuseppe, su tecnología basada en IA. Esta patente los reconoce como la primera compañía de su categoría en usar este tipo de tecnología y los posiciona como líderes en la utilización de IA en la industria alimentaria. En el proceso de producción plant-based, la compañía logra un ahorro importante de energía (entre 30 y 90%) y agua (entre 83 y 94%), y una reducción de emisiones de CO2* (entre 37 y 89%), para cada una de sus categorías. Consumir productos animales daña al planeta. La misión de NotCo® es simple: sacar a los animales de la producción de alimentos, sin comprometer nunca el sabor. Y su propósito es claro: reinventar la industria alimenticia, un delicioso bocado a la vez.



Figura 3.2.5. IA en industria alimentaria

3.3 Energía

Antecedentes

El sector Energía en todo el planeta está cambiando hacia energías renovables, con preocupación por el cambio climático, transición energética y por un desarrollo sostenible, tendencia en la que Chile tiene grandes ventajas al disponer de diferentes tipos de energías renovables abundantes y eficientes en todo el país, además para cumplir con un carbono neutralidad a más tardar el año 2050 y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

Chile posee enormes recursos naturales para la generación de energía eléctrica renovable, con sus costos descendiendo en forma constante, lo que permite la exportación competitiva de electricidad y ampliar el uso de la electricidad dentro del país.

En este siglo 21 se han desarrollado en nuestro país una gran cantidad de proyectos de generación de energías renovables no convencionales, en especial eólica, solar y minihidráulica. Destacándose el crecimiento de la capacidad instalada solar, que en 8 años aumentó en un 160.172%, valor muy superior a otros países.

Electricity and solar capacity (MW)		Solar	
Country / area	2012	2020	Crecimiento
World	104.220	716.152	587%
Africa	411	10.637	2489%
Asia	16.206	408.677	2422%
Europe	73.723	163.192	121%
N. America	9.439	84.557	796%
Chile	2	3.205	160.172%

Tabla 3.3.1. Capacidad eléctrica y solar 2012 vs 2020
Fuente: IRENA

Existe la tecnología necesaria, las capacidades técnicas y de ingeniería adecuadas, la infraestructura que permite desarrollar los proyectos, el financiamiento adecuado, una regulación eléctrica que ha disminuido las barreras de entrada para la generación solar y también los incrementos de eficiencia y disminución de costos para estas tecnologías de generación eléctrica.

Chile tiene las zonas con mayor radiación solar del planeta en el Desierto de Atacama que permiten la generación eléctrica mediante tecnologías fotovoltaicas y de concentración solar de potencia (CSP) a bajo costo y en grandes cantidades.

En CSP el país está avanzando y - de acuerdo con IRENA - hoy es el noveno país en el mundo en capacidad instalada en este tipo de tecnología y ya están aprobados ambientalmente (2020) otros proyectos por más de 690 MW.

Capacidad instalada CSP		
	País	MW
1	España	2.304,0
2	USA	1.758,0
3	Marruecos	540,0
4	China	521,0
5	Sudáfrica	500,0
6	Israel	242,0
7	India	228,5
8	Emiratos	100,1
9	Chile	99,9
10	Kuwait	50,0
	Mundo	6.285,0

Tabla 3.3.2. Capacidad instalada CPS
Fuente: IRENA

Actualmente, los paneles fotovoltaicos están contruidos para optimizar la generación eléctrica de países con menor radiación que la existente en el norte del país. Pero se está investigando en optimizar dichos paneles adaptados a la radiación solar de esta zona, lo cual aumentará su eficiencia y disminuirá los costos de producción de electricidad.

También, las tecnologías fotovoltaicas actuales están progresando; como por ejemplo los paneles bifaciales que generan del orden de 15% a 20% de mayor energía, con menor degradación, aumentando su vida útil y con una menor ocupación de terreno. El potencial de generación eléctrica solar en Chile permite instalar del orden de 1.812 GW de potencia y un total de energías renovables no convencionales del orden de 1.865 GW. Adicionalmente, principalmente en la zona sur y austral se tiene un gran potencial de energía eólica eficiente y de bajo costo para generación de electricidad del orden de 150 GW adicionales, con lo cual se tiene un potencial superior a 2.000 GW.

Energías renovables en Chile. Potencial eólico, solar e Hidroeléctrico de Arica a Chiloé

Potencial disponible Región o Zona	CSP MW	FV 1 eje MW	Hidroelect MW	Eólico MW	TOTAL MW
Arica y Parinacota	6.311	36.647			42.958
Tarapacá	136.085	168.098			304.183
Antofagasta (sin Taltal)	390.476	883.651		2.862	1.276.989
Taltal				11.578	11.578
Atacama	15.607	171.707		619	187.933
Coquimbo		3.240		1.166	4.406
Valparaíso		64	104		168
Metropolitana			840		840
O´Higgins			722	75	797
Maule			2.127		2.127
Bíobío			3.152	5.000	8.152
Araucanía			1.828	2.340	4.168
Los Ríos			2.610	2.914	5.524
Los Lagos (sin Chiloé)			1.025	3.770	4.795
Isla Grande de Chiloé			63	10.106	10.169
TOTAL	548.479	1.263.407	12.471	40.430	1.864.787

Tabla 3.3.3. Potencial disponible por región o zona
Fuente: Ministerio de Energía/GIZ, U. de Chile 2014

Como comparación, la capacidad instalada de generación de electricidad⁴³ en todo el país actualmente es de 26,8 GW, con una capacidad solar de 4,4 GW y eólica del orden de 2,5 GW, que muestra un recurso enorme para desarrollar y la gran cantidad de generación de bajo costo sin explotar.

A fines de 2015⁴⁴ el Ministerio de Energía presenta: Energía 2050, Política energética de Chile⁴⁵, que es una política de Estado hacia una energía sustentable e inclusiva, con una amplia participación ciudadana en su desarrollo. Abarca la implicancia de la energía a los distintos sectores de la economía y de la ciudadanía, con análisis de brechas y ejes estratégicos y proponiendo metas al 2050; como, por ejemplo, que el 70% de la matriz eléctrica debe provenir de fuentes renovables, que el 100% de los automóviles nuevos serán de bajas emisiones y que la indisponibilidad de suministro eléctrico promedio es inferior a una hora en cualquier región del país.

Los pilares considerados son: Seguridad y calidad de suministro (Seguridad y flexibilidad a nivel de producción centralizada/Producción descentralizada y gestión activa de la demanda), Energía como motor de desarrollo (Desarrollo económico inclusivo/Acceso equitativo a servicios energéticos y calidad de vida/Inclusividad territorial/Competitividad del sector energético), Energía compatible con el medio ambiente (Matriz energética renovable/Externalidades locales/Energía, cambio climático) y, eficiencia y educación energética (Eficiencia energética/Educación y cultura energética).

Con una actualización cada cinco años, en el año 2021 se presenta la Política energética nacional 2021 Transición energética de Chile, basada en tres propósitos para avanzar a un sector energético más sustentable, confiable para una sociedad diversa y más activa y con voluntad de responder a las necesidades de la energía.

⁴³ CNE: Capacidad instalada de generación Agosto 2021

⁴⁴ Decreto Supremo N° 148 del 30 de Diciembre de 2015,

⁴⁵ https://www.energia.gob.cl/sites/default/files/energia_2050_-_politica_energetica_de_chile.pdf

Los propósitos son: anhelo de lograr ser protagonistas de la ambición climática, transición energética para mejorar la calidad de vida de las personas y cambiar la identidad productiva del país integrando energías limpias.

Los pilares esenciales son: Sistema eléctrico resiliente y eficiente (Suministro de energía confiable y de calidad/ Sistema eléctrico para el empoderamiento de las personas), y, Nueva forma de construir políticas públicas (Políticas públicas participativas/Información para la transición energética/Inserción equilibrada en los territorios/Coordinación, gobernanza y diálogo).

En esta actualización se continúa y profundiza la Política de Estado de Energía, enfocada en las personas, participativa, territorial, mercados competitivos, con incorporación de nuevas tecnologías, acceso equitativo, desarrollo económico armónico y sustentable, capital humano, industria eficiente y sustentable, carbono neutralidad e información.

También, en 2021 se publica la Estrategia Nacional de Electromovilidad , para reemplazo de combustibles fósiles por electricidad en el transporte, con metas para tener transporte con cero emisiones, 100% de nuevas incorporaciones en transporte público y 100% de ventas en vehículos livianos y medianos al año 2035 y 100% de ventas transporte de carga y buses interurbanos al 2045.

Sus ejes estratégicos son: Medios de transporte sustentable y financiamiento; Infraestructura de carga eléctrica y regulación; Investigación y capital humano, y, Difusión, información y articulación.

■ Visión 2030

Este es un escenario de crecimiento acelerado al 2030, continuando el incremento de la generación eléctrica principalmente con energía solar fotovoltaica y eólica, con el inicio de generación mareomotriz y un aumento de generación geotérmica, además del reemplazo parcial de combustibles fósiles en transporte y en procesos térmicos por electricidad.

El sector Energía en todo el planeta está cambiando hacia energías renovables, con preocupación por el cambio climático, transición energética y por un desarrollo sostenible, tendencia en la que Chile tiene grandes ventajas al disponer de diferentes tipos de energías renovables abundantes y eficientes en todo el país, además para cumplir con un carbono neutralidad a más tardar el año 2050 y con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas.

■ Prospectivas 2030

Avanzando en la generación de energía eléctrica renovable

Se continuará con la incorporación de generación eléctrica renovable principalmente con energía solar fotovoltaica y de concentración solar de potencia para ampliar su rango de funcionamiento principalmente en la zona norte y centro, energía eólica en todo el país, aumento de generación geotérmica e inicio de la generación mareomotriz.



Figura 3.3.1. Generación de energía eléctrica renovable

En generación eléctrica se habrá efectuado el retiro de las centrales carboneras, pero todavía se mantienen centrales a gas natural y diesel, a pesar de la expansión de las centrales de concentración solar de potencia y geotérmicas, disminuyendo en forma significativa la huella de carbono del sector de generación eléctrica.

La generación distribuida solar aumentará en forma masiva en empresas y residencias, unida a la incorporación de eficiencia energética y almacenamiento de mayor eficiencia en nuevas baterías de litio con nano partículas, con lo cual se requieren menos recursos de centrales generadoras de gran tamaño y de líneas de transmisión.

Electromovilidad masiva en el transporte público

Existirá un uso masivo de electromovilidad con baterías principalmente en buses eléctricos urbanos, de faenas mineras e interurbanos y en taxis y automóviles eléctricos, con una amplia red de Electrolinerías en ciudades y carreteras.

En el transporte público de pasajeros aumentarán los trenes de cercanía eléctricos en diferentes regiones y el 100% de transporte público urbano es eléctrico en las principales ciudades.



Figura 3.3.2. Electromovilidad en el transporte público

El 100% de automóviles nuevos serán eléctricos y a lo menos el 50% de camiones de reparto también serán eléctricos.

Existirán desarrollos de hidrógeno verde para consumo interno, en especial transporte de carga y vehículos pesados en la minería.

Aumentará el transporte de carga por trenes eléctricos y permite descongestionar el acceso a los puertos evitando que los camiones colapsen las carreteras.

En los procesos térmicos de industria y minería se producirá el reemplazo mayoritario de combustibles fósiles por electricidad e hidrogeno verde.

Energía térmica confortable y limpia

Disminuirá el consumo de leña para calefacción y se reemplazará con otros combustibles, calefacción distrital y electricidad.

La pobreza energética, considerada en sus aspectos eléctricos y térmicos, disminuirá mediante la eficiencia energética, nuevas normas de aislación en viviendas y oficinas para conseguir una mejor calidad de vida con temperaturas adecuadas al interior de los edificios.

Medición energética inteligente e irrupción del prosumidor

Existirá un desarrollo importante de medición inteligente en clientes eléctricos que permitirá nuevos modelos de negocios y eficiencia energética facilitando la dualidad consumidor-productor (prosumidor) que aumentará la seguridad de suministro eléctrico y disminuirá el gasto de los consumidores.



Figura 3.3.3. Medición inteligente e irrupción del prosumidor

Digitalización de redes para mejorar la calidad de servicio

Las redes de transmisión y de distribución eléctrica se continuarán digitalizando, incorporando TI, lo que permitirá una mejora en la calidad y continuidad de servicio y disminución de costos al usuario final, al mismo tiempo que se ahorrará en nuevas inversiones de líneas eléctricas.

La digitalización de redes unida a los medidores inteligentes permitirá la operación remota, supervisión y automatización. Asimismo, permitirá una gestión de la demanda en forma activa por parte de los consumidores y de los prosumidores.

Más información transparente y de calidad

Existirá información energética disponible, participación y acceso ciudadanos a plataformas e información en tiempo real de la operación del sistema, lo cual permitirá una optimización de los recursos, nuevos actores en todos los segmentos, mayor competencia y modelos de negocios en distintas áreas surgiendo desde el sector eléctrico.

3.4 Minería

Antecedentes

Sin duda, el cobre se ha convertido en un elemento fundamental en la descarbonización de la economía y por ende en la lucha contra el cambio climático. La transición hacia un mayor uso de energías renovables y el aumento en el empleo de vehículos eléctricos requieren cobre, mineral estratégico para Chile y el mundo, al que se le ha denominado “el nuevo petróleo”. También, debido a la necesidad de descarbonizar la economía, existe una tendencia creciente a que el cobre sea de tipo verde, es decir, producido con altos estándares medioambientales, lo cual incluya muy bajas o cero emisiones, además del respeto a las comunidades locales.

De esta forma, podemos visualizar cómo nuestro país se ve enfrentado, no tan solo a una importante oportunidad, sino también a un gran desafío. La oportunidad es

responder a la demanda mundial por cobre verde, manteniendo o, incluso, aumentando la producción y, al mismo tiempo, profundizando y densificando los encadenamientos productivos. Asimismo, el desafío está relacionado en cómo mantener o aumentar la producción en un escenario de leyes decrecientes, yacimientos más profundos, escasez hídrica, cambio climático, crecientes estándares ambientales y un mayor empoderamiento de las comunidades que buscan ser justamente escuchadas. Este desafío incluye, además, la producción de otros minerales estratégicos como el litio, cobalto y las tierras raras.

Es importante comprender que la forma de abordar este desafío es por medio del conocimiento, la innovación y las nuevas tecnologías, idealmente creadas de manera local. La Minería 4.0, es decir, la aplicación de tecnologías asociadas a la Revolución Tecnológica 4.0, es clave en este contexto.

El mayor uso de datos y su análisis -mediante técnicas de aprendizaje de máquinas e inteligencia artificial- permite un mejor entendimiento de los recursos geológicos y el descubrimiento de nuevos yacimientos; un mejor monitoreo de los distintos procesos y toma de decisiones en tiempo real; un mantenimiento más eficiente y predictivo de los equipos; el modelamiento integrado y predictivo de distintas operaciones unitarias; y un uso más eficiente de insumos, agua y energía. Por otra parte, una mayor sensorización de las operaciones y el análisis de los datos generados, permiten monitorear el impacto ambiental de las operaciones en su entorno (agua, glaciares, emisiones de CO2, relaves, biodiversidad, polvo, etc.), y así tomar decisiones que conduzcan a la generación de acciones correctivas. Finalmente, la automatización y teleoperación de equipos y vehículos, así como el uso de robots y drones, permiten aumentar la seguridad de las operaciones y de sus trabajadores.

En resumen, una mayor sensorización de los distintos procesos mineros permite determinar, en tiempo real, el estado de estos, su impacto ambiental y por consiguiente una mejor toma de decisiones. Asimismo, una mayor automatización de los equipos posibilita que su operación sea más segura y, por lo tanto, más eficiente.

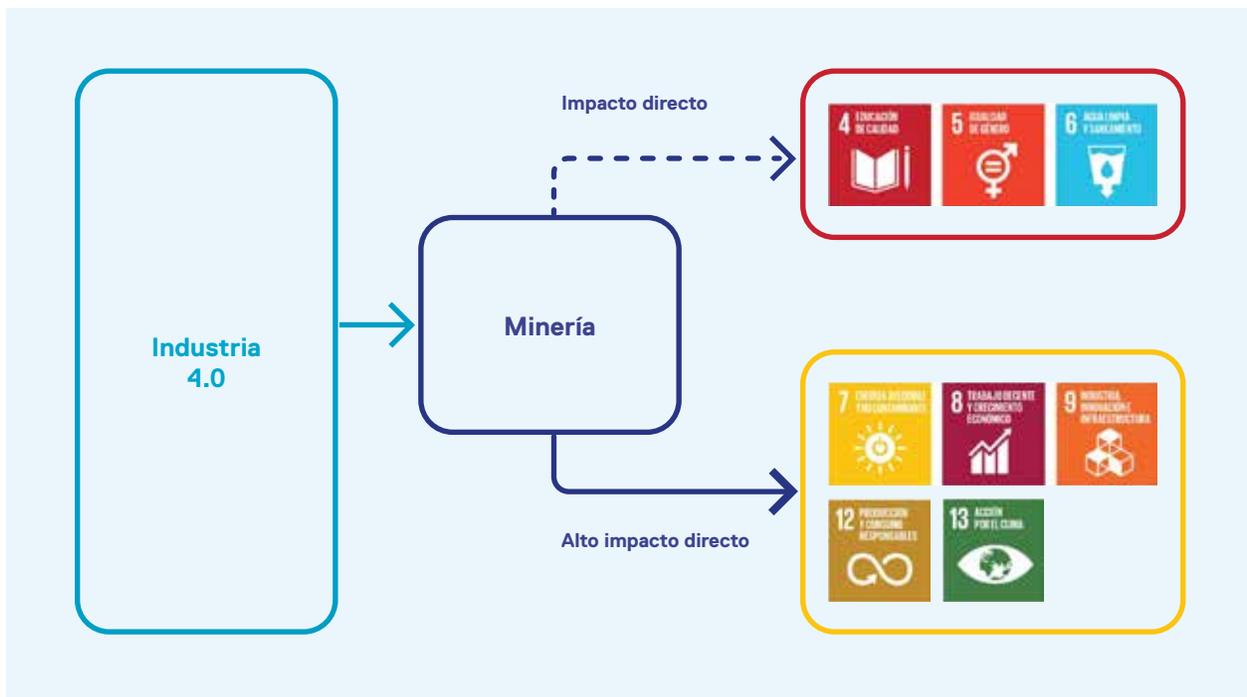


Figura 3.4.1. Minería y su impacto en el cumplimiento de objetivos ODS
Fuente: ONU

De esta forma la Minería 4.0 nos da la oportunidad de desarrollar una industria que sea al mismo tiempo eficiente y responsable con el medio ambiente, las comunidades y los trabajadores, y de esta forma contribuir al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sustentable – ODS de Naciones Unidas, como se presenta en la Figura 3.4. 1.

Por otra parte, creemos firmemente que los desafíos de la minería nacional deben ser abordados en forma colaborativa por los distintos actores del ecosistema de innovación minero. Los centros de investigación y, en general, las universidades son los llamados a generar conocimiento y desarrollar tecnologías, pero transformar conocimiento y prototipos tecnológicos en productos y soluciones, sin duda requiere de un trabajo fluido y colaborativo con empresas tecnológicas y proveedoras. Abordar los desafíos de este sector productivo, requiere no solo grandes empresas mineras de clase mundial, sino también de empresas proveedoras de primer nivel, centros de investigación de clase mundial y un trabajo colaborativo entre la academia y la industria. De esta forma estamos todos llamados a desarrollar una industria minera responsable y con visión de futuro, que sea un real aporte a la descarbonización de la economía mundial, cuyas operaciones tengan un muy bajo impacto ambiental, que beneficie directamente a sus comunidades, que ofrezca una actividad segura a sus trabajadores y, en consecuencia, de la cual todas y todos estemos orgullosos.

■ Visión 2030

El avance vertiginoso de la digitalización puede aumentar los beneficios de la industria minera y abrir nuevos espacios para la industria. Actualmente, todas las industrias se ven enfrentadas al desafío de la transformación digital y a ser capaces de capturar el máximo beneficio de los grandes volúmenes de datos que ésta puede generar. En todo el mundo la digitalización avanza a una velocidad vertiginosa y se está produciendo una separación importante entre aquellas industrias y países que están preparados para capturar los beneficios de la digitalización y aquellos que no (McKinsey Global Institute, 2015).

La digitalización no se refiere solo a la compra de equipos y sistemas, sino a una gestión más bien integrada, en la cual los datos digitales generados se almacenan, gestionan y utilizan. El valor no está en los datos mismos, sino que en la información contenida en estos y en el conocimiento que puede ser generado a partir de su análisis. Por lo tanto, es fundamental contar con las tecnologías apropiadas para extraer automáticamente información y generar conocimiento a partir de estos grandes volúmenes de datos. Diversos estudios señalan que la digitalización y el uso apropiado de los datos generados pueden tener importantes efectos en el aumento de la productividad y en la forma en que muchas industrias se organizan (McKinsey Global Institute, 2015).

En el caso de la minería, se visualiza que la digitalización contribuirá a abordar los desafíos específicos que la industria enfrenta a nivel global (World Economic Forum, 2017), (Durrant-Whyte, H., Geargthy, R., Pujol, F., Sellschop, R., 2015), tales como yacimientos antiguos con leyes de mineral decrecientes; necesidad de disminuir la huella de carbono y el impacto ambiental de la actividad; necesidad de tener mayor trazabilidad de los procesos y de los productos generados, y necesidad de aumentar la seguridad de los trabajadores.

En la industria minera, al igual que en otros sectores productivos de recursos naturales, se observa un rezago en la adopción de la digitalización y de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 respecto a otras industrias como el retail o la industria financiera. De acuerdo con (McKinsey Global Institute, 2015), el año 2015 en Estados Unidos el índice de digitalización de la industria minera era uno de los más bajos,

comparable al de la industria de la construcción y al de la agricultura. Sin embargo, en los últimos años se observa una preocupación de la industria minera a nivel global, en particular de sus grandes corporaciones, por disminuir esta brecha y acelerar el proceso de digitalización. Pero también es importante mencionar que dentro de las distintas escalas productivas de la industria existe una brecha importante entre los esfuerzos de las grandes mineras, respecto a las de tamaño medio y pequeño.

Estudios recientes han cuantificado a nivel global el beneficio económico potencial de la digitalización en la industria minera. Por ejemplo, de acuerdo también a McKinsey (McKinsey Global Institute, 2015), el beneficio de una mayor digitalización - en términos de un mejor manejo de las operaciones; mantenimiento de equipos; salud y seguridad laboral; diseño y compra de equipos, y productividad de las personas - se calcula al año 2025 en 370 mil millones de dólares a nivel global. Por otra parte, el World Economic Forum es aún más optimista en sus predicciones y en su estudio del 2017 indica que una mayor digitalización traerá los siguientes beneficios en los siguientes 10 años (World Economic Forum, 2017), 425 mil millones de dólares en utilidades para la industria minera, sus clientes, la sociedad y el medio ambiente; una reducción de 610 millones de toneladas de emisiones de CO₂, y una disminución en 1000 del número de fallecidos en accidentes fatales en el periodo.

Se debe destacar que los beneficios de la digitalización se pueden obtener solamente si los datos generados son apropiadamente almacenados, gestionados y utilizados. Para esto se requiere el uso de tecnologías asociadas a la Industria 4.0, de tal forma de extraer la información contenida en los datos y generar conocimiento a partir de ésta, por ejemplo, modelos predictivos para una adecuada toma de decisiones.

Al igual que en otras industrias, el uso de metodologías y tecnologías asociadas a la industria 4.0 en minería, trae beneficios importantes en las áreas de gestión, logística y comercialización de productos. En el ámbito operacional, los beneficios han sido relevados en diversos estudios, como por ejemplo (Ruiz-del-Solar J., 2015). Más aún, el uso creciente de estas tecnologías no solamente permitirá adquirir información y generar conocimiento para optimizar individualmente las distintas etapas del negocio minero, sino que también desarrollar modelos integrados de operación de los procesos unitarios, o incluso de la operación completa.

Los modelos integrados de operación han sido propuestos desde hace unos 20 años bajo diferentes paradigmas, dentro de los que destacan el mine-to-mill y la geominero-metalurgia. Se espera que la digitalización de los diversos procesos unitarios y el uso de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 faciliten la implementación de estos paradigmas. De esta forma, en los próximos años veremos una creciente digitalización, modelamiento y toma de decisiones integrada de distintos procesos unitarios. La Figura 3.4.2 esquematiza esta idea, aunque naturalmente los niveles de integración entre los diferentes procesos pueden ser implementados de diversas maneras.



Figura 3.4.2. Ejemplo de modelo integrado de operación.
Fuente: Tomado con autorización de (Ruiz-del-Solar J., 2015)

Por otra parte, los Centros Integrados de Operaciones (CIO), de uso creciente en la industria, desempeñarán un rol fundamental en la operación integrada de procesos unitarios, así como en facilitar la operación remota de las operaciones.

■ Prospectivas 2030

A continuación, se esboza un primer escenario, en el cual se ejemplifican algunos beneficios de la aplicación, tanto directa como indirecta, de la Minería 4.0.

En este escenario se cumplen la mayoría de las metas definidas en la Política Nacional Minera – PNM 2050 (Gobierno de Chile, 2021).

Minería 4.0: una industria eficiente, integrada, de altos estándares y referente mundial

- Uso intensivo de tecnologías de tele operación y automatización en procesos de carga y transporte en minería.
- Amplio uso de centros integrados de operación.
- Amplio uso de herramientas de inteligencia artificial y bigdata en procesos de toma decisión, control, modelamiento y predicción.
- Uso masivo de monitoreo de signos vitales de equipos y de mantenimiento predictivo automatizado.
- Trabajador conectado: Uso de realidad virtual y aumentada para apoyo desde sitio central a trabajadores “in situ”.
- Nuevos algoritmos (IA) para simulación, control y optimización, gracias a gemelos digitales de plantas.
- Integración de los sistemas mineros vía estándares de interoperabilidad.
- El nuevo sistema de monitoreo de relaves desarrollado en Chile se utiliza como estándar nacional en otros países.
- Minería eficiente en consumo de energía.
- Se desarrolla trazabilidad del Cu.

La Minería 4.0 impulsa la innovación en distintos sectores productivos

- Nuevos desarrollos tecnológicos permiten amplio uso de energía solar en minería.
- Camiones mineros de rajo utilizan hidrógeno como combustible.
- Equipos de minería subterránea basados en electromovilidad, disminuyen la demanda de sistemas de ventilación y la energía que estos utilizan.
- Nuevos procesos de tratamiento de minerales con bajo consumo de agua dulce / uso masivo de agua desalinizada.
- Refinerías nacionales recuperan minerales adicionales y tierras raras.
- Se desarrolla la minería del Cobalto.

Resultado País

- Chile, mediante desarrollos tecnológicos logra mantenerse como el primer productor de cobre del mundo con 7 Millones de Tn Cu Fino al 2030, alcanzando 9 millones de toneladas al 2050, tal como lo define el PNM 2050.
- Se posiciona sello “cobre verde” en mercado.
- La industria de proveedores mineros exporta anualmente 2.000 millones de dólares y tiene 200 empresas exportadoras. Esta meta es mayor a los 1.500 millones de dólares en exportaciones al 2030 definido en el PNM 2050.

3.5 Transporte

Antecedentes

El país, debido a sus características geográficas: 4.270 Km. de longitud, 445 Km. de ancho máximo, 90 Km. de ancho mínimo, 7.800 km de fronteras terrestres, 8.000 km de costa, territorios insulares y posesiones en la Antártida, unidas a un modelo de desarrollo económico basado fundamentalmente en la exportación de recursos naturales, requiere de un sistema de transporte eficiente asegurar el bienestar futuro de sus habitantes.

El sector transporte es muy relevante en la economía, representa 8,36% del PIB, 36,5% del total del consumo energético del país y 25,5% del total de emisiones de gases efecto invernadero (GEI).

Los modos de transporte más relevantes son el transporte terrestre, seguido por el transporte aéreo, el transporte marítimo y ferroviario, según se describe a continuación:

Transporte terrestre

Según antecedentes de la Asociación Nacional Automotriz de Chile (ANAC), la cantidad de vehículos livianos y medianos que circulan por las calles y autopistas de Chile alcanzó los 5.447.142 en 2021, significando un aumento de 4,2%, en relación con el año anterior.

La Región Metropolitana concentra el 42% del parque y el 75% de éste, corresponde a vehículos de pasajeros y SUV. La tasa de motorización alcanza 3,6 habitantes por vehículo, inferior a la de países desarrollados, pero muy superior a la de los demás países de la Región.

La antigüedad promedio del Parque Automotriz de Chile es de 9,4 años, siendo la más baja de los países de la región. En el año 2021, 271.400 vehículos antiguos salieron de circulación, siendo reemplazados por automóviles más modernos y eficientes, contribuyendo de esta manera a reducir las emisiones.

Transporte interurbano

La mayor parte de los viajes interurbanos, debido a la baja cobertura de los servicios de transporte ferroviario y aéreo y a la buena conectividad en las carreteras debido a la inversión realizada por privados⁴⁸, se realizan en buses.

Existen más de 80 mil kilómetros de carreteras en todo el país, que conectan el país desde Arica a Quellón, en la Isla de Chiloé, a las que se suma la Carretera Austral, que une Puerto Montt con Villa O'Higgins, en la Patagonia.

Transporte Urbano

La secretaria de Planificación de Transporte (SECTRA), con el fin de mejorar la movilidad en las grandes ciudades y en ciudades de tamaño medio, define un Plan Maestro de Transporte Urbano, estos incluyen inversiones en infraestructura vial, mejora en el transporte público y en los sistemas automáticos de control de tráfico. A la fecha, se han definido Planes Maestros de Transporte Urbano para 24 ciudades.

En las ciudades más pequeñas, se realizan mejoras que se reflejan en un Plan Maestro para la gestión del tráfico. Estos están destinados a diagnosticar el estado actual de las redes de transporte para posteriormente, analizar técnicamente y evaluar socialmente un grupo de proyectos de infraestructura vial y medidas de gestión.

La Región Metropolitana cuenta con modernas autopistas urbanas que cuentan con un sistema de peaje pagado a través de un dispositivo electrónico (TAG), localizado en el parabrisas de cada vehículo.

Modos de transporte no motorizados

El gobierno ha desarrollado diferentes programas para promover un cambio en el modo de transporte, desde automóviles privados a bicicletas, con el objeto de reducir las emisiones de efecto invernadero del transporte urbano, contribuir a mejorar la calidad del aire y disminuir la congestión vehicular, para lo cual ha construido ciclovías y facilitado el desplazamiento seguro de los usuarios.

A la fecha, se han construido ciclovías en 32 ciudades a lo largo de todo Chile y se ha implementado una red de contadores automáticos en estas nuevas ciclovías urbanas para evaluar su uso.

Transporte aéreo

El país dispone de una extensa red, integrada por 344 aeródromos, 102 helipuertos y 7 Aeropuertos, distribuidos entre Arica y la Antártida, incluyendo los territorios

⁴⁸ Como resultado de un modelo de asociación público-privado, a través de un innovador sistema de concesiones.

insulares, para operaciones nacionales e internacionales. De éstos, 301 aeropuertos son de propiedad fiscal, administrados directamente por la Dirección Nacional de Aeronáutica Civil (DGAC) y en 36 ellos hay personal de la DGAC.

El transporte aéreo es fundamental, para tener conexiones rápidas, eficientes y confiables, debido a la larga y estrecha geografía del país. El transporte aéreo entrega, además, conexiones clave para las empresas, con los mercados globales y un acceso para los turistas de todo el mundo. Existe un número importante de líneas aéreas internacionales que operan desde Chile a diferentes destinos de todo el mundo.

La industria de transporte aéreo se ha visto muy afectada por la pandemia del COVID-19. En 2021, la industria transportó 11,2 millones de pasajeros, cifra bastante menor a la transportada antes de la pandemia (21,1 millones de pasajeros).

Transporte marítimo

Chile tiene 6.435 kilómetros de costa continental y todas las regiones, a excepción de la Región Metropolitana, tienen importantes instalaciones portuarias, administradas por el Estado y por empresas privadas, siendo las principales, las de los puertos de San Antonio y Valparaíso, ambos ubicados en la Región de Valparaíso.

Según los antecedentes de la Comisión Económica para América Latina (CEPAL), Chile, junto con Colombia, se encuentran en el cuarto lugar, entre los puertos más activos en la región, detrás de Brasil, México y Argentina.

Si bien los tipos de carga que se transportan a través de los diferentes puertos son muy diversos, predomina el transporte de carga sólida a granel como cobre y la madera. El sector marítimo-portuario juega un rol clave en la competitividad de Chile y se espera que los volúmenes de carga se dupliquen en los próximos años.

En las regiones del sur de Chile: Aysen y Magallanes, el transporte de pasajeros tiene un papel fundamental en la conectividad y transporte con fines turísticos.

Transporte ferroviario

El transporte ferroviario en Chile empezó a operar a mediados del siglo XIX, siendo uno de los países pioneros en la región. En la actualidad es utilizado principalmente para el transporte de carga, desde y hacia los puertos, principalmente por las industrias mineras y forestales.

Las principales ciudades, han desarrollado sistemas de ferrocarriles urbanos, como se indica:

En Santiago:

EFE Central: Opera entre Nos y Estación Central. Con una extensión de 20,8 kilómetros, cubre en la Región Metropolitana el transporte de pasajeros entre las comunas de Estación Central, Pedro Aguirre Cerda, Lo Espejo, El Bosque y San Bernardo y cuenta con 10 estaciones.

Metro de Santiago: Mueve 43,1 millones de pasajeros anualmente, a través de siete líneas y 136 estaciones, cubre 25 comunas y tiene más de 140 kilómetros de vías férreas.

En Valparaíso

Merval: Con veinte estaciones, conecta la ciudad el puerto de Valparaíso con la ciudad de Limache, a 43 kilómetros, la que opera como una estación intermodal a la que se conectan, mediante buses, las comunas de: Quillota, Limache viejo, La Calera, La Cruz y Olmué.

En Concepción

Biotrén: con veinticinco estaciones, en dos líneas: Línea 1 desde Hualqui a Mercado Talcahuano y línea 2, desde Coronel a Concepción, transporta alrededor de 25 mil pasajeros por día, cubriendo casi 65 kilómetros.

■ Visión 2030

El Escenario I, tal como se define más arriba, es de muy alta probabilidad de ocurrencia en el sector Transporte en Chile, considerando que la resiliencia del país le permitirá crecer, aunque en forma limitada, durante el próximo decenio, luego de una pandemia que ha permanecido un largo tiempo que probablemente seguirá teniendo efectos por algunos años.

Principales desafíos del transporte en Chile

A pesar de que, en los últimos años, se han realizado importantes cambios en los sistemas de transporte en el país, existen aún desafíos. Los principales son:

Transporte urbano:

- Realizar mejoras en la infraestructura: vías exclusivas, paradas de buses y estaciones de transferencia modal con el Metro.
- Es necesario además mejorar el sistema de gestión de flotas y los servicios de información para los usuarios y estrategias para reducir la evasión.
- Optimizar los sistemas de transporte urbano en las principales ciudades: Valparaíso y Concepción.

Sistemas de transporte inteligentes (ITS)

Existen diferentes aplicaciones ITS en diferentes ciudades, a lo largo del país, pero estas se han desarrollado para diferentes instituciones públicas y privadas. En la mayoría de los casos no ha habido una adecuada coordinación entre los diferentes sectores resultando una visión no integrada en sus aplicaciones. Existe un gran desafío en un desarrollo tecnológico que permita utilizar todo el potencial de los ITS en los diferentes modos de carga o de transporte de pasajeros.

Cambio climático, eficiencia energética y transporte sustentable

El sector transporte consume una parte importante de la energía total que se utiliza en el país. A su vez, es la mayor fuente de emisiones de CO₂. Es preciso fomentar el uso de tecnologías que sean más eficientes y menos contaminantes para los diferentes modos de transporte.

■ Prospectivas 2030

El uso intensivo de tecnologías permitirá el desarrollo acelerado de medios de transporte unipersonales y personalizados

La pandemia aceleró algunas tendencias, como por ejemplo el transporte en vehículos individuales que evitan contagio, lo que se suma a la tendencia que ya existía de utilizar medios de transporte más ecológicos y amables con el medio ambiente y que apoyen la vida más sana. Ello significará que, en transporte terrestre urbano, los grandes buses no recuperarán la participación modal que tenían previamente a la pandemia, y disminuirá año tras año para dar paso a otros medios de transporte, como bicicletas, scooters, y otros similares. A ello se sumarán minibuses, que gracias a la tecnología permiten su asignación dinámica para brindar un servicio semi-personalizado, tal como ya es la actual tendencia en Brasil y otros países de la región.

Aumentará la cobertura de redes de Metro y trenes, liderando el transporte público urbano de larga distancia

Por otro lado, el transporte de larga distancia dentro de las ciudades será dominado en Santiago por Metro de Santiago, que para el año 2030 tendrá una extensión de aproximadamente 300 km (Louis de Grange, 5/Abr/2019), y para zonas de conurbaciones como las cercanas a Valparaíso y a Concepción por trenes urbanos como Metro de Valparaíso y Biotren.

Hacia el año 2030, además existirán obras de construcción de Metros en dos o tres ciudades de Chile además de Santiago, o ampliación de los actuales, tal como se deduce de los planes de crecimiento y mejoras que publica EFE.

En el periodo 2025-2030 el transporte aéreo se habrá recuperado completamente

Hacia el año 2030, el Transporte aéreo estará superando los niveles del año 2019, recuperado ya completamente de los problemas causados por la pandemia. Conforme a lo informado por la IATA, se ha perdido más de una década debido a la pandemia, lo que se compara con un crecimiento hacia el año 2030 de entre 2 y 5 veces, que se estimaba sólo a fines del 2019.

En Chile, de acuerdo con la Junta de Aeronáutica Civil, los pasajeros internacionales transportados cayeron desde poco más de 11,1 millones el año 2019 a 3,0 millones el 2020.

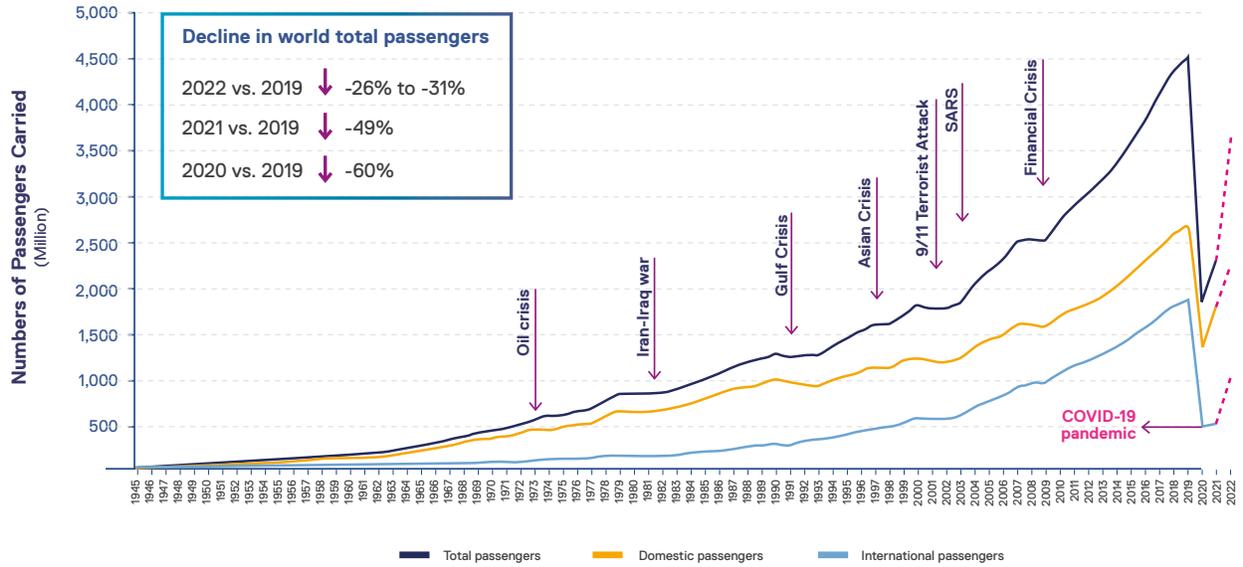


Figura 3.5.2. Evolución pasajeros transportados 1945 - 2022
 Fuente: <https://www.icao.int/Newsroom/Pages/2021-global-air-passenger-totals-show-improvement.aspx>

Las TICs están cambiando la naturaleza de los viajes

Adicionalmente, el uso intensivo de tecnología de comunicaciones como Zoom, Teams y otros, produjo un cambio muy importante en la Comunicación entre las personas, disminuyendo las necesidades de volar y aumentando la productividad de las personas.

En viajes de negocios, la mejora en las herramientas de videoconferencias y de apoyo al teletrabajo en general, unido a la forzada incorporación de su uso extensivo, ha demostrado que una parte importante de las reuniones de negocios se puede efectuar en forma remota.

En viajes de turismo, se espera que exista una mayor velocidad de recuperación, pero el temor a contagios, sumado a restricciones de diferentes tipos los próximos años no ayudarán a acelerar.



Figura 3.5.3. Aviones en tierra debido a la pandemia del Coronavirus

La tecnología apoyará para mejorar la coordinación y lograr procesos más eficientes, lo que le permitirá a la industria aérea mejorar sus costos, para compensar la disminución de los viajes de negocios, con márgenes mucho más elevados que los de turismo.

En resumen, durante los próximos años ira disminuyendo poco a poco la cantidad de aviones que hoy vemos permanecer en tierra.

En el transporte marítimo la tecnología minimizará las necesidades de espacio junto al mar en los puertos

El Transporte marítimo es utilizado en nuestro país principalmente para carga, con la excepción de servicios de pasajeros en la zona sur, que transportan pasajeros en pequeña escala, y de la visita de cruceros a algunos puertos de Chile.

El Transporte Marítimo de carga se verá agilizado con el uso de la tecnología

Así, en el transporte de carga marítima, los puertos a orillas del mar serán utilizadas cada vez en forma más eficiente, dado que existirá una separación total entre las gestiones de logística y aduaneras que se llevarán a cabo en puertos secos, de los procesos de carga y descarga que se llevará a cabo a orillas del mar, con avanzada tecnología de seguimiento y localización, profundizando más el concepto introducido por la Zona de Extensión de Apoyo Logístico (ZEAL) en Chile.



Figura 3.5.4. Modo elegido para el transporte de carga

Las plataformas tecnológicas avanzadas jugarán un rol relevante en los servicios portuarios

El uso de automatización y tecnologías de última generación, permitirán al sistema logístico chileno y en particular a sus puertos, realmente haber vivido la Transformación Digital.



Figura 3.5.5. Optimización de servicios portuarios

En esa evolución, los procesos de carga y descarga llegarán a un nivel de automatización cada vez superior. Los avances en las tecnologías de seguimiento y localización facilitarán el control, y hacia el 2030 los PCSs (Port Community Systems) estarán implementados en todos los puertos de Chile, y se habrán convertido en herramientas indispensables para su operación.

Los PCS son una plataforma tecnológica para la gestión de solicitudes y prestación de los distintos servicios portuarios de forma inteligente, centralizada, segura y sin papeles.

Como consecuencia de la pandemia, hay un mayor número de automóviles circulando, recorriendo menos distancias

A pesar de un crecimiento muy elevado de las compras de automóviles durante la pandemia, su uso urbano -medido como la cantidad de km que recorre anualmente cada vehículo dentro de las ciudades- disminuirá con el correr del tiempo.

Las dificultades para el uso del automóvil serán crecientes, y una parte de ellas impuestas por el estado, como la tarificación vial, eliminación de estacionamientos, pistas exclusivas transporte público, reducción de capacidad vial para mayores facilidades de bicicletas, etc.).



Figura 3.5.6. Aumento en cobertura de electrolineras.

Automóviles eléctricos en permanente aumento

Los automóviles seguirán evolucionando hacia una mayor eficiencia, y aumentará la proporción de automóviles eléctricos e híbridos en circulación. Las electrolineras irán incrementando su cobertura tanto en las principales ciudades como en las carreteras, facilitando así su uso.

La cantidad de vehículos eléctricos será creciente, pero, aun así, hacia el año 2030 el motor a combustión dominará aún el mercado, debido a que será muy difícil aplicar políticas contra los automóviles más antiguos.

El Transporte de Carga Urbano será mayoritariamente eléctrico

El transporte de carga urbano, que consiste en transporte de última milla -desde centros de distribución hasta sus destinos- incorporará vehículos eléctricos con mucha mayor velocidad, y hacia el 2030 serán mayoritariamente eléctricos.

También, para compras en plataformas como Cornershop o despachos de restaurantes, incorporarán vehículos eléctricos masivamente, desde motos, triciclos y hasta miniautos.

Casos de estudio

Caso 1: Minibuses personalizados en Brasilia

Gran satisfacción de usuarios por servicio de transporte semi-personalizado en barrios de Goiânia, en Brasil

CityBus 2.0, un servicio de la empresa privada HP Transportes, inició su operación en la ciudad brasileña de Goiânia el día 11 de febrero del año 2019. El servicio personalizado de transporte público comenzó un período de pruebas con 15 Vans, cubriendo 11 barrios del centro de la capital de Brasilia. Inicialmente algunas Vans eran para 14 pasajeros y otras para 8 pasajeros.

Crecimiento de CityBus 2.0

En julio del año 2019, la operación de CityBus 2.0 tuvo su primera expansión a 13 barrios adicionales, pasando a atender 24 barrios, en una superficie de 41 kilómetros cuadrados. En noviembre de 2019 se agregaron 5 barrios más. Así, al completar un año de operación, CityBus 2.0 llegaba a 80 mil usuarios de 35 barrios de Goiânia.

Esto confirma la tendencia de las empresas de buses concesionarias de transportes urbanos a ofrecer cada día más servicios sobre demanda, basados en aplicativos desarrollados para este efecto. City Bus 2.0 es un claro ejemplo de ello.

Un aplicativo local exitoso

Después de cumplir un año, durante la pandemia, en el año 2020, la empresa adquirió 28 Vans adicionales para la operación de CityBus 2.0. Todas estas nuevas minivans cuentan con una capacidad para 14 pasajeros. A inicios del año 2021, CityBus 2.0 sigue creciendo, atendiendo ya 80 barrios de Goiânia.

Para utilizarlo, los usuarios ingresan a la aplicación en la puerta de su casa, solicitan un servicio indicando el destino, y un sistema central que calcula en forma dinámica la ruta de todos los minivans, le asigna la más cercana en origen y destino, que lo recoge en minutos.



Figura 3.5.7. Sistema de transporte público en Brasil

3.6 Agroindustria y alimentos

Antecedentes

La población mundial ha estado creciendo en forma importante durante el último siglo, y a pesar de que la tasa de crecimiento está disminuyendo, se plantea que la población mundial será de aproximadamente 9.000 millones de personas para el 2050 y de más de 10.000 millones para el final del siglo. De acuerdo con las estimaciones de las Naciones Unidas (FAO), la productividad agrícola deberá aumentar en un 70% al 2050 para poder alimentar a la población mundial. Por otro lado, la agricultura es uno de los sectores que más se ve afectado con el cambio climático y el calentamiento global, contribuyendo al mismo tiempo con al menos un tercio de la emisión de los gases de efecto invernadero. El uso de la tecnología permitirá aumentar la productividad de la industria agroalimentaria manteniendo la emisión de gases de efecto invernadero en rango aceptable para el planeta.

Chile posee 31.635.041 hectáreas de superficie silvoagropecuaria potencial de acuerdo con el censo de 2007, en la actualidad se realiza un nuevo censo.

Durante el periodo 2014 – 2018 el sector silvoagropecuario (considerando solo actividades primarias) representó el 2,9% del PIB. La actividad agrícola representa 10,1% de empleo, concentrándose principalmente en las regiones del Maule y O'Higgins (30% del empleo).

El PIB silvoagropecuario de Chile se descompone en los siguientes componentes presentes en la Tabla 3.6.1. (Información proveniente de ODEPA en 2017 a partir de los datos entregados por el Banco Central):

Subsector	Contribución relativa
Silvicultura	19%
Fruticultura	33%
Ganadería	19%
Agricultura	22%
Actividades de apoyo	7%

Tabla 3.6.1. Componentes PIB silvoagropecuario de Chile
Fuente: Odepa, 2017

De acuerdo con los datos entregados por la OCDE, 25,5% de la población nacional vive en zonas rurales, habitando el 82,7% del territorio nacional.

Los/as agricultores/as de hoy son:

- 63% de hombres, 27% de mujeres y 10% de sociedades y compañías.
- 42% de la superficie agrícola pertenece a pequeños productores con menos de 5 hectáreas.
- 53 mil productores pertenecen a pueblos nativos y representan el 18% de los agricultores del país.
- La agricultura familiar campesina equivale a 90% del total de unidades productivas

De acuerdo con ODEPA (Oficina de Estudios y Políticas Agrarias) el sector agropecuario se clasifica como se muestra en la Tabla 3.6.2.

Subsector	Industria
Agrícola	Cultivos anuales
	Fruticultura
	Horticultura
	Producción de semillas y bulbos
Pecuario	Ganadería
	Lechería
	Producción de carne
	Industria láctea
Apicultura	Apicultura

Tabla 3.6.2. Clasificación del sector agropecuario
Fuente: ODEPA, 2017

Un tema interesante que considerar es la distribución de predios agrícolas de acuerdo con su tamaño, de acuerdo con censo agropecuario de 2007, tal cual se presenta en la Tabla 3.6.3.:

Tamaño explotación (ha)	Numero de predios	% total
Sin tierra	1.284	0,6
0,1 – 4,9	125.334	41,6
5 – 9,9	48.711	16,2
10 – 19,9	45.338	15,0
20 – 49,9	40.275	13,4
50 – 99,9	16.972	5,6
100 – 499,9	16.741	5,6
500 – 999,9	2.722	0,9
1.000 y más	3.459	1,1

Tabla 3.6.3. Distribución de predios agrícolas por tamaño
Fuente: Censo Agropecuario, 2007

De esta tabla se desprende que aproximadamente 75% de los predios de Chile tienen menos de 20 hectáreas, por lo que es primordial preocuparse del pequeño y mediano agricultor.

El sector agroalimentario está poco tecnificado y las principales barreras de acuerdo con PMG Business Improvement (2017) son:

- Altos costos de equipos y servicios: 67%
- Dificultad de financiamiento: 20%
- Desconocimiento del uso: 17%

La I+D del agro en Chile sigue plenamente la tendencia general de la I+D en Chile, es decir la inversión es baja en relación con el PIB. La agricultura y ciencias veterinarias son el tercer sector con mayor gasto en I+D en el país, con aproximadamente 15% del total nacional de inversión en I+D. Los subsectores que más invierten son la biotecnología agrícola, la agricultura, silvicultura y pesquería, y las ciencias animales y veterinarias. La inversión en I+D en tecnología para el sector agroalimentario es demasiado baja o casi inexistente.

Los grandes desafíos agroindustriales presentados por la Sociedad Nacional de Agricultura (SNA) en 2020 en el Foro AIE de Mercados son:

- Disponibilidad del agua y adaptabilidad al cambio climático
- Formación de capital humano
- Innovación, transferencia y cambios tecnológicos acelerados
- Transparencia sanitaria

■ Visión 2030

El sector agroalimentario es amplio y cubre diversos subsectores. Esta presentación solo contempla la agricultura arable, cultivos de invernadero, frutales y ganadería.

La prospectiva que se presenta a continuación incluye los sectores de Granja, Transporte y Logística, Procesamiento y Consumidor.

■ Prospectivas 2030

La tecnología al servicio de la industria agroalimentaria en Chile

Para poder posicionar a Chile como líder en agronomía se desarrollarán diversos centros de I+D en agronomía inteligente los que estudiarán no solo el proceso fisicoquímico asociado al crecimiento y productividad de plantas y animales, sino que buscará y definirá los procesos tecnológicos que permitirán aumentar la productividad, sin por esto seguir afectando al calentamiento global. Estos centros estudiarán de igual forma el desarrollo de semillas más resistentes al nuevo clima que Chile enfrentará. De igual forma se desarrollarán mejores envases y embalajes, que permitirán una mejor conservación de los alimentos.

Al mismo tiempo se desarrollará la profesión de ingeniero/a “agrónomo”, un profesional que conocerá la agronomía al mismo tiempo que desarrollará sus capacidades digitales, pudiendo de esta forma interactuar con los ingenieros/as que desarrollarán los sistemas necesarios a la Agroindustria 4.0.

La siembra se realizará a partir de datos históricos y del suelo

Hoy en día varios agricultores, sobre todo los pequeños y medianos, deciden sus siembras en función de lo que llamamos “conocimiento ancestral”, es decir hecho así por años y sin razones suficientes para cambiarlo. Por otro lado, la siembra es igualmente dirigida por los requerimientos del mercado, aunque el suelo no siempre es conveniente para el cultivo solicitado, disminuyendo el su rendimiento. El uso de datos históricos de cosecha y rendimiento del suelo a través de algoritmos de Machine Learning en conjunto con el análisis del suelo (textura del suelo) y de la capacitación a agricultores permitirán mejores decisiones sobre el tipo de siembra a realizar y cuando ésta debe ser realizada aumentando el rendimiento.

El riego y la fertilización se realizarán según análisis de suelos in situ

Al igual que la siembra, el riego y la fertilización es realizada a partir del “conocimiento ancestral”, pudiendo en algunos casos afectar la cosecha, ya que no se están midiendo los diferentes parámetros que influyen en el crecimiento de las plantas, llegando incluso a la sobre irrigación y sobre fertilización, afectando el rendimiento del cultivo. De igual forma, hay que considerar que no todas las especies son iguales, por lo que el riego no controlado en función de la especie puede conducir a errores catastróficos para la producción. El uso de sensores que analizan en tiempo real e in-situ las variables que influyen en el crecimiento de una especie, y por ende de la productividad del suelo, permitirá tomar mejores decisiones sobre cuándo y cuánto regar. Se considerarán al menos las siguientes variables: humedad de suelo, temperatura de suelo, textura del suelo, pH del suelo, salinidad y conductividad eléctrica del suelo, y disponibilidad de nutrientes. El aumento de la capacidad computacional permitirá el análisis y procesamiento de la información in-situ, de modo que las acciones a implementar

serán ejecutadas directamente sin intervención humana alguna. Las posibilidades de comunicación que estarán disponibles tales como 5G, LoRa, y Sigfox, entre otras, que permitirán un análisis estadístico más profundo en la nube digital a través de la inteligencia artificial, pudiendo aprender sobre los cultivos, la tierra y como optimizar la productividad para alimentar una población creciente sin afectar el equilibrio del planeta.

La Economía Circular llega al sector agroalimentario

Se plantea la economía circular como un modelo de producción y consumo que considera compartir, alquilar, reutilizar, reparar, renovar y reciclar materiales y productos existentes todas las veces que sea posible para crear un valor añadido, extendiendo de esta forma el ciclo de vida de los productos. Si bien puede parecer contradictorio la reutilización de productos alimenticios, hay un gran impulso en el concepto circular dentro de la industria agroalimentaria.

La reutilización de desechos orgánicos en la generación de compost es ya una realidad, aunque no aún extendida a la población en general, tanto por desconocimiento como por falta de herramientas que permitan la generación de compost a nivel doméstico. Una amplia masificación del reciclaje de desechos permitirá, por un lado, la generación de fertilizantes naturales y, por otra parte, una disminución del aporte de la agricultura al calentamiento global y cambio climático.

La utilización del estiércol, no solo en fertilización, sino que además en generación de energía (biogás) serán cada vez más comunes permitiendo de esta forma alimentar eléctricamente al menos a la granja agrícola que lo produce.

La regulación sobre los desechos alimenticios de los restaurantes cambiará permitiendo utilizar de forma segura los alimentos utilizados en poblaciones que no tienen los recursos necesarios que les permita cumplir con la seguridad alimenticia de acuerdo con la definición de Naciones Unidas.

La Cosecha robotizada ayudará a mejorar la productividad y la calidad de los productos agrícolas

Si bien los robots utilizados en la cosecha existen hace ya algunas décadas, su uso en Chile es bastante limitado y solo se ve en los grandes predios. La competitividad y eficiencia de los pequeños y medianos agricultores pasa por una tecnificación del campo y por ende el uso de robots especializados en la cosecha y tratamiento de los cultivos. La utilización de robots para la cosecha es más importante en frutos que en hortalizas; sin embargo, algunas investigaciones plantean que en el futuro se modificarán las hortalizas de modo que estas se adapten a los robots cosechadores. Una vez más es importante considerar el costo de esta tecnología para asegurar que llegue a la mayoría de los agricultores, los que son pequeños y medianos.

El Monitoreo remoto de animales ya es una realidad en el mundo, aunque lejos aún de la aplicación masiva en nuestros campos

Existen en el mundo diversos sistemas que permiten monitorear la actividad y salud del ganado. Existen incluso píldoras que atraviesan los estómagos de los bovinos analizando el estado de cada uno de ellos. Esta sofisticada tecnología está lejos de los campos y granjas pequeñas y medianas chilenas, donde las cosas se siguen haciendo como hace varias décadas y una vez más de acuerdo con el “conocimiento ancestral”, lo que impacta fuertemente la productividad y la salud de los animales. Si bien este conocimiento es válido y útil, las condiciones de trabajo no son siempre óptimas en el campo y el monitoreo remoto no solo impactará la productividad, sino que además las condiciones de trabajo de los campesinos.

En los próximos años veremos un incremento del uso de tecnología en la crianza de animales para la alimentación considerando el equilibrio del planeta. Análisis remoto de cojera y enfermedades de animales permitirán mejorar la productividad tanto en industria de lácteos como en la industria de la carne. La detección remota del celo de

bovinos permitirá a las industrias lecheras mejorar su productividad al asegurar que el ganado es preñado en el momento preciso.

El monitoreo remoto permitirá de igual forma mover al ganado entre distintos sectores para su alimentación generando de esta forma una agricultura regenerativa, lo que facilitará no solo que el ganado se desarrolle de mejor forma, sino que además la regeneración de los suelos pudiendo ser estos utilizados de mejor forma en la producción de alimentos.

El Monitoreo remoto y control automatizado de plagas permitirá aumentar la productividad y calidad de los productos agrícolas

Las plagas son uno de los grandes problemas que deben enfrentar los agricultores, y existen de distintos tipos y con distintas consecuencias. En primer lugar, debemos mencionar las asociadas a insectos que pueden desde destruir una cosecha completa hasta disminuir la calidad de la producción, la que no podrá ser comercializada. Existe por otro lado las plagas asociadas a las aves, que destruyen una gran parte del cultivo de hortalizas en sus primeras etapas; por ejemplo, aves como los tordos atacan los cultivos de hortalizas principalmente en la madrugada comiéndose gran parte de las hojas. De igual forma existen plagas de roedores y conejos que acechan los campos comiéndose los cultivos y plagas de animales depredadores que atacan a las aves de crianza. Existen igualmente las plagas indirectas causadas en parte por el humano como es la falta de abejas polinizadoras debido al uso de insecticidas que matan a las abejas. Por último, debemos mencionar las plagas de roedores en lugares de almacenamiento y procesamiento de alimentos que destruirán de igual forma la producción.

La detección de animales roedores, animales depredadores y aves es posible a través del uso de sensores de presencia, cámaras y algoritmos de inteligencia artificial; sin embargo, su implementación en el campo de nuestro país no es aún masiva. La detección de otro tipo de plagas es aún un tema de investigación.

El uso de sensores de visualización, como los de presencia, permitirán detectar algunas de las plagas mencionadas generando una acción automática de dispersión de la plaga o una alarma al agricultor para que pueda realizar acciones de mitigación. Mientras más temprano es detectada la plaga, menor es su efecto en la producción por lo que los esfuerzos de investigación y generación de productos debe estar enfocada en la detección temprana de plagas. Las acciones por realizar dependerán del tipo de plaga pudiendo ser automática algunas de ellas, como por ejemplo la dispersión de los pájaros que atacan las cosechas, a través de sonido o luz.

Los sensores llegan al campo y a la cadena de producción

La sensorización del campo es un fenómeno que comenzó hace varios años ya y que ha ido en aumento a medida que nuevos y mejores sensores son producidos. Sin embargo, la cantidad de sensores disponibles adecuados para el campo es bastante limitada si consideramos sensores de bajo costo, los que podrían ser usados por los pequeños y medianos agricultores. Hoy en día es posible encontrar sensores para la humedad y temperatura del suelo, así como sensores que miden algunos parámetros del ambiente en el cual se desarrollan plantas y animales. De igual forma, es posible encontrar sensores de posicionamiento, aceleración y de movimiento que son ampliamente usados en el monitoreo de animales.

La existencia de sensores capaces de medir una gran parte de los parámetros que influyen en el crecimiento de plantas y árboles, y que sean de bajo costo, permitirá que pequeños y medianos agricultores mejoren el rendimiento del suelo y puedan obtener mejores beneficios de su trabajo, al mismo tiempo que preservan el planeta. Dentro de estos sensores que serán desarrollados en los próximos años podemos mencionar pH en soluciones no acuosas, nutrientes en la tierra, conductividad eléctrica del suelo, entre otros.

El uso de estos sensores permitirá que sistemas de Internet de las Cosas, aplicando

procesamiento en el nodo (edge computing), puedan automatizar diversas funciones agrícolas tales como riego optimizado, fertilización optimizada, monitoreo de la salud de animales, tratamiento de alimentos en plantas de procesamiento, estado de los alimentos en su transporte, etc.

Se concretará la Trazabilidad del productor al consumidor

El consumidor ha evolucionado y está cada vez más interesado en conocer tanto la procedencia como el procesamiento de los alimentos que está ingiriendo. El consumidor quiere tener detalles del camino que el alimento que está ingiriendo ha recorrido desde el origen hasta su mesa, sea ésta en su hogar o en restaurantes.

La complejidad de la trazabilidad ha impedido que ella avance a pasos agigantados y satisfaga las necesidades del consumidor. El uso de sensores, tag RF y la tecnología digital permitirá informar al consumidor el origen y los procesos seguidos por los alimentos que está ingiriendo o comprando. Dentro de los procesos considerados podemos mencionar los químicos usados en el tratamiento de los alimentos y la conservación de la cadena de frío en su transporte, entre otras aplicaciones.

La Agricultura urbana acerca los productos al consumidor disminuyendo el costo de los productos

El transporte de los alimentos desde los centros de producción y su procesamiento no solo incrementa el costo de los alimentos, sino que perjudica claramente al medio ambiente. Por otro lado, la lejanía de los alimentos de los centros de consumo obliga a extraerlos de la tierra antes de lo que se debe de modo que su maduración se produzca al llegar al consumidor para no perder el producto. Esto afecta claramente a la calidad y duración de los productos alimenticios.

Frente a esta problemática ha comenzado a surgir el concepto de agricultura urbana donde el objetivo principal es acercar las fuentes de producción al consumidor evitando largos transportes y pérdida de calidad de los cultivos.

En varios países se han creado huertos comunales los que permiten que un grupo de vecinos cuente con tierra donde realizar cultivos y criar animales, ayudando a la alimentación del grupo en forma ecológica. El uso de tecnología en estos huertos y granjas urbanas permitirá mejorar aún más la productividad asegurando una mejor alimentación de cada barrio o comuna.

Disminuyendo los tiempos de producción a través de la automatización del Sistema de certificación

Uno de los grandes cuellos de botella que tiene la industria frutícola es la certificación de la fruta antes de ser enviada a los respectivos mercados de destino. La certificación es manual y se produce al final de la cadena productiva. La sensorización de los procesos productivos en conjunto con la inteligencia artificial permitirá la verificación in situ de los parámetros exigidos por los distintos mercados que nuestro país exporta.

La tecnología del agro permitirá reducir la emisión de gases de efecto invernadero producidos por la agricultura

La agricultura es una de las industrias que aporta en forma considerable al calentamiento global y al cambio climático. Considerando los nueve límites planetarios definidos por Johan Rockström del Stockholm Resilience Centre han sido fuertemente afectados por la agricultura en general y en varios de ellos, se ha llegado a la zona de riesgo. Estos límites en zona de riesgo son: Cambio climático, cambios en el uso del suelo, consumo de agua dulce y ciclo del agua, acidificación de océanos, el ciclo del nitrógeno y del fósforo. Una agricultura monitoreada a través de sensores y aplicaciones que optimizan el riego y la fertilización permitirá disminuir varios de estos parámetros que se encuentran en zona de riesgo.

Casos de estudio

Caso 1. Internet of Food & Farms 2020



Proyecto de la Unión Europea que es parte del proyecto “Horizon 2020 Industrial Leadership”. El propósito del proyecto loF2020 fue el de construir un ecosistema de innovación que fomente la adopción de las tecnologías IoT en el agro. Las principales partes interesadas a lo largo de la cadena alimenticia participaron en el proyecto junto con proveedores de servicios tecnológicos, empresas de software e instituciones académicas. Se utilizaron 33 casos de uso originados en cinco sectores (agricultura arable, industria lechera, industria de la fruta, industria de la carne e industria de hortalizas).

Figura 3.6.1. Uso de IoT en el agro

Los principales proyectos desarrollados son:

- Optimización de la toma de decisiones en la cadena de suministros de carnes de vacuno.
- Sistema de certificación de calidad mejorado.
- Gestión de la cadena de suministro de piensos.
- Monitoreo de pastoreo de bovinos.
- Interoperabilidad de máquinas de la granja.
- Monitoreo remoto de la calidad de la leche.
- Gestión precisa de cultivos.
- Monitoreo de la integridad de brebajes.
- Aplicación inteligente de insecticidas en huertos.
- Agricultura urbana de hortalizas.
- Sensores en el campo alimentados por energía solar.
- Utilización del ecosistema digital.
- Producción de papas dirigida por datos.
- Gestión de la producción de soya.
- Logística inteligente de frutas.
- Trazabilidad y logística de la alimentación.
- Detección precoz de cojera en bovinos.

Los resultados de estos proyectos fueron considerados satisfactorios por los organizadores y varios de ellos se convirtieron en casos de éxito y están siendo usados por la industria actualmente.

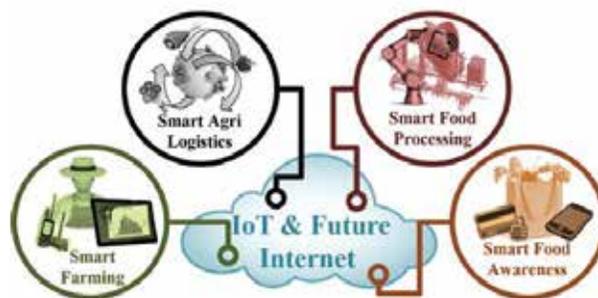


Figura 3.6.2. IOT & Future Internet

Fuente: Internet of Food and Farms - <https://www.iof2020.eu/>

Caso 2. IoT para agricultura de precisión en pequeñas granjas en India (Punjab)

La agricultura tradicional funciona en modo lazo abierto; es decir, no existe la retroalimentación que permite mejorar los procesos y por ende aumentar la productividad. Por otro lado, el análisis en tiempo real es prácticamente inexistente. Los agricultores se basan en su conocimiento ancestral haciendo caso omiso a los datos que pueden recibir de los cultivos.

Es necesario detectar el stress de los cultivos lo antes posible para realizar las acciones correctas en cada estación basadas en la experiencia.

A partir de estos antecedentes se crea el pueblo digital en India cuyo objetivo es una metodología basada en datos para pequeños agricultores. Para este efecto se implementa tecnología en:

- Agricultura de precisión
- Industria lechera digital
- Gestión de desechos de agua
- Agricultura inteligente basada en IoT
- Salud de los pobladores
- Transporte

La tecnología no solo es usada en la agricultura. La implementación de una estructura digital en el pueblo permite agregar aplicaciones destinadas a la salud de los habitantes del pueblo, así como al transporte.

3.7 Manufactura (B2B⁴⁹)

Antecedentes

Antecedentes relevantes: Internacional

La Manufactura incluye una variedad de actividades productivas. De acuerdo a International Standard Industrial Classification of all Economic Activities (ISIC), Rev. 4 de Naciones Unidas, la Manufactura incluye: productos alimenticios (procesamiento y preservación de carnes, pescados, crustáceos y moluscos, frutas, vegetales y otros); madera, productos de madera, corcho y otros; pulpa, papel, cartón y productos derivados; químicos y productos derivados (fertilizantes, compuestos de nitrógeno, plásticos, caucho sintético en formas primarias, pesticidas y otros productos agroquímicos); productos de caucho y plástico; productos metálicos diversos; maquinarias y equipos mecánicos, hidráulicos, neumáticos y otros; equipamiento eléctrico (motores eléctricos, generadores, transformadores y equipamiento de distribución y control, otros); equipamientos para plantas de energía (sistemas paneles solares, turbinas eólicas, otros); sistemas, equipos y dispositivos electrónicos diversos (los cuales se tratan en mayor amplitud en secciones dedicadas de ISIC incluyendo equipos computacionales y de comunicaciones).

Desde 2010⁵⁰, la industria manufacturera está viviendo una significativa transformación a escala internacional. Principalmente caracterizado por: incorporación de simultánea de varias tecnologías digitales avanzadas (entre ellas: IoT, inteligencia artificial, RV/RA, robótica autónoma, y otras); despliegue de nuevos modelos de negocios y el auge de los servicios asociados a la manufactura, cuyo valor económico ya supera al de los productos; aumento significativo de la producción manufacturera en Asia Pacífico (China, Corea, Japón, Taiwán Singapur), avances destacados en países emergentes (por ejemplo, República Checa) e intenciones de reshoring de países desarrollados. Estas dinámicas están siendo impactadas⁵¹ por la pandemia COVID – 19.

La industria manufacturera continúa disminuyendo su participación en el PIB internacional, según el Banco Mundial (14,5% en 2019, 16,9% en 2000). En cambio, aumentan continuamente los servicios asociados a manufactura (I+D, diseño, gestión de inversiones, marketing, logística, mantenimiento, otros). Según estadísticas de EUA, por cada empleo en manufactura existen 9 empleos en actividades asociadas directamente.

La combinación de productos y servicios manufactureros con modelos de negocios mejorados o nuevos – en la dinámica de industria 4.0 - ha venido generando beneficios importantes para la industria manufacturera, varios de ellos verificados cuantitativamente. En la siguiente figura se muestran los beneficios en manufactura 4.0 según un estudio realizado por McKinsey en más de 1.000 empresas a nivel internacional.

⁴⁹ B2B: Business to Business. Ámbito de empresas que compran y venden a empresas. Que es diferente a B2C (Business to Consumer): ámbito en que empresas comercializan hacia consumidores finales, lo cual no se aborda en este Informe.

⁵⁰ A nivel internacional, la robotización de la industria mundial comienza en los años 70, especialmente en la industria automotriz. Incluso, antes comenzó la automatización de procesos productivos. Desde el 2010 se ha acelerado la transformacional de las industrias.

⁵¹ Parte de las industrias son afectadas por las rupturas de las cadenas de suministro (por ejemplo, fabricantes de vestuario en Vietnam, escasez de semiconductores para la industria automotriz en diversos países).

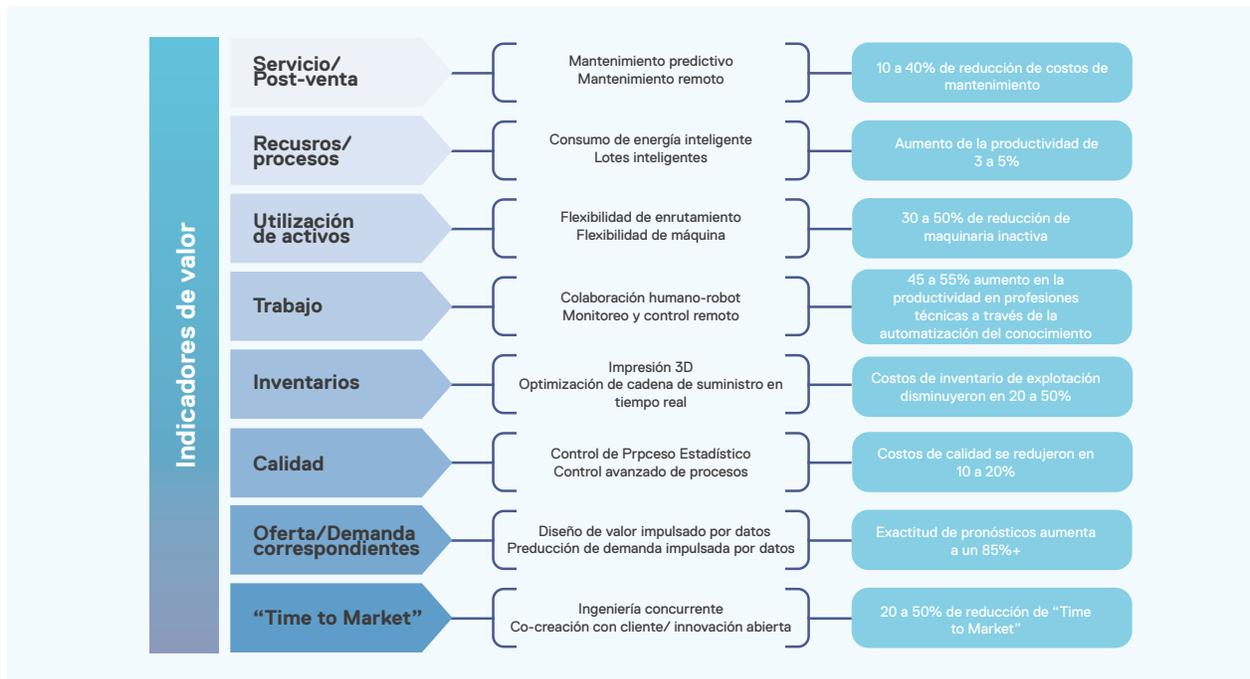


Figura 3.7.1. Beneficios en manufactura 4.0
Fuente: McKinsey, Capturing the true value of Industry 4.0, 2022 y artículos previous.

Los países avanzados están invirtiendo en el fortalecimiento de sus capacidades nacionales de manufactura (I+D, infraestructura, formación de capital humano, articulación público – privada y otros). Entre ellos, la red de Centros de Manufactura Avanzada de EUA, los Centros y otras instituciones en Reino Unido, Alemania, Japón, China y varios otros países avanzados; los programas estratégicos de la Unión Europea.

En síntesis, la manufactura en su expresión de Industria 4.0 está modificando la dinámica productiva a escala internacional, brindando oportunidades a los países si actúan diligentemente, y riesgos para los que no lo hagan.

Antecedentes relevantes: Chile

De acuerdo con los datos del INE, la industria manufacturera aportó 10,38 % al PIB de Chile en 2018, con la siguiente distribución, presentada en la Tabla 3.7.1.:

Sub Rubros Manufactura	Aporte al PIB 2018
Alimentos	2,87%,
Productos metálicos, maquinaria, equipos y otros	1,73%
Química, caucho y plástico	1,47%
Bebidas y tabaco	1,32%
Celulosa, papel e imprentas	0,79%
Refinación de petróleo	0,78%
Maderas y muebles	0,56%
Minerales no metálicos y metálica básica	0,55%
Textil, prendas de vestir, cuero y calzado	0,27%
Total industria manufacturera	10,38%

Tabla 3.7.1. Aporte al PIB de la industria manufacturera
Fuente: INE, 2019.

Esta contribución realizada por aproximadamente 3.300 empresas, la mayoría PyME, con un empleo estimado en 320.000 personas.

Desde 2016, se han realizado algunas iniciativas en el sector. Entre ellas: evolución de las empresas manufactureras en torno a la demanda de la minería, infraestructura y diversos sectores tractores; exportaciones; programas estratégicos apoyados por CORFO (Manufactura Avanzada), desarrollo de capacidades de I+D (Centros U de Chile, U de Concepción, Leitat), Extensionismo (ASIMET y otros); progresiva incorporación de tecnologías de Industria 4.0 en aproximadamente un 8% de las empresas manufactureras, en algunas funciones productivas pero pocos casos de transformación integral; frente a la situación experimentada por el COVID, una propuesta de ASIMET para la reactivación de la industria.

No obstante, las necesidades del país tanto internamente como en los contextos competitivos internacionales plantean desafíos superiores para el desarrollo de la industria manufacturera nacional.

■ Visión 2030

Hacia el 2030 en este Escenario I, la manufactura experimentará una renovación importante caracterizada por productos y servicios avanzados habilitados por tecnología I4.0 (mejores desempeños y mayor sustentabilidad) a la vez del retiro progresivo de otros.

Esto como respuesta a los desafíos económicos, sociales y ambientales que enfrenta la industria nacional. Considerando principalmente innovaciones incrementales, así como la mayor variedad y efectividad de los modelos operacionales y de negocios

La manufactura se transforma y tiene resultados e impactos importantes en el país.

■ Prospectivas 2030

Aumentará el uso de productos y servicios avanzados mientras otros irán en retirada

Continuará y se acelerará la tendencia - ya expresada - de disminución y retiro de algunos productos y servicios manufactureros. Por ejemplo: partes y piezas tradicionales; equipos, dispositivos, materiales con huella carbono alta.

Simultáneamente, continuarán y se acelerarán las tendencias a mejorar y aumentar los productos y servicios manufactureros que usan tecnologías avanzadas I4.0. En particular, en ámbitos en que se manifiestan demandas evidentes.

Por ejemplo, en productos y procesos productivos: componentes de naves marítimas y aéreas; manufactura constructiva de viviendas en madera, equipamiento eléctrico (transformadores, equipos de subestaciones y otros); equipamiento para minería, acuicultura, industria forestal y agropecuaria; envases inteligentes; explosivos más seguros, precisos y eficientes; fertilizantes y productos de nutrición vegetal; litio y sus derivados; remanufactura a partir de equipos usados; productos que facilitan la transición a economía circular; alimentos más saludables. En figura siguiente se presenta el caso Neptuno Pumps, empresa chilena que fabrica bombas de agua, principalmente para la minería, usando tecnologías I4.0 y aplicando remanufactura.

Ejemplos en el ámbito de servicios: I+D orientada al mejoramiento significativo; diseño más sistémico; mantenimiento predictivo y adaptativo; ingeniería del valor; servicios de remanufactura; servicios de aumento de sustentabilidad y de transición a economía circular.

Estos productos y servicios usarán cada vez más las tecnologías i4.0 relevantes - al menos en forma básica - para lograr "lo mejor de lo mismo", en la lógica del mejoramiento continuo industrial. Principalmente adoptando tecnologías de alta calidad - efectividad más que haciendo innovaciones (a diferencia de lo que expone en secciones siguientes).

Los desafíos de ingeniería que plantean estas transformaciones son: estar continuamente en el estado del arte internacional en las tecnologías manufactureras 4.0 y sus formas de aplicación; articulación efectiva con la investigación y desarrollo relevante y con los nuevos tipos de diseños de sistemas productivos; velocidad para realizar los proyectos e implementaciones en las ventanas de tiempos disponibles según la competencia internacional; articulación de actores productivos en y entre las empresas.

Surgimiento y despliegue de nuevos productos y servicios habilitados por tecnologías I4.0

En los años recientes se empezaron a desplegar nuevos tipos de productos y servicios a nivel internacional en la lógica industria 4.0. Varios de ellos son novedosos para países como Chile. En los próximos años estos productos y servicios nuevos proyectarán en el país para contribuir a la renovación de las industrias existentes (no solo mejoramiento de lo existente). También - y muy importante - harán posible la generación de nuevas industrias, lo que se aborda en el Escenario II de este informe.

Esta dinámica de despliegue de nuevos productos y servicios se complementa con la dinámica señalada en la sección anterior sobre aumento y mejora de los productos y servicios avanzados existentes. Esto posibilita sinergia entre ellas y transiciones de evolución en la industria manufacturera.

Ejemplos, de productos y servicios nuevos son: partes y piezas I4.0 en mercados internacionales; manufacturas con huella carbono y de agua bajo umbral de sustentabilidad; mantenimiento y otros servicios con gemelos digitales con criterios de gestión de ciclo vida de productos; manufactura como servicio sistemático (con modelo negocios adecuado, MaaS); servicio de I+D para renovar e innovar incrementalmente las industrias y los encadenamientos productivos; vehículos semi autónomos para usos industriales; transición efectiva a electromovilidad; materiales celulósicos y de otra fuente que sustituyen plástico; fundiciones de nueva generación (I4.0 + nuevas fuentes energía); productos en la cadena de valor de litio, molibdeno, y otros.

Estos productos y servicios usarán las tecnologías I4.0 para lograr formas renovadas y optimizadas de las soluciones (sistemas) existentes. Es decir, integrarán la lógica de mejoramiento continuo con la de innovación incremental en las industrias. Esto se diferencia de las innovaciones mayores y disruptivas que se abordan en el Escenario II.

Los desafíos de ingeniería que plantean estas transformaciones – además de los señalados en la sección anterior - son: mover incrementalmente el estado del arte internacional en las aplicaciones de las tecnologías manufactureras 4.0; articulación efectiva con la investigación y desarrollo relevante para innovación incremental en el contexto de nuevos tipos de diseños de sistemas productivos; logro de mayor velocidad de desarrollo e implementación de soluciones tecnológicas que las competidores internacionales en algunos ámbitos manufactureros seleccionados; integración de actores productivos entre las empresas.

Aumentará la variedad y efectividad de los modelos operacionales y de negocios

La evolución de industria manufacturera hacia Industria 4.0 combina el uso de tecnologías avanzadas con nuevos y mejores modelos operacionales y de negocios, la que habilita mejores y nuevos productos, servicios y sistemas productivos. Esto es una red retroalimentada a escala internacional que articula varios polos industriales. Mientras están en disminución y retiro algunos modelos (como las maestranzas tradicionales), otros modelos se han empezado a desplegar y continuarán haciéndolo con mejoras relevantes en el futuro próximo. Tanto para mejorar las industrias existentes, como para renovarlas y desarrollar nuevas industrias.

Entre ellos, son destacables los siguientes modelos de mejora de lo existente: industrias nacionales medianas robotizan sus líneas de producción (Industria 3.0 y transición a 4.0) usando servicios externos de calidad y bajo costo (robot como servicio); parte importante de la industria nacional grande opera con criterios de Industria 4.0 usando

modelos de negocios que facilitan sus escalamientos internacionales; inducción de mejora de modelos de negocios; maestrías avanzadas 4.0; modelos de integración inteligente a las cadenas industriales y de suministro internacional; realización de modelos de manufactura avanzada selectiva (apalancando la tracción de la minería, energía, agro y acuicultura); modelo de remanufactura avanzada (desde el diseño de nuevos sistemas productivos basados en Economía Circular).

Combinado con lo anterior, emergen modelos que se desplegarán en Chile y que han empezado a demostrar su aporte en algunos países desarrollados. Entre ellos: pequeña industria aborda el proceso de robotización (Industria 3.0 y transición a 4.0); mediana industria realiza transformación digital integral (más allá de la digitalización de funciones productivas); modelos de integración entre empresas; utilización de datos provenientes de sensores (IoT) en procesos productivos – además de la data de clientes, proveedores y otros – como fuente de valor significativo para la industria manufacturera, especialmente en la gran y mediana empresa; modelos de implementación y uso efectivo de sistemas basado en inteligencia artificial en procesos productivos (al menos en la gran industria, pero también con casos relevantes en Pymes); modelos de industria manufacturera para reducción importante de la huella de carbono y de agua, en particular en la mediana y gran industria; modelos de comunidades colaborativas de fabricación; modelos de aceleración de la transición industrial a la participación en mercados internacionales (aumento las ventajas en segmentos competitivos); modelos ESG (Enterprise Sustainable Governance) de producción industrial asistidos por lógica 4.0; modelos avanzados de economía circular, en particular usando redes articuladas con los actores relevantes.

Parte de los nuevos modelos toman la forma de políticas públicas, otros son propios de los actores económicos, otros son híbridos.

La manufactura se transforma y tiene resultados e impactos importantes en el país

En su transición a industria 4.0 y su despliegue intenso generará importantes resultados para la propia industria, para las personas y para el país.

Entre ellos son destacables: atracción de emprendedores y empresarios a la manufactura 4.0; aumento y mejor calificación del empleo relacionado con la industria manufacturera, principalmente en la modalidad de servicios diversos, parte importante de los cuales son realizables a escala internacional (mientras baja el empleo directo en la manufactura debido a la automatización avanzada, el empleo en los servicios asociados aumenta usando los modelos de negocios adecuados en proporciones n:1); aumento de la creación de valor económico, social y ambiental; habilitación de políticas públicas de nueva generación (programas e incentivos significativos para desarrollo tecnológico aplicado a la manufactura 4.0 y su uso; capital humano en el estado del arte en tecnologías, productos y servicios de manufactura 4.0; inversión adecuada en I+D estatal e incentivos al I+D de la empresa privada para manufactura 4.0; inversión pública y privada en industria, en particular orientada a la exportación); mejoramiento de las relaciones de actores en los modelos de triple – cuádruple – quintuple hélice (en particular, mejoras en la relación universidad – empresa, empresa – estado, empresa – comunidades; entidades de I+D en manufactura 4.0 – en particular de inteligencia artificial - de calidad y escala internacional que anticipan y acompañan el despliegue industrial); mejor cumplimiento de los ODS; mejor inserción del país en las dinámicas económicas y de sustentabilidad internacional.

3.8 Economía Digital

Antecedentes

Alcance de la industria digital

Las tecnologías digitales soportan cada vez más las transacciones de la economía “real”, y están siendo inseparables del funcionamiento de esta última. Cuando nos referimos a Tecnologías digitales el alcance es **TICAR**: Tecnologías de la Información, Comunicaciones, Automatización y Robótica. Las diferentes tecnologías y los aspectos económicos de la economía digital pueden ser categorizados en los componentes principales:

- Elementos centrales de la economía digital, que comprenden innovaciones fundamentales (semiconductores, procesadores), tecnologías centrales (computadoras, dispositivos de comunicaciones, Ciberseguridad) y habilitación de infraestructuras (Redes de Internet y comunicaciones, Datacenters, Clouds, plataformas SaaS).
- Economía Digital: Servicios digitales y economía de las plataformas, que generan productos o servicios claves que se basan en tecnologías digitales centrales (SaaS: Software as a Service), incluyendo plataformas digitales, aplicaciones móviles y servicios de pago. La economía digital se ve afectada en gran medida por servicios innovadores en estos sectores, que están haciendo una contribución creciente a la economía y la sociedad, así como permitiendo posibles efectos secundarios en otros sectores.
- Economía Digitalizada: Un conjunto más amplio de sectores en digitalización, que incluye aquellos en los que los productos digitales y los servicios se utilizan cada vez más, por ejemplo, para comercio electrónico y servicios financieros. Esto incluye sectores habilitados digitalmente en los que han surgido nuevas tecnologías digitales.
- Economía compartida: nuevos servicios en la economía en que se comparten activos subutilizados (finanzas, viajes, tiempo, habilidades, espacio físico, etc.) gracias a plataformas de servicio que hacen el vínculo entre oferta no organizada ni estructurada ex-ante y la demanda respectiva.

En este informe cuando nos referimos a “industria digital” hacemos referencia a las primeras dos categorías. Esto corresponde a lo indicado como “Narrow scope: Digital Economy” en la Figura 3.8.1. El llamado “Broad scope: Digitalized Economy” corresponde al ámbito completo de este informe de Prospectivas de la Ingeniería.

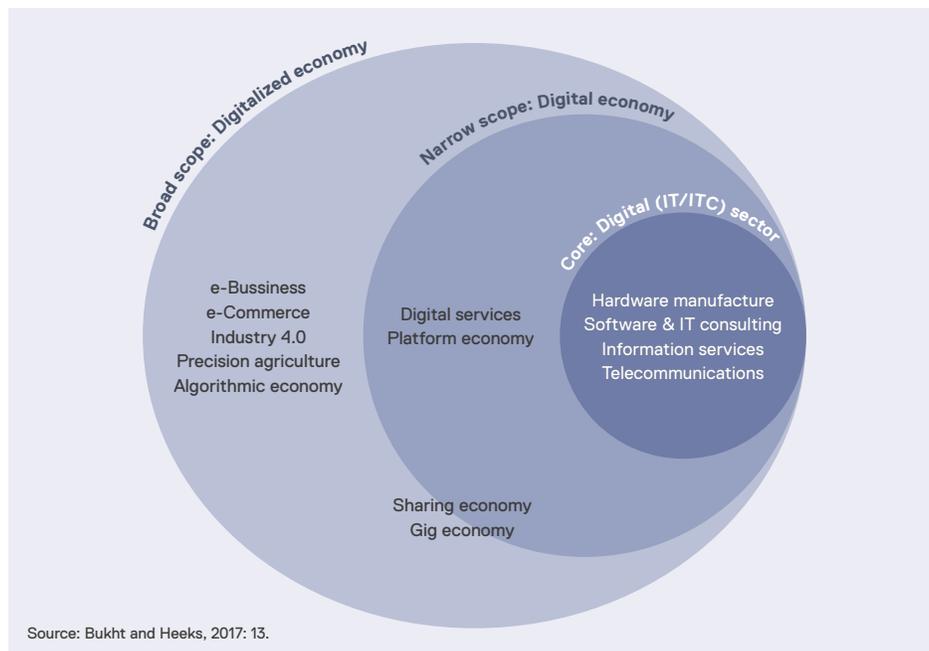


Figura 3.8.1. Representación de la Economía Digital
Fuente: Digital Economy report 2019. Value creation and capture: implications for developing economies

Situación de la industria Digital

La industria internacional está dominada por parte de proveedores de plataformas (Facebook, Apple, Amazon, Netflix, Microsoft). Los proveedores globales de servicios de nube se han instalado en Chile, con construcción masiva de data centers en varias ubicaciones.

Respecto del sistema institucional local podemos citar una serie de actores que intervienen en la economía digital: Ministerio de economía; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación; Ministerio Secretaría General de la Presidencia a través de la División de Gobierno Digital; y Ministerio del Interior a través de CSIRT en temas de Ciberseguridad.

Respecto del marco legal y regulatorio cabe destacar las siguientes leyes y proyectos de ley:

- Ley Transformación Digital del Estado aprobada y que se encuentra en etapa de marco regulatorio.
- Proyecto de ley que regula el contrato de los trabajadores que desarrollan labores en plataformas digitales de servicios (Rappi, Uber Eats y otros de similar naturaleza).
- Proyecto de ley que establece garantías básicas a las personas que prestan servicios a través de plataformas digitales.
- Proyecto de ley que regula la protección y el tratamiento de los datos personales y crea la Agencia de Protección de Datos Personales (Boletín N° 11.144-07), tramitado en forma conjunta con el proyecto de ley sobre protección de datos personales.

- Proyecto de ley del Gobierno que adecua los delitos informáticos al Convenio de Budapest suscrito por Chile.
- Proyecto de ley para fortalecer los derechos de los consumidores (Boletín 12409-03)
- Proyecto de reforma constitucional del derecho a la neuroprotección.
- Proyecto Ley Fintech.

■ Visión 2030

La crisis provocada por la Pandemia (Covid-19) ha acelerado la adopción de las tecnologías digitales en diferentes ámbitos de la economía, en especial la evolución rápida y masiva hacia el uso de servicios digitales, tales como el teletrabajo, teleeducación, telesalud, etc. También, aparecen servicios digitales del gobierno (Comisaría Virtual); Comercio electrónico; Plataformas de delivery; entre otros.

■ Prospectivas 2030

La innovación y el emprendimiento son factores claves en el desarrollo y crecimiento acelerado de esta industria y de sus empresas

Por lo que vemos, las innovaciones en: (1) Elementos centrales de la economía digital, así como en (2) Sectores de Tecnología digital y de la información (TI), que generan productos o servicios claves basados en tecnologías digitales centrales, van a seguir desarrollándose en forma acelerada y exponencial, haciendo uso combinatorio de todas las nuevas tecnologías disponibles.

Sin embargo, cabe destacar algunos factores que creemos van a ser claves en el decenio 2020-2030. Las empresas se movilizarán hacia una infraestructura centrada en la nube con aceleración de la computación en la punta en los dispositivos IOT o en zonas intermedias (fog computing o edge computing). Esta situación se ha visto acelerada debido a los efectos en la fuerza de trabajo y las nuevas prácticas operacionales provocadas por la pandemia.

Se va a instalar un modo de operación híbrido de las empresas, en que las operaciones y los empleados trabajarán tanto desde la casa como desde la oficina. Un factor clave de la sobrevivencia de las empresas será la resiliencia digital de tal forma que se adaptan a la disrupción y extienden sus servicios en respuesta a las nuevas condiciones.

Se va a desarrollar en forma importante la automatización de los procesos de negocio y operacionales utilizando analítica en tiempo real. Así mismo, se va a hacer extensivo el uso de algoritmos de Inteligencia artificial y de Aprendizaje automático para automatizar todos estos procesos y tomar decisiones automatizadas en tiempo real frente a situaciones (datos) habituales, así como frente a nuevas situaciones.

Desde un punto de vista de las relaciones entre las empresas y sus proveedores tecnológicos, estos se convertirán en partners estratégicos, pues serán cada vez más necesarios en la definición de nuevas estrategias digitales tanto operacionales como de negocios y el despliegue ubicuo de recursos.

La TI se incorpora a la economía circular, las principales empresas van a exigir el uso de materiales reciclables a los proveedores de Hardware TI (favoreciendo los que son diseñados con principios de circularidad y reusabilidad), objetivos de carbono

neutralidad a las fábricas de sus proveedores, equipos de bajo consumo de energía, y proveedores de servicio y datacenters comprometidos con el uso de fuentes de energía renovable.

Este proceso de transformación es una necesidad para las empresas y para el estado para mantenerse vigentes en el contexto global. Por ello, es posible esperar que esta transformación ocurra motivada por la necesidad de supervivencia. Sin embargo, si no se adoptan políticas públicas adecuadas, esta transformación ocurrirá en base a proveedores tecnológicos extranjeros, con poco contenido de desarrollo local de tecnología y generando una fuerte dependencia de empresas extranjeras. Además, adecuadas regulaciones y marco legal pueden acelerar el proceso de transformación, y la generación de startups innovadoras proponiendo nuevas ofertas basadas en tecnología. Estas políticas son un requisito para que este escenario pueda desarrollarse adecuadamente.

Los Efectos Combinatorios de la tecnología están acelerando el cambio

El costo decreciente de las tecnologías avanzadas es una característica definitoria de la revolución digital y está jugando un rol mayor en la aceleración de la innovación.

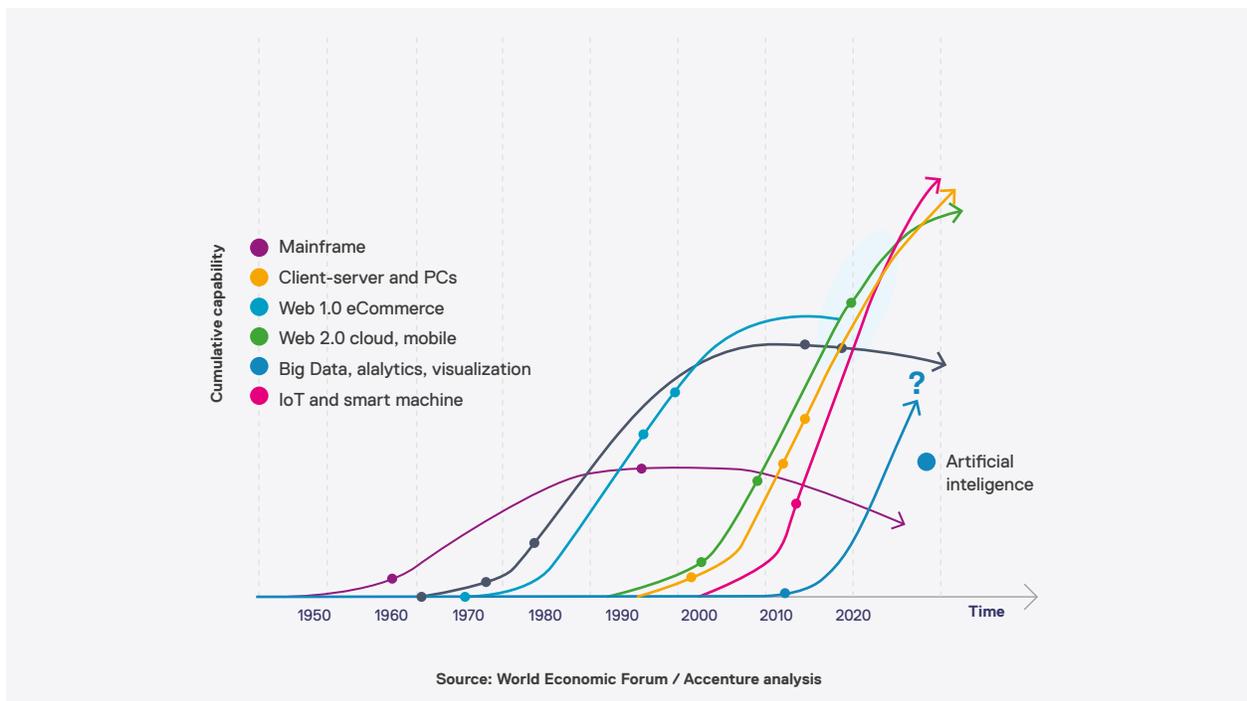


Figura 3.8.2. Incremento en capacidad de almacenamiento
Fuente: WEF Accenture analysis

Internet de las cosas (IoT)

IoT es la agrupación e interconexión de dispositivos y objetos desde todo tipo de sensores, a través de una red, generando diversos tipos de datos que son transmitidos a una entidad central y que permiten entregar capacidad de decisión basada en esa información agregada.

Algunos de los principales campos de aplicación van a ser: Ciudades inteligentes, Smartagro: Digitalización de Cadenas Agroalimentarias y Frutícolas, Industria 4.0:

aplicaciones industriales + Analítica + 5G. Los principales habilitadores de esta tecnología van a ser las nuevas redes tales como 5G o LORA. La Ciberseguridad es un desafío muy relevante en las redes IoT.

Computación en la nube y en la punta (Edge & Cloud Computing)

Cloud computing es un modelo que permite el acceso bajo demanda a través de la red a un conjunto de recursos compartidos y configurables, sean redes, servidores, aplicaciones o servicios, que puedan ser rápidamente asignados y liberados con una mínima gestión por parte del proveedor de servicio.

Edge computing describe una topología informática en la que el procesamiento de información y el contenido de la recolección y entrega se ubican más cerca de las fuentes, repositorios y consumidores de esta información. Intenta mantener el tráfico y procesamiento local para reducir la latencia, explotar las capacidades del borde y permitir una mayor autonomía al límite.

La nube distribuida se refiere a la distribución de servicios de nube pública a ubicaciones fuera de los centros de datos físicos del proveedor de la nube, pero que aún están controlados por el proveedor. En la nube distribuida, el proveedor de la nube es responsable de todos los aspectos de la arquitectura del servicio en la nube, la entrega, las operaciones, el gobierno y las actualizaciones.

Los principales desafíos y oportunidades durante la década son los siguientes:

- Importante migración e integración a la nube desde sistemas locales.
- Se instala administración de nubes híbridas.
- Las empresas locales deberán demostrar sus beneficios frente a nube globales.
- Uso intensivo de nubes como servicio en IA, IoT, Blockchain, containers, serverless, etc.
- Servicios de Seguridad en nube y para datos.

Inteligencia artificial

Es una disciplina que busca la creación de máquinas que puedan imitar comportamientos inteligentes de seres humanos y animales”. El término fue usado por primera vez por John McCarthy en 1955 (McCarthy et al, 2006). Existen varias ramas; Robótica, Visión computacional, Procesamiento de Lenguaje Natural, reconocimiento de Voz, Aprendizaje Automático, entre otras.

El Aprendizaje Automático (Machine Learning) ha tenido grandes avances producto de la cantidad de datos disponibles y aumento de la capacidad de cómputo y nuevos algoritmos potenciados e impactando en muchos ámbitos de la inteligencia artificial.

El Ministerio de CTCL desarrollará e implementará una Estrategia de IA para Chile que considera los siguientes ámbitos: Factores habilitadores; Desarrollo de Industria; Ética y regulación.

Analítica de Datos (BigData Analytics)

Big Data son activos de información de gran volumen, alta velocidad y gran variedad que exigen formas innovadoras de procesamiento para una mejor comprensión y toma de decisiones (Gartner, 2020). La analítica de big data examina grandes cantidades de datos para descubrir patrones ocultos, correlaciones y otros insights. Con la tecnología de hoy, es posible analizar sus datos y obtener respuestas casi de inmediato.

Los sectores que más invierten serán el financiero, el de producción industrial, el comercio minorista, los servicios profesionales y el sector público.

Una de las principales tendencias que impactará a la industria local es la gestión de Información en tiempo real, lo que permitirá disponer en las industrias mencionadas de: Indicadores y métricas, Aprendizaje Automático de escenarios y respuestas, y Gestión y automatización de eventos y alarmas.

Robótica y Automatización robótica de procesos (RPA)

Por un lado, tenemos la robotización de dispositivos de hardware como vehículos autónomos, robots, drones y, por otro lado, la automatización robótica de procesos (RPA) por medio de bots de software. La Inteligencia artificial permite que todos estos objetos autónomos realicen funciones que antes hacían personas, agregando estandarización, precisión, control, monitoreo, optimización y eficiencia a los procesos.

Se va a incrementar en forma importante la robotización industrial, por la escasez de personal y por ahorro de costos. Los principales desafíos van a ser las vulnerabilidades de las redes robóticas, por lo que se deberá potenciar las capacidades en ciberseguridad.

Se van a desarrollar Drones multipropósito. Los principales desafíos van a ser diseñar y construir drones seguros y versátiles. Se abre un espacio de oportunidades para el desarrollo de Apps y tecnología asociada a drones.

El 80% de los Service Desk para empresas globales ya no necesitarán agentes humanos para el primer contacto (Bot). El desafío es mejorar el servicio al reducir los errores, mejorar la calidad y la velocidad (24x7).

El 64% de todos los empleados necesitarán formación en nuevas habilidades durante los próximos cinco años. Se va a requerir y desarrollar un plan de reconversión masivo y continuo, enfocado en estas nuevas habilidades.

Gemelo Digital

Un duplicado digital es una representación virtual de un producto o proceso físico que se utiliza para comprender y predecir las características de rendimiento de su equivalente físico. También se considera una representación digital de entidades del Mundo real o Sistema (Gartner, 2020).

En el decenio, el 50% de las grandes compañías industriales usarán 'Digital Twin' (Gartner, 2021). La industria del diseño y fabricación de productos utiliza desde hace años técnicas PLM (gestión del ciclo de vida del producto). Se fomenta el desarrollo de este tipo de tecnología en los grandes desafíos que tiene el país: la planificación de las ciudades; el transporte público; procesos de evaluación ambiental; uso de energías renovables; y uso de recursos hídricos entre otros.

Blockchain y monedas digitales

Es una estructura de datos en la que la información contenida se agrupa en conjuntos (bloques) a los que se le añade metainformación relativas a otro bloque de la cadena anterior en una línea temporal, de manera que, gracias a técnicas criptográficas, la información contenida en un bloque solo puede ser repudiada o editada modificando todos los bloques posteriores.

Las principales tendencias en esta década son: la maduración de cripto monedas y monedas digitales emitidas por Bancos Centrales; la certificación en cadenas de valor; las capas de abstracción de Middleware para Blockchain; y la automatización en la Generación de Contratos Inteligentes (*Smart Contracts*).

Se desarrollan los siguientes casos de uso: criptomonedas para las Remesas internacionales. Banco Central tiene su peso digital; la Bolsa de Comercio utiliza plataformas blockchain para cierto tipo de transacciones financieras y se utiliza blockchain para cadenas de logística internacional.

Realidad Aumentada (AR) y Realidad Virtual (VR)

La realidad aumentada (AR) es el uso en tiempo real de información en forma de texto, gráficos, audio y otras mejoras virtuales integradas con objetos del mundo real. Es este elemento del “mundo real” lo que diferencia a AR de la realidad virtual. La realidad virtual (VR) proporciona un entorno 3D generado por computador que rodea al usuario y responde a las acciones de un individuo de forma natural, generalmente a través de pantallas inmersivas montadas en la cabeza. El reconocimiento de gestos o los controladores portátiles proporcionan seguimiento de manos y cuerpo, y se pueden incorporar comentarios sensibles al tacto.

Las principales oportunidades y desarrollos que se prevén en esta década son: visualización de videos educativos en 360 grados (K-12 y postsecundaria), diagnóstico de anatomía, diseño arquitectónico, juegos de AR, entretenimiento en cine y televisión, producción de películas / largometrajes, mantenimiento industrial, videografía interna, logística y gestión de entrega de paquetes, visitas a museos y galerías, exhibiciones minoristas en línea, montaje y seguridad en el sitio, entre otros.

Ciberseguridad

La necesidad de operar con sistemas interconectados, entre todos los actores de las cadenas de valor, incluyendo el trabajo y comercio remotos, y con componentes en la nube, genera una creciente exposición a los ataques cibernéticos, lo que ha generado una creciente industria de ciberataques, que debe ser contrarrestada con estrategias de ciberseguridad cada vez más completas.

Las principales tendencias son: la seguridad es independiente de la ubicación; la comprensión de los riesgos de la seguridad a nivel de directorios de empresas; la evolución de la tecnología de seguridad: nube, privacidad e identidad de equipos.

Casos de estudio

Caso 1 – El desarrollo acelerado de emprendimientos Fintech en Chile

El sector de Fintech hace referencia al sector de servicios financieros apalancados en tecnologías como Big Data, Software, la Inteligencia artificial y el Blockchain. Una startup Fintech es una empresa que ofrece soluciones tecnológicas para mejorar, personalizar y automatizar la entrega y el uso de servicios financieros. Dentro de los servicios que estas empresas ofrecen se encuentran: los métodos de pago online, los préstamos pre-aprobados, las transferencias de dinero, la administración de inversiones, entre otros. El ecosistema Fintech en Chile ha registrado un incremento total de casi 60% en el número de emprendimientos Fintech pasando de 112 en julio de 2019 a 179 en marzo de 2021.

En la cuarta edición del Fintech Radar de Chile, realizado por Finnovista en colaboración con el Banco Interamericano de Desarrollo, el Ministerio de Hacienda de

Chile y FinteChile, se observa un patrón similar al de otros países latinoamericanos en términos de crecimiento y consolidación observado por el incremento en el número de empresas del sector. Según la encuesta, se encontró que el modelo de negocio prevalente en la industria es negocio a negocio (B2B, por sus siglas en inglés), ya que el 68% de las empresas Fintech chilenas dirigen sus soluciones a diversos tipos de empresas, entre los que destacan pymes no bancarizadas y sub-bancarizadas con una prevalencia del 71% y 76% respectivamente.

Asimismo, se encontró que el desafío de la mayoría de las empresas del sector (59%), es el de escalar sus operaciones. Uno de los principales resultados es que una regulación idónea podría ser un factor relevante para facilitar el desarrollo de ciertos modelos de negocio, pues 48% de las startups encuestadas consideran que actualmente no existe una regulación específica para su modelo de negocio y se requiere; el 85% de las Fintech chilenas creen que un marco regulatorio de finanzas abiertas u “Open Finance” contribuiría positivamente a su crecimiento a escala.



Figura 3.8.3. Tecnología en el sector bancario y financiero

Algunas de las startups fintech destacadas en Chile son:

- Payments & Remittances: Global66
- Lending: Cumplo
- Digital Banking: OmniBnk
- Scoring, Identity & Fraud: Destácame
- Wealth Management: Fintual
- Personal Financial Management: Ubank

Por orden de relevancia, la distribución de los startups Fintech en Chile es la siguiente:

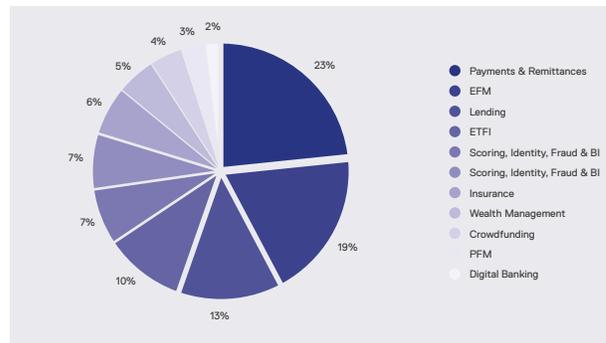


Figura 3.8.4. Fintech Radar Chile
Fuente: innovista 2021

Caso 2 – El desarrollo del comercio electrónico

Las medidas de confinamiento impuestas en Chile durante la Pandemia han tenido un efecto claro en el crecimiento del eCommerce. Pasó de representar el 7% de las ventas totales del comercio en 2019, al 11% el 2020 y se estima que llegue al 20% o más en el 2023, de los cuales el 73% de los consumidores declaran que se mantendrán al menos en una modalidad de compra mixta: presencial y online. El 89% utilizó la entrega en domicilio facilitado por el importante crecimiento de las plataformas de delivery. La composición de las compras on line es la siguiente:

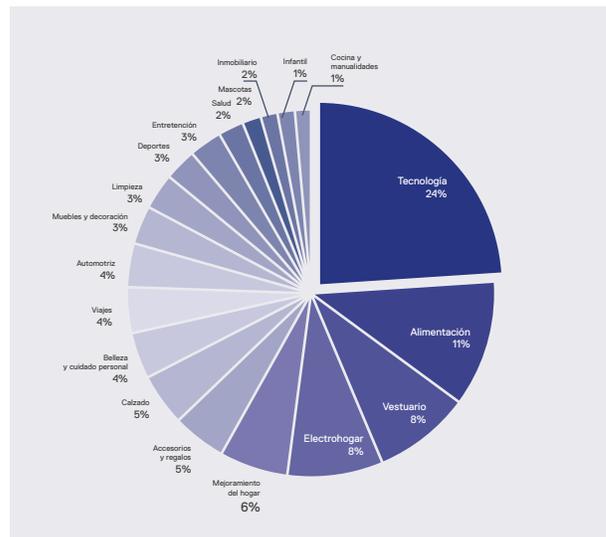


Figura 3.8.5. Composición de las compras online declaradas por consumidor 2020
Fuente: CCS, Kawesqar

Así mismo, el crecimiento de las ventas de canal online de los supermercados ha sido muy relevante.

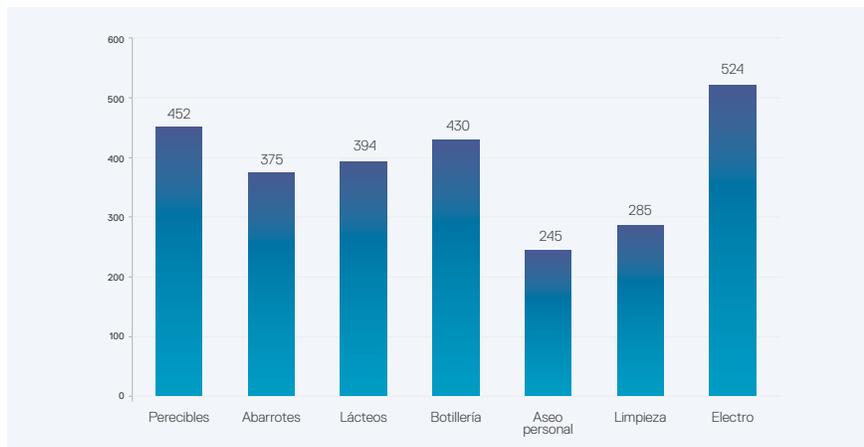


Figura 3.8.6. Crecimiento ventas canal on line supermercados Q1 2021
Fuente: Nielsen

3.9 Infraestructura digital

Antecedentes

Para el desarrollo de la industria 4.0 en Chile, en sus distintos ámbitos, es fundamental contar con infraestructura digital de telecomunicaciones (IDT) de amplia cobertura nacional, alta disponibilidad, resiliente y con capacidades adecuadas para enfrentar y soportar la digitalización de las distintas industrias.

En relación al despliegue de redes fijas, Costa Rica y Chile son los países en la región con mayor inversión per cápita, con USD 930 y USD 830 por habitante respectivamente. La inversión acumulada en despliegue de telecomunicaciones, en 12 países de la región, alcanzó los USD 153.000 millones, entre 2008 y 2017. Argentina, Colombia y México fueron los países que más invirtieron en dicho periodo.

A pesar de lo anterior, de acuerdo con el estudio Universidad de Chile, al 2018, solo el 76% de las comunas en Chile tenían “algún” tendido de fibra óptica, lo que no implicaba que tuvieran conexión. La situación antes descrita ha mejorado en los últimos cinco años, debido a un significativo despliegue de redes de fibra óptica junto a la localización de torres, antenas, macro y micrositos. En términos de redes ópticas, gracias a proyectos públicos y privados, se han desplegado más de 7.000 km de fibra a lo largo del país. Destacan las iniciativas privada Prat, primer cable submarino que cubre desde Arica a Puerto Montt, y las iniciativas impulsadas por el gobierno, FOA y FON .

Con lo anterior, según Subtel, al año 2020 Chile contabilizaba 12.000 km de fibra oscura y, de acuerdo con datos de OCDE, se posiciona por sobre el promedio, con un 32,8% de conexiones por fibra óptica sobre el total de conexiones fijas de banda ancha.



Figura 3.9.1. Despliegue de fibra óptica
Fuente: Statista

Aún con estos avances, la penetración en conexiones fijas sigue siendo baja (3,8 millones), con alta concentración en zonas urbanas. A 2019, había 1.495 localidades sin ningún tipo de conectividad, y 200 comunas (de 346) con menos de 20% de conectividad fija⁵². Si bien las conexiones fijas por cable modem (HFC) son las predominantes, las que han tenido el mayor crecimiento en los últimos cinco años, han sido las de fibra óptica (FTTX), con un incremento del 37,6% de acuerdo con OCDE, muy por sobre el crecimiento promedio de los países del conglomerado.

Con los nuevos despliegues, las proyecciones del país son superar los 24.000 km de fibra en corto plazo. Para ello, en mayo de 2021, el Ministerio de Transportes y Telecomunicaciones (MTT) junto a representantes de la industria anunciaron el “Acuerdo Nacional por la Conectividad Para Reducir la Brecha Digital”⁵³, compromiso que contempla una inversión pública y privada cercana los USD 2.000 millones, trazando un plan que compromete tres objetivos:

1. Definir acciones que permitan mejorar la conectividad en zonas vulnerables.
2. Impulsar la economía digital con el desarrollo de 5G: Incentivar el desarrollo de 5G para la creación de nuevos mercados en áreas como minería, transportes, logística, energía, etc.

⁵² <https://www.subtel.gob.cl/estudios-y-estadisticas/internet/>

⁵³ <https://www.subtel.gob.cl/gobierno-e-industria-de-las-telecomunicaciones-anuncian-acuerdo-nacional-para-reducir-la-brecha-digital/>

3. Capacitación y formación en nuevas habilidades digitales para crear una fuerza laboral para enfrentar los desafíos que plantea la economía 4.0.

Además, el país ha experimentado un aumento en conexiones internacionales vía cables submarinos, con el arribo de dos nuevos cables, Mistral-South Pacific Cable System (Telxius y CLARO, 2021) y Curie (Google, 2020).

Otro aspecto clave para el desarrollo de la industria digital, es contar con mayor y mejor despliegue de redes móviles. En este sentido, Chile destaca en este ámbito, con un fuerte crecimiento en conexiones 4G y actualmente, con un gran impulso al despliegue de 5G. Cabe destacar que, entre 2017 y 2019, nuestro país se ha situado dentro de los ocho países con mayor uso de banda ancha móvil de acuerdo con los datos recopilados por OCDE.

Por su parte, la promesa de 5G aún está en su etapa inicial⁵⁴. Los estudios internacionales indican que es precisamente en 5G donde se encuentra el mayor potencial para generar ingresos por parte de las empresas de telecomunicaciones, pero para su implementación se requiere del despliegue de redes de fibra y aumentar considerablemente las antenas. En Chile Subtel realizó cuatro licitaciones de espectro y estima que se necesitará duplicar la cantidad de antenas que el país tiene hoy desplegadas, para pasar desde las 30 mil existentes hasta 60 mil unidades en total. Con todo, en una evaluación inicial Subtel estima que para llegar al 90% de la población, se requerirá una inversión de USD 3.500 millones en los próximos años.



Figura 3.9.2. Despliegue mundial de 5G
Fuente: Statista

Otro aspecto crítico para aumentar la cobertura es el despliegue de redes satelitales, en especial en países como Chile, que debido a sus características geográficas es poco probable que las redes fijas lleguen a todos los territorios. La tecnología satelital ha experimentado un gran avance a nivel mundial, aumentando la capacidad de transmisión y eficiencia (+100 Gbps total)⁵⁵. Los nuevos satélites de órbita terrestre baja, LEO, ofrecen comunicaciones más rápidas y, proporcionan un mayor ancho de banda por usuario que los satélites GEO.

⁵⁴ https://www.gsma.com/mobileeconomy/wp-content/uploads/2020/03/GSMA_MobileEconomy2020_Global.pdf

⁵⁵ <https://asiat.lat/actualidad/opinion/terabits-desde-espacio-la-tecnologia-proxima-generacion-redefine-rol-del-satelite-las-redes-globales>

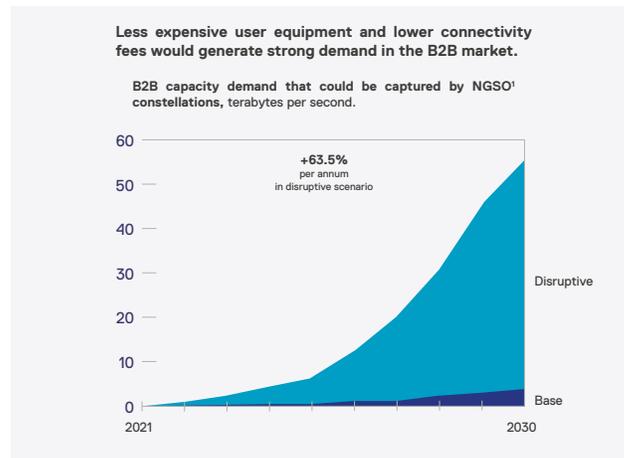


Figura 3.9.3. Evolución esperada de capacidad de satélites
Fuente: Mckinsey

Actualmente, compañías como Amazon o SpaceX, están desplegando su propia red de satélites para proporcionar acceso a las regiones más remotas. Estas empresas planean lanzar 3.200 y 12.000 satélites respectivamente. Por su parte, Mckinsey estima que alrededor de 50.000 satélites LEO orbitarán en los próximos diez años⁵⁶. Según la consultora, si los proveedores de grandes constelaciones LEO reducen significativamente los precios de los equipos y conectividad, surgiría un escenario disruptivo en B2B: la demanda de conectividad satelital aumentaría en un 65 por ciento anual hasta 2030.

Las redes satelitales de comunicación tendrán un papel clave en el despliegue del 5G, podría sustituir a la fibra óptica para interconectar las zonas rurales. Esto es especialmente relevante para un país como Chile que, por su geografía y distribución poblacional, es muy complejo logra llegar con fibra óptica a una parte importante del territorio.

Síntesis del estado del arte de la IDT en Chile

De acuerdo con Subtel, esta industria cuenta con mayor estabilidad respecto a otras, ya que opera bajo un marco regulatorio estable. Es un sector altamente intensivo en el uso de CAPEX, destinado a despliegue de redes e infraestructura para responder oportunamente a los cambios tecnológicos y mantener su posición competitiva. En los últimos años sector ha transitado hacia un ambiente de mayor competencia, con una reconfiguración de la industria, pasando de un oligopolio a contar con altos niveles de competencia. Esto se ha debido a la implementación de la portabilidad numérica, el ingreso de nuevos operadores y la licitación de bandas para el desarrollo de tecnologías 4G.

El sector de Telecomunicaciones, en lo relativo a comunicaciones fijas, ha sido dinámico, pero aún queda mucho para que el país cuente con las condiciones para hacer frente a la revolución digital, sin que ello genere brechas profundas e inequidades en los distintos sectores de la industria y la sociedad. Por ello, estas inversiones deben ser estimuladas y con el advenimiento de la industria 4.0, los desafíos para esta industria, en nuestro país, se pueden resumir en:

- Potenciar su capilaridad y cobertura
- Aumentar la velocidad y calidad

⁵⁶ <https://www.mckinsey.com/industries/aerospace-and-defense/our-insights/large-leo-satellite-constellations-will-it-be-different-this-time>

- Mejorar disponibilidad y resiliencia
- Mayor seguridad
- Resguardar privacidad de los datos
- Promover un sistema más eficiente que propicie inversiones y desarrollos y participación/compromiso de otros actores
- Mejorar/modernizar regulación

Además de lo anterior, la industria 4.0 requerirá una nueva arquitectura de red, con desarrollos tecnológicos que ya están siendo implementados y permiten optimizar las redes existentes y mejorar el desempeño para nuevas infraestructuras. Dentro de estos avances podemos destacar:

- Redes ultradensas para el eficiente desempeño de 5G (Alta densidad de Small Cells)
- Fibra óptica masiva, a gran escala, con soluciones de última milla y más cercana al hogar
- Micrositios y mayor densidad de radio bases.
- RAN en Cloud para agregar mayor flexibilidad y versatilidad a las redes
- Implementación de tecnologías como: SDN (Software Defined Networking); NFV (Networking Function Virtualization); MEC (Mobile Edge Computing); FC (Fog Computing).

■ Visión 2030

La Asamblea General de Naciones Unidas ha declarado el acceso a internet como un derecho humano inalienable. Así, considera a internet como un instrumento insustituible en la realización de una serie de derechos humanos y en la lucha contra la desigualdad⁵⁷. La pandemia, por su parte, se ha convertido en la constatación fáctica de que, sin conectividad de calidad, las personas no tienen acceso a llevar adelante sus actividades y tareas, ni tampoco a sus derechos fundamentales.

El análisis de la evolución de las telecomunicaciones y su impacto en la sociedad, tanto en un escenario evolutivo como disruptivo, no puede hacerse exclusivamente desde la mirada tecnológica, limitándose a considerar solo aspectos como las tecnologías que van de salida, sus condiciones de mejora y avances tecnológicos imperante, ni las disrupciones que ocurrirán en el futuro cercano, sin entender el impacto político y social que conllevará este cambio tecnológico.

La evolución y masificación de las infraestructuras digitales de telecomunicación generan un gran impacto, no solo en la economía del país sino que también en la propia industria, la que deberá responder con un cambio radical en el formato de su oferta de servicios para satisfacer a los cada vez más exigentes usuarios digitales y a la demanda híper creciente de ancho de banda que se producirá en los próximos años, teniendo que pasar desde la típica provisión de un enlace para datos, TV cable y/o telefonía, a ser empresas de servicios digitales, incorporando cada vez más tecnologías.

Las telecomunicaciones, la conectividad, el acceso a internet para todos los chilenos, la banda ancha de calidad, son parte de los pilares que el país necesita para alcanzar el desarrollo, junto con el impulso del capital humano, educación y capacitación, un estado 100% digital, investigación y desarrollo e institucionalidad para sustentar una estrategia digital nacional de largo plazo. Así es como este tema debe mirarse, no solo como la tecnología por la tecnología, sino que como un objetivo país para alcanzar el desarrollo.

⁵⁷ [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/24881/2/BCN_Garantia_de_acceso_a_Internet._Leg._Extranjera_%20\(1\).pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/24881/2/BCN_Garantia_de_acceso_a_Internet._Leg._Extranjera_%20(1).pdf)

■ Prospectivas 2030

Chile avanzará hacia marcos regulatorios y de política pública que propicien el despliegue de más y mejor infraestructura digital de telecomunicaciones

En términos estratégicos, en un escenario evolutivo, de salida quedarán las regulaciones inflexibles que entorpecen la inversión de las empresas, la complejidad para obtener los permisos municipales con engorrosos trámites, la existencia de una ley de antenas que no contribuye a la agilidad con que las empresas deberá moverse para cumplir las demandas; el alto costo de romper y tapar veredas para instalar ductos uno sobre otros en el mismo lugar, la poca flexibilidad y facilidad para acceder a infraestructura disponible en edificios por ejemplo. Todas estas regulaciones se deberán modernizar integralmente.

Del mismo modo, se deberá modernizar el marco regulatorio en aspectos como, por ejemplo, regulaciones de la administración del espectro haciendo un mejor uso del mismo, usar bandas con mejores condiciones de propagación para facilitar la ampliación del 4G y propiciar la entrada del 5G, permitir una mayor densidad de antenas, legislar adecuadamente sobre la desagregación obligatoria de redes.

La Ley de Neutralidad de la Red deberá adaptarse/flexibilizarse a los escenarios de convergencia tecnológica y de hiper-conectividad. Muchas de las nuevas demandas van a necesitar características especiales (tráfico con necesidades de latencias especiales, QoS, seguridad, etc.).

En síntesis, se establecerán marcos regulatorios mejorados con reglas que estimulen la inversión, promuevan y faciliten la competencia, innovación y la inversión para desarrollo y despliegue de IDT.

Con la irrupción de la industria 4.0 y una sociedad más digitalizada por efectos de la pandemia, habrá una mayor sensibilización en los tomadores de decisión e industria en relación a las desigualdades de conectividad de calidad del país. Frente a ello, se proyecta una intensificación en los subsidios del gobierno orientados a la conectividad en las zonas de baja densidad del país, una mejor orquestación de los recursos y un mayor compromiso de la industria, para llegar con conectividad, idealmente, a todo el territorio.

Chile será un Hub de Conectividad Internacional

Chile ha mantenido un ritmo de crecimiento sostenido del sector de Infraestructura Digital de Telecomunicaciones en los últimos tres años. En este escenario evolutivo, de alta probabilidad, se espera mantener la tendencia y fortalecer las conexiones vía cables submarinos, mejorando los precios de Internet Internacional y servicios en nubes. Además, al 2030, Chile debería haber concretado el Cable Humboldt e iniciado el despliegue del cable a Antártida.

En término de conexión intercontinental, se concretará el despliegue de Corredores Bio-oceánico entre países de la región con tendidos de nuevas fibras entre los cruces fronterizos que otorgarán resiliencia y nuevas rutas para movilizar datos. Al menos con Brasil y Argentina.

Con todo lo anterior, Chile fortalecerá su conexión internacional y eliminará la dependencia en telecomunicaciones de Estados Unidos.

Al 2030 se mejorarán en los mecanismos de intercambio de infraestructura y la garantía de competencia para la conectividad nacional

El país continuará con los proyectos privados y público-privados para el despliegue de fibra óptica a nivel nacional, aportando nuevas rutas para respaldo y mejoramiento de las rutas digitales actuales. Chile se mantendrá sobre la media de OCDE y llegará a un 40% de conexiones fijas de banda ancha.

En fibra a empresas y hogar, aumentará la cobertura, aunque se mantendrá concentrando en zonas altamente pobladas y/o con polos industriales importantes. En términos de precios, se continuará bajando los costos de conexión, manteniendo una posición de liderazgo en la región y por sobre la media de OCDE.

Un aspecto clave que se proyecta al 2030 será la mejora en los mecanismos de intercambio de infraestructura y la garantía de competencia, a través de la evolución en la regulación actual, y una mayor coordinación y eficiencia entre los distintos actores para facilitar nuevos despliegues de redes de alta velocidad (por ejemplo, coordinaciones en términos de ductos en obras civiles y permisos entre MOP, Subtel, municipalidades, empresas constructoras, etc.). Con lo cual se avanzará hacia un trabajo más integrado entre los operadores con proyectos en colaboración para la renovación de redes de fibra y/o nuevos trazados.

Otra característica del escenario evolutivo en materia de telecomunicaciones será un cambio en la base de jugadores, se proyecta que se integren más actores que cuentan con infraestructura óptica para su operación propia, pero que hasta ahora han estado o fuera o marginalmente participando de este sector. Este es el caso de empresas eléctricas, EFE, Metro, entre otras.

Tomado el desafío planteado en el estudio realizado por la Universidad de Chile, un objetivo país al 2030 será alcanzar el 90% de las comunas sean doble-conexas lo que implica que al menos tendrán dos fibras ópticas distantes que pasen por ellas.

En términos tecnológico, se realizará una optimización de la inversión de infraestructura con mayor penetración de tecnologías con base SDN (software designed networks) y NFV (network function virtualization), con redes autónomas ampliamente desplegadas.

Se habrá consolidado el despliegue de 5G y estará operando comercialmente en algunos de los denominados Polígonos Industriales 5G, que corresponden a sectores económicos con mayor potencial de aprovechar las capacidades de esta tecnología.

La matriz de infraestructura digital, en cuanto a composición, seguirá siendo similar a la actual, potenciada con antenas para soportar 5G, cuya penetración aún será baja.

No se visualiza un desarrollo importante en tecnología satelital de telecomunicación propia, pero si el despliegue de iniciativas internacionales con servicios en plena operación y a costos competitivos.

En términos de calidad, los servicios de conectividad tendrán sistemas de mediciones objetivas de calidad de servicio para la asignación y mantención de concesiones.

Además, para el 2030 se proyecta la consolidación la Estrategia Nacional de Seguridad digital y Chile avanzará hacia la Ciber-Resiliencia de las redes y seguridad de las redes cibernética.

La “conectividad como un derecho” o ACCESO UNIVERSAL, será uno de los derechos incorporados al catálogo derechos de la nueva Constitución, más que solo acceso, primará la calidad (En 2010, Finlandia se transformó en el primer país en asegurar como Estado el derecho ciudadano a tener banda ancha de 1Mbps

Casos de estudio

Caso 1: Finlandia se convierte en el primer país que eleva al nivel de derecho fundamental el acceso a internet de alta calidad⁵⁸

A partir del 01 de julio de 2010, el Ministerio de Transporte y Comunicaciones anunció que cada finlandés tendrá derecho a una conexión de banda ancha de un megabyte por segundo. Esto ha marcado la hoja de ruta del país, que hoy se posiciona como líder europeo, con los mejores indicadores El Índice de Economía y Sociedad Digitales (DESI)

De acuerdo con la publicación de BBC, a julio de 2019, los cinco países más “conectados” del mundo y dónde tener acceso a internet es considerado un derecho básico eran: Estonia, Finlandia, Israel, Canadá y Corea del Sur.

Finlandia fue pionera en incluir la rapidez de la conexión en julio de 2010, pese a que algunos países ya habían dado el estatus de derecho básico al acceso a internet. Esto sentó las bases para que otras naciones legislen sobre el acceso de sus ciudadanos a la banda ancha.

El gobierno finlandés, lanza el plan de implementación de la banda ancha *Towards the Internet of Things*, en junio de 2016, y dos años más tarde, la Estrategia de Infraestructura Digital. Este país nórdico ha optado por impulsar la implementación de red basada en fibra para promover su competitividad, con un enfoque especial y asistencia para las áreas desatendidas (a través de fondos públicos), y asesoramiento a los municipios locales sobre cómo desplegar redes de banda ancha⁵⁹. La estrategia de infraestructura digital está respalda en los objetivos de la **European Gigabit Society para 2025**⁶⁰.

Actualmente, de acuerdo con el Índice de Economía y Sociedad Digitales (DESI)⁶¹, que resume los indicadores sobre el desempeño digital de Europa y rastrea el progreso de los países de la UE, Finlandia es el líder digital ocupando el primer lugar entre los 28 Estados miembros de la UE con una puntuación de 72,3 en el DESI 2020. Según los datos anteriores a la pandemia, su liderazgo se debe a la excelencia en el servicio digital público e integración de tecnologías digitales, posibilitados por la cooperación activa entre los sectores público y privado y un activo ambiente de desarrollo de start-up. Su capital humano es una de sus ventajas competitivas más sólidas, ya que el 76% de la población tiene competencias digitales básicas o superiores a las básicas, muy por encima de la media de la UE (58%)⁶².

⁵⁸ Digital Economy and Society Index (DESI) 2020.

⁵⁹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/broadband-finland>

⁶⁰ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/connectivity-european-gigabit-society-brochure>

⁶¹ <https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/policies/desi-finland>

⁶² https://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=66912

De acuerdo con el reporte antes referenciado, Finlandia sobresale gracias al pensamiento innovador vinculado a la responsabilidad social. Con un apoyo gubernamental con visión de futuro y el establecimiento de incentivos regulatorios y financiamiento de investigación básica.

Finlandia ha desarrollado una sociedad de la información equitativa e inclusiva. La digitalización y el desarrollo de la sociedad de la información a todos los niveles y en todos los sectores desempeñan un papel clave para mantener el bienestar de Finlandia y aumentar la productividad. El uso eficiente de las tecnologías de la información y la comunicación (TIC) en diferentes sectores de la sociedad conduce a una mayor productividad.

Texto tomado de Digital Economy and Society Index (DESI) 2020.

3.10 Salud

Antecedentes

Tendencias internacionales

Los grandes avances en la medicina y en la tecnología han permitido mejorar la salud y calidad de vida de la población. Pero, al mismo tiempo, la mayor esperanza de vida y los nuevos hábitos de alimenticios y de consumo de las personas han impactado los sistemas de atención médica de todo el mundo y han producido un importante cambio en los tipos de enfermedades más comunes.

En menos de 25 años, la esperanza de vida promedio de las personas ha aumentado de 64 años en 1990 a 71 años en 2013, las tasas de mortalidad infantil han disminuido en casi un 50 % y el número de años de vida perdidos por enfermedades cardiovasculares y transmisibles ha disminuido en un 20 %. Además, a pesar del crecimiento de la población mundial, los países han logrado avances significativos en la cobertura de atención médica y en el mejoramiento en la calidad de vida de las personas.

Estas mejoras, sin embargo, han tenido un alto costo, especialmente en los países emergentes en los que esto se ha logrado con un gasto cada vez mayor en salud. En promedio, este gasto ha crecido 6% cada año, desde 1995, 2% por ciento por encima del crecimiento del PIB mundial. Se espera que esta tendencia se acelere en el futuro.

La población del mundo está envejeciendo, debido a la menor tasa de natalidad y al aumento de la esperanza de vida. Esta tendencia, usual en los países desarrollados, se aprecia también hoy en las economías emergentes. Las personas mayores requieren más atención médica y mayores recursos sanitarios que las personas más jóvenes.

Existen diversos factores, de la vida moderna, como la alimentación no saludable y estilos de vida sedentarios que han impulsado, entre otros, el aumento de enfermedades crónicas como diabetes y obesidad. En todo el mundo, 382 millones de personas tienen diabetes y 600 millones son obesos.

El costo de la salud se está convirtiendo en una carga creciente para los países de todo el mundo. En Estados Unidos, sólo el 5% de los pacientes representan el 49% de los costos de salud. Se proyecta que el gasto en salud crecerá a una tasa anual promedio del 6,2% de 2015 a 2022.

El gasto sanitario de Estados Unidos, como porcentaje del PIB, aumentó del 13,1% en 2000 al 17,1% en 2010. Se prevé que alcanzará un 28% para 2050. El gasto sanitario del Reino Unido aumentó del 6,9% al 9,1% entre 2000 y 2014.

Las preocupaciones sobre los costos, la calidad y el acceso a la atención sanitaria están llevando a muchos países a introducir reformas importantes en sus sistemas de salud. Estados Unidos, Canadá, el Reino Unido, Singapur, Australia y Noruega están introduciendo regulaciones para apoyar la inversión y la utilización de tecnología; otros países están tratando de modificar el sistema de pago de la atención médica por servicio a un pago por resultados. Algunos gobiernos han comenzado a vincular el reembolso de los pagos médicos a métricas de calidad o resultados, disminuyendo el pago a los hospitales que presenten demasiadas readmisiones.

Por otra parte, el paciente del sistema de salud actual está cada vez más empoderado y tiene otras expectativas respecto a la atención que debería recibir. Los pacientes se han acostumbrado a las propuestas de valor de otras industrias y esperan recibir ofertas similares en el sector de atención sanitaria. Además, un número creciente de ciudadanos de todo el mundo dedican una cantidad mayor de su ingreso disponible a la atención sanitaria y esperan una experiencia de atención médica simple, personalizada, perfectamente coordinada y que trate sus datos personales de forma segura.

En este escenario, las tecnologías digitales tienen un importante rol en la entrega de una mejor atención sanitaria a un costo sostenible y los/as ingenieros/as tendrán un rol creciente en la salud de las personas.

Salud en Chile

Con una población de 18.751.405 habitantes en 2018, Chile cuenta con una esperanza de vida al nacer de 79,05 años y una tasa de mortalidad infantil de 11,55 por mil habitantes, cifras que son la más alta y la más baja respectivamente de América del Sur.

Cifras de 2018 de DEIS-MINSAL (Ministerio de Salud, 2018) indican una tasa de mortalidad general de 569,54 por 100.000 hab. De ellos, el primer lugar corresponde a enfermedades del sistema circulatorio, con 26,4% de las defunciones totales, seguido de neoplasias malignas con 26,1%, enfermedades del sistema respiratorio con 11,45%, enfermedades del sistema digestivo con 7,4% y lesiones autoinfligidas intencionalmente y accidentes de tránsito con 3,38% de las muertes.

El gasto en salud en Chile⁶³, como porcentaje del PIB, ha crecido desde 8,5% (año 2015) a un estimado de 10,2%. De este, un 5,41% corresponde al gasto público en salud, lo que representa, un aumento del 10,8% en relación con el gasto del 2019, que se puede explicar principalmente por el mayor gasto debido a la pandemia y 4,8% corresponde al gasto privado en salud.

En relación con la tasa de natalidad, se observa una disminución de los nacidos vivos desde el año 2015 en adelante, presentando una caída del 10,2% en el año 2020 (189.173) respecto del año 2019 (210.863). De los nacidos vivos, un 51,1% son hombres, el 83,5% corresponden a madres de nacionalidad chilena, 12,7% a extranjeras y un 3,8% a nacionalidad no informada.

La Oficina de Información Económica en Salud (IES) estimó que el gasto de bolsillo (GBS) como porcentaje del gasto total en salud fue de 31% en el año 2020, valor que ha venido disminuyendo paulatinamente desde el año 2016, en que representó 34,75%.

El ítem que explica en mayor medida este gasto son los medicamentos, seguido de las consultas; esto debido a diversos factores como la baja cobertura del sistema de salud y la no afiliación a un seguro de salud, entre otros. La proporción del gasto en medicamentos con relación al GBS ha disminuido sostenidamente desde el 2015, estimándose un 26,9% en el año 2020.

Objetivos de desarrollo sostenible (ODS) y tecnologías digitales

El ODS 3 de Naciones Unidas busca “*garantizar una vida sana y promover el bienestar de todos a todas las edades*”. Las metas específicas que persigue se presentan en documento de NU. En las últimas décadas se han logrado importantes avances en la lucha contra varias de las principales causas de muerte y enfermedad, pero el mundo no ha tenido un progreso igualitario, tanto entre los países, como dentro de ellos, en el cumplimiento de las metas relacionadas con este ODS. Las tecnologías digitales están contribuyendo de manera importante a alcanzar las metas de este ODS.

Algunos ejemplos de esta contribución son acceso a atención de personas ubicadas en zonas rurales o lejos de los centros asistenciales, mediante telemedicina⁶⁴, análisis de tendencias y proyecciones de brotes de enfermedades mediante el manejo de Big Data, prevención de enfermedades infecciosas mediante el envío de información por mensajes telefónicos (SMS)⁶⁵ o monitoreo en tiempo real de la situación de salud de los pacientes mediante sensores de IoT⁶⁶.

Tecnologías digitales en salud y su relevancia

Las tendencias mundiales de la atención sanitaria sugieren que la digitalización está teniendo un rol muy importante en la entrega de más y mejores prestaciones de salud, a un costo sostenible y que este será cada vez más relevante. El ODS 3 será posible, en gran medida, al integrar estas tecnologías en los sistemas de salud existentes y crear nuevos modelos de atención médica basados en ellas. Diferentes tecnologías tendrán distintos impactos en el ámbito de la salud.

La simulación, tecnología que se ha utilizado ampliamente desde hace muchos años en la capacitación de personas, principalmente en industrias de alto riesgo,

⁶³ MINSAL. Cuenta pública 2020. Mayo 2021

⁶⁴ Agence Française de Développement (AFD), implementación de telemedicina en Túnez.

⁶⁵ Agence Française de Développement (AFD) y ONG Gret implementación de sistema de mensajería de salud mediante SMS.

⁶⁶ AUJ Techno, diseño de incubadora neonatal, de bajo costo para Camerún.

está teniendo un uso cada vez más relevante en la formación y educación de los profesionales del área de salud.

El avance de los desarrollos tecnológicos en salud requiere disponer de infraestructura capaz de realizar operaciones de cálculo a mayores velocidades (HPC) y plataformas que hagan más fácil el trabajo de desarrolladores y usuarios (SaaS, FaaS).

La tecnología de Inteligencia artificial (IA) junto con el manejo de grandes volúmenes de datos (*Big Data*) están generando importantes mejoras en el campo de la salud, con beneficios para toda la población. El poder real de la IA se observa mejor en áreas como: medicina de precisión, imágenes médicas y descubrimiento nuevos de fármacos, entre otros.

La realidad virtual permite presentar datos detallados, tomados de imágenes médicas y crear con ellos una vista en 3D del cuerpo de un paciente o del área de interés y/o preocupación médica, permitiendo practicar procedimientos complejos antes de realizarlos o apoyar la formación de los futuros profesionales.

Las aplicaciones de robótica en medicina están adquiriendo un rol cada vez más importante en la salud⁶⁷, ya sea mediante el uso de equipos autónomos de robot cirujano o realizando operaciones con una precisión que no podría lograrse manualmente⁶⁸. En paralelo a lo anterior, está emergiendo con fuerza la nanorobótica, campo de la tecnología que implica la creación de pequeños robots quirúrgicos que podrán introducirse en el cuerpo humano de una manera mínimamente invasiva, a través del sistema vascular o de otras cavidades y ser programados o dirigidos por un cirujano humano para realizar funciones como buscar y eliminar patógenos, diagnosticar, probar y monitorear microorganismos, tejidos y células en el torrente sanguíneo. Esta tecnología podría ofrecer una alternativa menos dañina y más exitosa que la quimioterapia.

La impresión 3D, tecnología que ha sido utilizada desde hace varios años en el sector industrial, tiene un número cada vez mayor de aplicaciones en el ámbito de la salud como fabricación de prótesis, elaboración de medicamentos personalizados o bioimpresión⁷⁰.

La tendencia en la atención sanitaria es hacia la digitalización. Aumentará la información de salud y tratamientos de cada paciente almacenados en forma digital, en particular los resultados de sus exámenes. Existirán además plataformas que conectarán y combinarán los datos individuales, de poblaciones, ambientales y de institucionales en tiempo real. En este proceso es fundamental la ciberseguridad ya que los riesgos de que estos datos sean utilizados para fines no deseados serán cada vez mayores.

La tecnología de Blockchain, que partió como una forma segura de intercambio de información financiera entre personas y/o instituciones sin la necesidad de un tercero que valide los datos, está siendo cada vez más utilizada en el sector de la salud, principalmente para el almacenamiento y transmisión segura de los registros de los pacientes.

La tecnología de drones, originada en sus inicios para fines militares y de exploración geográfica está siendo cada vez más utilizada para atender requerimientos de

⁶⁷ Universidad McGill, Montreal, uso de robot da Vinci para extirpación remota de la próstata de un paciente.

⁶⁸ Microrobot Preceyes, (<https://www.preceyes.nl>), operación ocular de gran precisión.

⁶⁹ Sistema CyberKnife: tratamiento robótico para irradiación precisa de algunos tipos de cáncer y afecciones neurológicas.

⁷⁰ Organovo anunció, en año 2014, su intención de empezar a vender tejido hepático impreso en 3D para investigación médica.

pacientes localizados en áreas de difícil acceso y/o entregar suministros médicos y medicamentos⁷¹.

La tecnología de IoT está teniendo cada vez una mayor relevancia en el ámbito de la salud. Una de las principales tendencias en esta área es el uso de dispositivos de salud portátiles o wearable devices que permiten obtener datos biométricos en tiempo real y transmitirlos a algún centro de recolección y almacenamiento de datos, permitiendo que médicos monitoreen remotamente a sus pacientes, reducir las consultas solo a aquellas que sean necesarias.

■ Visión 2030

Las tecnologías digitales tendrán un rol cada vez más importante en la entrega de más y mejores prestaciones de salud, a costos cada vez menores. La integración de estas tecnologías en los sistemas de salud existentes y la creación de nuevos modelos de atención médica basados en ellas generarán una profunda transformación en el sector.

■ Prospectivas 2030

Las instituciones de educación superior formarán en tecnología a los profesionales en áreas de salud y se fortalecerá la carrera de ingeniería biomédica

Los profesionales del área de la salud recibirán formación en materias tecnológicas y diferentes universidades del país contarán con la carrera de ingeniería biomédica, la que tendrá una demanda cada vez mayor y en la que se realizarán labores de I+D contribuyendo con ello a la generación de nuevos conocimientos y al desarrollo de equipamiento médico avanzado.

Los centros de salud integrarán en sus procesos, en forma creciente, las tecnologías digitales

Los centros de salud seguirán implementando diferentes estrategias e iniciativas para integrar las tecnologías digitales en sus procesos. A nivel privado, los principales centros hospitalarios ya cuentan con sistemas de información que permiten a los médicos acceder a la información de salud relevante de sus pacientes como su historial y recetarios médicos. A nivel público, la principal iniciativa que se está implementando es el Hospital Digital, que es *“un nuevo modelo de atención, centrado en el paciente, que aprovecha el potencial de las tecnologías para acercar la atención a las personas, instalando una alternativa al modelo tradicional”*⁷². Con estas iniciativas se busca transformar y modernizar el sistema de salud, disminuyendo la interacción presencial entre los diferentes actores, obteniéndose como resultado menores tiempo de acceso a la atención sanitaria y menores costos de atención.

La información de salud de los pacientes estará disponible en línea, en forma segura

Cada paciente dispondrá de su información personal y de salud, en una ficha única, a la que tendrá acceso en forma segura y a la que podrán acceder también, en caso de que el paciente lo autorice, el personal médico. Esta información estará protegida por tecnologías como blockchain que permitirán el almacenamiento y transmisión segura de los registros de los pacientes.

⁷¹ Medicine from the Sky: Opportunities and Lessons from Drones in Africa

⁷² <https://www.hospitaldigital.gob.cl>

La interacción presencial entre pacientes y especialistas será menor y se optimizará el uso de los recursos

La incorporación creciente de tecnologías digitales en salud permitirá una mejor atención del paciente, al disponer el especialista de la información personal y clínica de los pacientes en una ficha clínica única y una optimización en el uso de los recursos al disminuir el número de pacientes atendidos de manera presencial.

Aumentará la atención médica bajo demanda

Los pacientes buscan, cada vez más, atención médica a pedido, utilizando para ello sus teléfonos celulares. Por su parte, los profesionales de la salud se convertirán en proveedores de atención médica bajo demanda para satisfacer mejor las necesidades de sus pacientes⁷³.

Mejorará la cobertura y los tiempos de atención

El uso de tecnologías digitales para la atención remota de pacientes que se encuentran fuera de las zonas urbanas y lejos de los principales centros de salud, permitirá, mediante la telemedicina, que estos se realicen exámenes en consultorios locales que serán informados por especialistas ubicados en los principales servicios hospitalarios.

El crecimiento en el uso de los dispositivos médicos portátiles permitirá una disminución en los costos de atención

En la era digital, los pacientes se pueden centrar en la prevención y el mantenimiento, y disponer de información sobre su salud con más frecuencia. Las empresas de atención médica están invirtiendo en dispositivos portátiles que pueden entregar un monitoreo en línea de los pacientes de alto riesgo para determinar la probabilidad de un evento de salud importante. Algunos de estos dispositivos son: Sensores de frecuencia cardíaca, Rastreadores de ejercicios, Medidores de niveles de azúcar en la sangre, Monitores de cantidad de oxígeno transportado en la sangre

El tipo de cuidado cambiará de diagnosticar y tratar a prevenir y gestionar

El uso de las tecnologías digitales, en particular, Big Data, ayudarán a predecir las enfermedades que podrán convertirse en problemas importantes en el futuro cercano, lo que facilitará la atención preventiva de pacientes. La información obtenida a través de Big Data y otras fuentes puede ayudar a que las empresas realicen a sus pacientes recomendaciones sobre estilos de vida saludable.

Cambiará el lugar de tratamiento: del hospital al hogar

La tecnología ha permitido una transferencia de datos de alta velocidad, dispositivos conectados, sensores cada vez más baratos más pequeños, almacenamiento de datos a bajo costo, avances en análisis y aprendizaje automático.

En la medida que los hogares estén conectados a redes de alta velocidad, es probable que el hogar se convierta en el sitio más importante para la atención primaria de salud, lo que permitirá ampliar el acceso a la atención sanitaria, especialmente en las zonas rurales y monitorear en forma remota y en línea la salud de las personas.

⁷³ Nomad Health <https://nomadhealth.com/> Entrega de atención médica a pedido de los pacientes.

El uso de la medicina personalizada permitirá mejores recuperaciones y menores costos de atención médica

Las técnicas y dispositivos menos invasivos conducirán a recuperaciones más cómodas para los pacientes, así como a períodos de rehabilitación más rápidos y estancias hospitalarias más cortas, todo lo cual conducirá a una reducción de los costos de atención médica y, probablemente, a una mejor calidad de la atención médica junto con una mayor efectividad.

El uso de IA permitirá realizar mejores diagnósticos

El uso masivo de IA en diagnóstico hará posible que los médicos prioricen casos más complejos

Casos de estudio

Caso 1: SmartFes, Neuroestimulador funcional para corregir el pie caído

El pie caído es la alteración de la marcha más frecuente en los pacientes con derrames cerebrales, esclerosis múltiple, lesiones medulares y parálisis cerebral espástica. Este trastorno se caracteriza por la incapacidad de apuntar los dedos del pie hacia el cuerpo, cuando la persona camina, lo que tiene como consecuencia un pobre desempeño de la marcha. Según cálculos realizados en Inglaterra, la incidencia de pacientes con pie caído producto de trastornos neurológicos es de un 0,026% de la población al año, lo que extrapolándolo a la población chilena podrían representar un total de 4.420 habitantes por año.

Smartfeses es un desarrollo realizado local, realizado por los ingenieros de la U. de Concepción Francisco Saavedra (Ingeniero Civil Biomédico) y Pablo Aqueveque (Ingeniero Civil Electrónico) que permite resolver este problema y que nace frente a la inexistencia a nivel nacional de empresas dedicadas al desarrollo y fabricación de dispositivos neuroestimuladores electrónicos funcionales que permitan recuperar funciones motrices en las extremidades de personas con problemas de movilidad, como los que se presentan en las enfermedades indicadas anteriormente. Si bien existen alternativas en países desarrollados, el precio que tienen dificulta su importación considerando la capacidad adquisitiva de la población.

Entre sus atributos diferenciadores están su bajo precio, servicio postventa nacional y su facilidad de uso, ya que es la única neuroprótesis que se controla y configura mediante un dispositivo móvil (2020). La base tecnológica desarrollada permite la creación de múltiples soluciones en el área de rehabilitación, por lo que la empresa posee un potencial de crecimiento al incorporar en el mediano y largo plazo nuevas neuroprótesis que resuelvan otro tipo de problemas.

Caso 2: DART, Solución de inteligencia artificial para la prevención de la ceguera

Actualmente, una de cada once personas (400 millones a nivel mundial), sufre de diabetes y como consecuencia de esta enfermedad, pueden perder progresivamente la visión, situación que es totalmente prevenible, en la medida en que las personas se sometan anualmente a un examen de fondo de ojo.

Al crecer la diabetes a altas tasas mayores que las capacidades oftalmológicas, los sistemas de salud no tienen la capacidad de entregar esta prestación. En Chile el porcentaje de pacientes diabéticos que tienen acceso a este examen es menor al 25%.

El Diagnóstico Automatizado de Retinografía Telemática (DART), es una herramienta basada en Inteligencia artificial (IA), que consiste en realizar un examen de fondo de ojo para detectar si el paciente necesita o no la intervención de un oftalmólogo. DART permite seleccionar del total de pacientes diabéticos, a aquellos que tienen mayor potencial de perder la visión, reduciéndose de esta manera la necesidad de que todos asistan a una consulta individual con el especialista, concentrándose la atención en los pacientes que requieren mayor cuidado.

Este desarrollo fue realizado por un equipo multidisciplinario de profesionales chilenos, liderado por el Ingeniero José Tomás Arenas e integrado por: Ignacio Abarca, Fernando Bernuy, Maximiliano Rojas, Matías Peralta, Tomás Perry, Mariano Pola y Rodrigo Donoso.

Este sistema ha sido presentado en numerosos congresos nacionales e internacionales de salud pública, oftalmología y ciencias de la computación.

A través de la estrategia de Hospital Digital del Ministerio de Salud de Chile se comenzó a utilizar en 2018 en cuatro de los veintinueve Servicios de Salud de país, a través de sus correspondientes unidades de atención primaria oftalmológica y se incrementó progresivamente hasta llegar actualmente a tener prácticamente una cobertura total. De los 140.199 exámenes realizados, entre mayo de 2018 y abril de 2019, el 54,4% fueron clasificados como negativos por el sistema, por lo que no fueron citados a control con el especialista. El 45,6% restante fueron clasificados como positivos, por lo que pasaron a teleinforme por el oftalmólogo. De éstos, un 12,6% presentó Retinografía Diabética No Proliferativa (RDNP) leve, 35,4% RDNP moderada, 8,8% RDNP severa, 1,9% RD proliferativo y 9,9% edema macular clínicamente significativo. Los resultados permiten corroborar que el rendimiento de la tecnología es coherente con lo validado originalmente, ratificándose como una herramienta efectiva de selección de Retinoplastia Diabética, haciendo posible aumentar la cobertura del examen de fondo de ojo, sin requerir más especialistas.

Esta tecnología está siendo evaluada actualmente por medio de programas piloto y pruebas de concepto en diferentes centros de salud de Latinoamérica: Perú, Ecuador, Brasil y México, entre otros.

Caso 3: DALI

Cada año, sólo en Estados Unidos, más 50 millones de personas se someten a cirugías hospitalarias bajo efectos de anestesia, luego de la cual deberán descansar en una sala de recuperación de un hospital bajo el efecto de analgésicos para controlar el dolor.

Uno de los problemas de alto riesgo al que se encuentran expuestos estos pacientes, es la depresión respiratoria inducida por opioides, la cual puede tener una incidencia de hasta un 7% en ciertos ambientes hospitalarios. Ésta consiste en una reducción de la frecuencia respiratoria y volumen del paciente que conlleva un fuerte deterioro respiratorio en pocos minutos, que puede provocar: daño cerebral, paro cardiorespiratorio y eventualmente la muerte del paciente, si no es detectado tempranamente.

El problema actualmente es abordado mediante un sistema de monitoreo cardíaco y vigilancia por personal médico. Esta solución ha demostrado ser poco efectiva pues es muy intermitente en su monitoreo, con alertas tardías y expuesta a errores humanos.

Un equipo interdisciplinario de profesionales de la Universidad Católica, integrado por: Daniel Hurtado: Ingeniero Civil PUC, M. Sc y Ph.D. del California Institute of Technology, USA. Angel Abusleme: Ingeniero Civil Eléctrico PUC, M. Sc y Ph.D. de Stanford University, USA. Javier Chavez: Ingeniero Civil Biomédico, M.Sc., Universidad de Concepción y Carolina Cabrera: Médico Cirujano, Universidad de Chile. Anestesióloga Hospital FACH, desarrolló un sistema continuo y no-invasivo de monitoreo respiratorio: Dali.

Este sistema consiste en un pequeño sensor respiratorio que es colocado entre la nariz y la boca del paciente en forma externa y no invasiva. El sensor se conecta a un monitor externo que permite estimar el flujo respiratorio del paciente de manera de detectar posibles reducciones de la frecuencia respiratoria en pocos segundos.

El sistema de monitoreo DALI ha sido validado en más de 40 pacientes en la actualidad, demostrando una gran precisión en la estimación de bajas frecuencias respiratorias, principal parámetro asociado a la depresión respiratoria inducida por opioides. Las características diferenciadoras son su fácil instalación que no necesita de calibración, y que provee una monitorización continua de la actividad respiratoria en forma cómoda para el paciente.

3.11 Ciudades sísmicamente resilientes

Antecedentes

La resiliencia es la capacidad de un sistema de recurrirse después de una crisis, se refiere a su funcionalidad. La resiliencia de las ciudades a los efectos de los desastres naturales se ha transformado en uno de los grandes desafíos de la ingeniería del siglo XXI, especialmente en el caso de megaciudades, en que las autoridades políticas y la sociedad no disponen de soluciones para refugiar los cientos de miles de damnificados por largos períodos.

Ello requiere de un diseño basado en resiliencia, el cuál identifica las cuatro características fundamentales de la resiliencia del sistema: su robustez, su habilidad de recuperarse, su redundancia y la rapidez de recuperación. (Bruneau and Reinhorn (2007), Cimerallo (2016)).

En Chile, el diseño basado en resiliencia es un imperativo, especialmente en el caso sísmico por dos razones:

Extensión del Área Afectada

La extensión del área dañada en el último terremoto del 27 de febrero de 2010, magnitud M=8.8 afectó simultáneamente a las 3 principales ciudades de Chile:

Concepción, Viña del Mar y Valparaíso y la capital Santiago. En la Figura 3.11.1 se compara el área afectada por este terremoto con el área afectada por el terremoto de L'Aquila, Italia 2009, M=6,3 pudiéndose apreciar que en el caso italiano está concentrado sólo en una ciudad. Situación similar se da en los últimos terremotos de California, que se concentran solo en un sector de la ciudad.

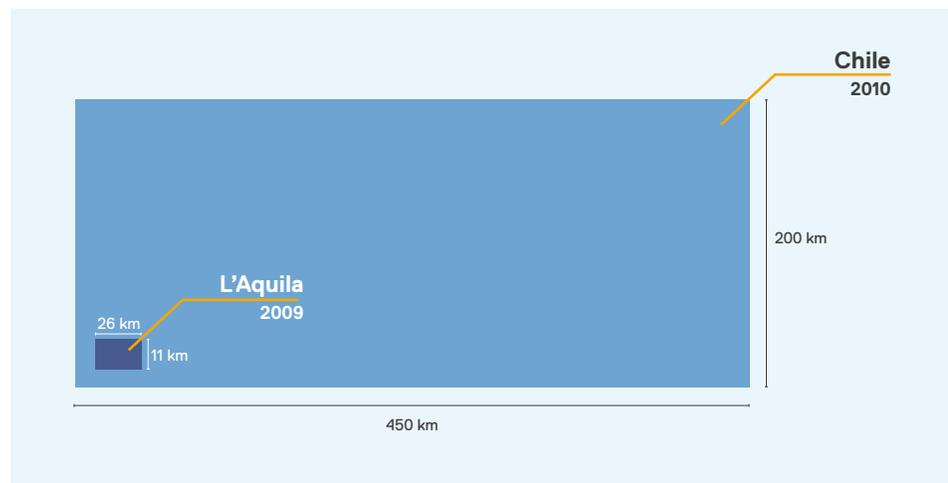


Figura. 3.11.1. Comparación del área de ruptura de los terremotos de Chile 2010 y L'Aquila 2009

Alta Sismicidad

La alta sismicidad de Chile, vale decir la frecuencia con que ocurren los terremotos, es una de las más alta a nivel mundial. Por ejemplo, en el área de Valparaíso-Santiago los grandes terremotos ocurren con un promedio de 83+/-9 años (Compte et al. (1986)) y han ocurrido 5 veces desde que llegaron los españoles. Esta frecuencia sísmica hace que los edificios e infraestructura sean afectados por terremotos más de una vez durante su vida útil.

Las personas, después del terremoto de 2010, desean un diseño resiliente que les permita volver inmediatamente a sus hogares después de ocurrido el terremoto, desean una rapidez resiliente.

Distribución de las Pérdidas por Desastres Naturales y el Cambio Climático

La Figura 3.11.2 muestra la distribución de las pérdidas por desastres naturales en Chile entre 1900 y 2015 según ONEMI. Las pérdidas por terremotos representan el 73%, seguido por la sequía con 21,9%. Las pérdidas por terremotos dominan el escenario nacional, sin embargo, este escenario puede cambiar en la próxima década debido al cambio climático con incrementos en la participación relativa de la sequía e incendios forestales. La dinámica de este fenómeno ya se observa aceleradamente en la sísmica California. El cambio climático impondrá la necesidad de diseño basado en resiliencia para el suministro de agua para consumo humano en las megaciudades.

Tipo de Desastre	Total de daños MM USD	Porcentaje
Terremotos	48.206	73,00%
Actividad Volcánica	44	0,10%
Deslizamiento	1.662	2,50%
Inundación	252	0,40%
Sequía	14.445	21,90%
Incendio Forestal	1.412	2,10%
Totales	66.021	100,00%

Figura 3.11.2. Pérdidas registradas por tipo de desastre entre 1900 y 2015.
Fuente: ONEMI

El Costo de las Pérdidas por Desastres Naturales en Chile

Como se ha indicado, la mayoría de las pérdidas por desastres naturales en Chile son debidas a terremotos; en la Figura 3.11.3 se compara el número de muertos e intensidad de los terremotos expresados por su Magnitud Mw de los principales terremotos del mundo.

Como se puede apreciar, Chile no figura en este ranking, pues el terremoto con mayor número de muertos es el terremoto de Chillán de 1939 con 10.000 estimados. Ello es consecuencia de las exitosas prácticas de la ingeniería sísmica nacional.

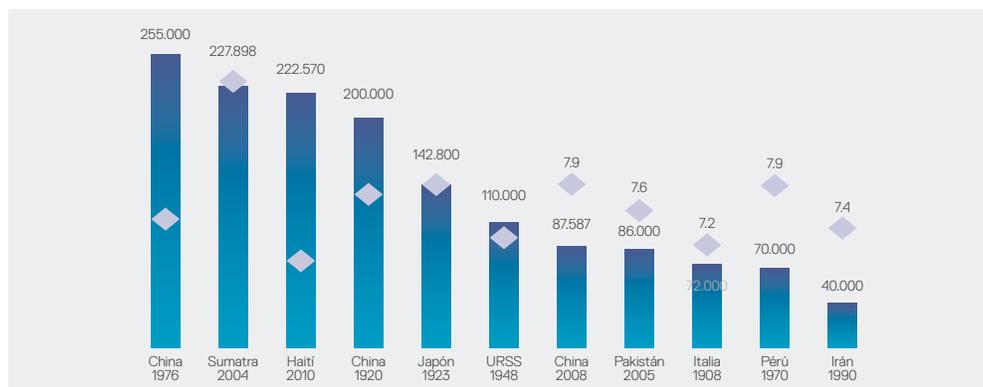


Figura 3.11.3. Número de muertos e intensidad del terremoto (Mw)

En contraste en la Figura 3.11.4 se comparan los costos en US\$ MM y % del PIB de los principales terremotos del mundo. Se aprecia que el terremoto de El Maule de 2010 representó el 18% del PIB, y los terremotos de Chile de 1960, 1985 y 1939 del orden del 12 %. Cuando se comparan estos valores con los de los terremotos de Japón de 2011 (5% del PIB) y 1995 (2,5% del PIB), se aprecia que el costo representado por terremotos en Chile es muy alto, pese al reconocido éxito de la ingeniería sísmica nacional.

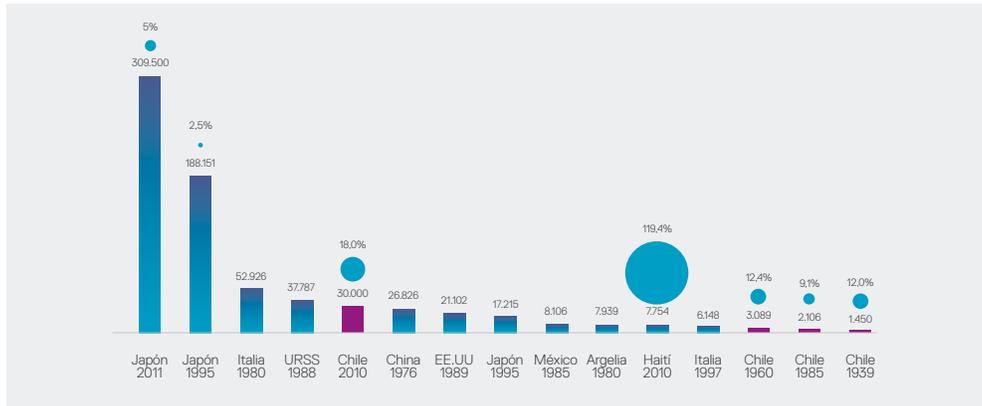


Figura 3.11.4. Costo del terremoto (US\$ MM) y % del PIB

En la Figura 3.11.5 se muestran las pérdidas de desastres en países G20 y otros seleccionados cómo % del PIB en el período 1980-2011 según la Superintendencia de Valores y Seguros (SVS) y la OCDE.

Se aprecia que Chile es el que tiene el mayor costo por desastres naturales del grupo con 1,3% del PIB comparado con el valor promedio de 0,20% del PIB del resto de los países G20, siendo casi 6 veces.

Este costo corresponde fundamentalmente a terremotos, pese a la buena ingeniería sísmica nacional. En consecuencia, es imperioso reducir este costo a la mitad en un 0,6% del PIB en un par de décadas, implementado para ello el diseño sísmico basado en resiliencia.

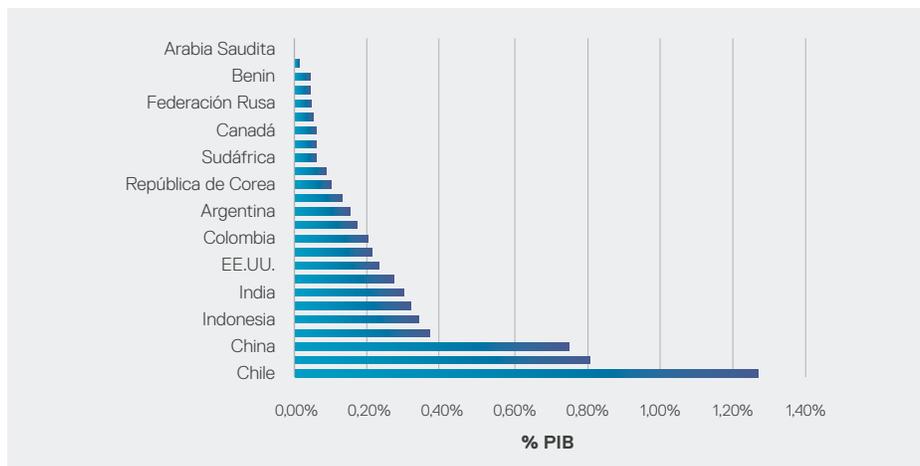


Figura 3.11.5. Pérdidas en desastres en países G20 más países seleccionados como % del PIB, 1980-2011. Fuente: Datos de SVS-OCDE (SVS, 2011).

■ Visión 2030

La idea fuerza es reducir el costo de las pérdidas causadas por terremotos del actual 1,3% del PIB a 0,6% en un par de décadas a través del diseño sísmico resiliente, este nuevo tipo de diseño sísmico es un paradigma mundial en que Chile se encuentra más cerca de alcanzar que países desarrollados. A continuación, se definen los escenarios de prognosis para el 2030.

■ Prospectivas 2030

Aprobación de la actualización de las normas con objetivos de resiliencia

En el período, se encuentran en actualización las siguientes normas sísmicas:

- Nch. 433 “Diseño Sísmico de Edificios”.
- Nch.2369 “Diseño Sísmico de Edificios e Instalaciones Industriales”.
- Nch. 2745 “Análisis y Diseño de Edificios con Aislación Sísmica”.

Las normas sísmicas en Chile son importantes pues tienen mandato legal y representan la memoria sísmica del país. Con ello se impulsa el desarrollo de una práctica de diseño resiliente, con criterios de continuidad de operación después de ocurrido el terremoto. Las normas sísmicas explican el éxito de la práctica de diseño sísmico por ser obligatorias.

Estas 3 normas recogen las lecciones aprendidas en el terremoto del 27 de febrero de 2010. Por limitaciones de responsabilidad legal de los ingenieros/as estructurales no se ha podido expresar explícitamente el objetivo resiliente en los proyectos de norma.

Código modelo de diseño sísmico para América Latina y el Caribe

Se desarrolla un código referencial y paradigmático para la región, con la participación de 15 países.

El proyecto tiene 4 años de desarrollo, con su Secretaría General en Chile en el Instituto de la Construcción.

Este proyecto de cooperación internacional es impulsado por la Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Sísmica (ACHISINA).

Permite la internacionalización de la Ingeniería sísmica chilena.

Instrumentación de edificios altos

Para el terremoto del 27 de febrero de 2010 el edificio más alto instrumentado correspondía al antiguo edificio de la Cámara Chilena de la Construcción (Figura 3.11.6).

La instrumentación de este edificio corresponde a un proyecto colaborativo entre la Cámara Chilena de la Construcción y la Universidad de Chile.

El edificio tuvo un comportamiento casi resiliente.



Figura 3.11.6. Edificio instrumentado de la Cámara de la Construcción para el terremoto de Chile de 2010.

En el período se piensa aumentar significativamente el número de edificios instrumentados, considerando la gran sismicidad de Chile.

La medida de la respuesta sísmica de los edificios permitirá mejorar los diseños para obtener los deseados comportamientos resilientes.

El monitoreo de la instrumentación de edificios es digital y satelital, permitiendo tener edificios instrumentados a lo largo del país.

Incremento de edificios con aislación sísmica y disipación de energía

Chile es el país con mayor número de edificios aislados, medido per cápita a nivel mundial. Sin embargo, su número absoluto es más bien reducido como porcentaje del parque total de edificios, concentrándose principalmente en el sector hospitalario.

Se está actualizando la norma de aislación sísmica con el objetivo de incrementar en forma importante los edificios sísmicamente aislados.

La aislación sísmica se constituye en una importante aliada para obtener edificios con diseños basado en resiliencia.

Nuevo método de diseño sísmico basado en propagación de ondas

Se está desarrollando un nuevo método de diseño basado en la propagación de ondas sísmicas en los edificios.

El método tradicional considera la vibración dinámica de los edificios, lo que no se ajusta a la física del fenómeno.

Ello muestra importantes diferencias desde la perspectiva de la inseguridad, que conducen al mejoramiento de los diseños.

Chile lidera en esta metodología de vanguardia produciendo las primeras tesis.

Implementación de sistema integrado BIM

Durante el período de prospectiva se introducirá en las propuestas públicas el uso obligado para las oficinas de arquitectura e ingeniería del sistema integrado BIM.

Ello producirá un incremento del uso de las técnicas digitales acompañado de un incremento de la productividad en la construcción.

Internacionalización de las oficinas de consultoría e ingeniería

La internacionalización de las oficinas de ingeniería continuará en el período, especialmente en América Latina y El Caribe.

La internacionalización es en parte posible al reconocido prestigio de la ingeniería sísmica chilena.

Red nacional de acelerógrafos de movimiento fuerte

El país tiene una tradición de más de 70 años de medir el movimiento del suelo en grandes terremotos, especialmente sus aceleraciones, con acelerógrafos.

Ello ha permitido comprender que las características de los terremotos subducidos chilenos son diferentes a los de otras partes del mundo. Estas diferencias pueden ser empleadas con ventaja para optimizar los diseños sísmicos nacionales.

Esta tradición permitió obtener en Concepción, para el terremoto de 2010, el primer registro a nivel mundial de un terremoto de magnitud 8.8 en su área epicentral.

Chile cuenta con una red de 450 acelerógrafos administrado por el Centro Sismológico Nacional, con monitoreo y proceso digital y satelital.

En el período de prospectiva se continuará con la mantención y renovación de esta red.

Desarrollo de una alerta temprana de evaluación sísmica

El Centro Sismológico Nacional se encuentra desarrollando un instrumento que permite dar una alerta temprana de 30 segundos a la llegada del terremoto.

El Centro Sismológico emplea robustas redes telefónicas y satelitales para captar la información de los 500 sismógrafos, 500 GPS y 450 acelerógrafos, donde la participación digital es fundamental.

Mejoramiento de la alerta temprana de Tsunami

Se mejorará, en el período de prospectiva, el sistema de alerta temprana de tsunamis basado en el rastreo de teléfonos celulares posicionados por sus GPS.

La alarma se habrá comunicado en minutos a más de 3.000.000. de personas, pues el tsunami llega a los 20 minutos a la costa de las ciudades.

3.12 Ciudades inteligentes

Antecedentes

En su esencia, el paradigma de *Smart City* o ciudad inteligente considera la aplicación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 con el objetivo de mejorar la calidad de vida

de las personas que habitan en entornos urbanos y el rol de los gobiernos locales en la definición de políticas públicas. Entre muchas definiciones, la siguiente considera las ideas claves a ser incluidas bajo este paradigma: las *Smart Cities* corresponden a “iniciativas o enfoques que aprovechen eficazmente la digitalización para impulsar el bienestar de los ciudadanos y ofrecer servicios y entornos urbanos más eficientes, sostenibles e inclusivos en el marco de un proceso de colaboración con múltiples stakeholders (partes interesadas)” (OECD, 2020d).

El objetivo del presente análisis de escenarios es relevar productos, servicios, soluciones y modelos de negocios generados a partir de la aplicación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en el ámbito Smart City. En el caso de las políticas públicas, es de interés relevar cómo las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 puedan ayudar a la construcción de dichas políticas. El diagrama de la Figura 3.12.1 conceptualiza el modelo de Smart City a utilizar, especificando sectores en los cuales las tecnologías asociadas a la Industria 4.0 pueden ser aplicadas, con el objetivo de tener ciudades más eficientes, sostenibles e inclusivas.

Un tema muy relevante es que, gracias a una mejor provisión de los servicios de la ciudad, ya sea porque estos se ofrecen en forma distribuida a lo largo de la ciudad o en forma electrónica, disminuye la movilidad de las personas, reduciéndose -en consecuencia- la contaminación, el uso de combustibles y los tiempos de traslados de personas y bienes.

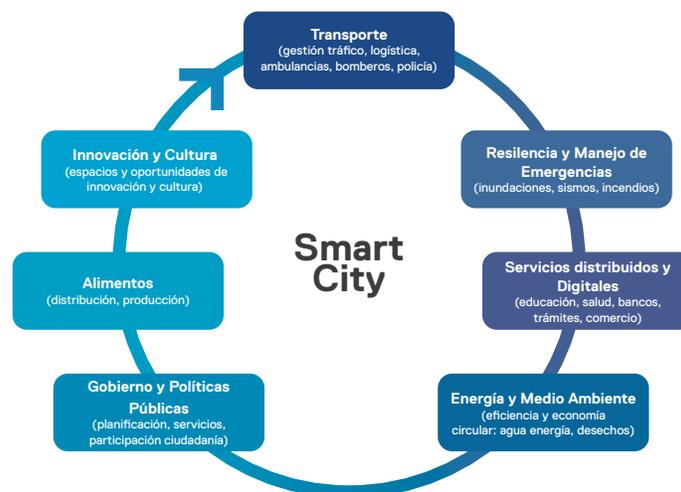


Figura 3.12.1. Modelo de Smart City a utilizar, identificando los principales sectores de aplicación y los beneficios obtenidos al aplicar las tecnologías de la Industria 4.0.

■ Visión 2030

En esta sección se presenta un extracto que contiene la síntesis del ámbito, considerando que este tema está siendo elaborado por otras comisiones del Instituto, en particular en la Comisión de Inteligencia artificial.

■ Prospectivas 2030

Sensorización para mejorar la movilidad

En este escenario se observa un creciente uso de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en la ciudad, fruto de una mayor sensorización y del uso de IoT, así como la existencia de iniciativas asociadas a la economía compartida (sharing economy)

definida como “un sistema económico en el que los bienes o servicios se comparten entre particulares, de forma gratuita o a cambio de un pago, normalmente por medio de Internet” (IDB, 2019).

El primer beneficio derivado de la aplicación de la Industria 4.0 en entornos urbanos y del concepto de “economía compartida” se da en el transporte de personas y bienes, logrando una disminución relativa en el uso de automóviles particulares, y de los tiempos de viajes, como también una menor congestión y, por consiguiente, un menor consumo de combustibles. En lo específico, en este escenario se espera en el período de prospectiva:

- Una expansión de los sistemas multimodales de transporte (bicicleta, sistema transporte público, car-sharing, etc.), con un aumento en el uso compartido de vehículos, el arriendo de vehículos por hora y el uso de sistemas de manejo de tráfico en tiempo real.
- Un aumento en el uso de vehículos eléctricos, en particular buses (30%) y vehículos particulares eléctricos (10%).

Sensorización para reducir la contaminación

Una mayor sensorización permitirá múltiples beneficios derivados del uso de los datos obtenidos. En particular observaremos:

- Un amplio uso de IoT para monitoreo y planificación del tráfico, para aumentar la eficiencia energética y la eficiencia en uso de agua y evitar pérdidas, para monitorear la calidad del aire, temperatura, evaporación en cada barrio (o mayor escala que la actual), para monitorear el estado de semáforos, transformadores, redes de distribución de agua, electricidad y gas, de alcantarillado e iluminación inteligente.
- La lectura electrónica de todo tipo de medidores (gas, agua, electricidad) lo cual disminuye la movilidad de las personas dedicadas a esta tarea
- Una planificación inteligente de la ciudad en base a múltiples datos (digitalizados + IoT) y modelos de optimación que consideran la calidad de vida de las personas y factores de eficiencia. Estos sistemas consideran la opinión de los ciudadanos a través de sistemas de consulta online.
- Sistemas de vigilancia en base a cámaras y biometría, los cuales resguarden apropiadamente la confidencialidad de los datos (tradeoff seguridad vs privacidad).

Sensorización para aumentar la eficiencia energética

En el ámbito de la energía tendremos una mayor eficiencia energética y menor contaminación, a través de la generación de energía fotovoltaica y distribuida en la ciudad, así como de calefacción y electricidad mediante calor generado por el reciclaje/quema de basura y mediante uso de geotermia de baja entalpía (calor del subsuelo) (OECD, 2020).

El uso de tecnologías asociadas a la industria 4.0 también tendrá efectos en la forma en la cual los gobiernos se comunican con las personas

El uso de tecnologías asociadas a la industria 4.0 también tendrá efectos en la forma en la cual los gobiernos se comunican con las personas, aumentando la participación

ciudadana; por ejemplo, a través de sistemas de Internet para consulta ciudadana rápida. Para este efecto, y para que los ciudadanos pueden acceder a servicios a través de Internet, habrá acceso a Wifi gratis en muchas zonas de la ciudad (paraderos de buses, metro, plazas, parques, municipalidades, hospitales, colegios, universidades, centros comerciales y comunitarios, etc.), lo cual permitirá además una mejor comunicación entre las personas. Se obtendrá cobertura completa (100%) de servicios del estado vía *e-services* (pensiones, registro civil, permisos municipales, bienes raíces, etc.), lo que redundará en una disminución del movimiento de las personas a través de la ciudad.

Aumento de la participación ciudadana

Asimismo, los servicios distribuidos incluirán la existencia de espacios para innovación y fabricación rápida (FabLabs) para emprendedores y start-ups, y la producción local de alimentos en terrazas, techos y jardines a lo largo de la ciudad.

Adicionalmente, y como se observa en la Figura 3.12.1, la aplicación de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 tendrá también efectos en la forma en que las ciudades manejan sus emergencias y en su resiliencia. A modo de ejemplo observaremos:

- Sistemas de gestión centralizada que permitan que ambulancias, bomberos y policía puedan llegar en 5 minutos a cualquier punto de la ciudad.
- Sensorización de principales cuencas y quebradas para predecir avalanchas e inundaciones.
- Mecanismos de resiliencia que permitan tener una ciudad capaz de seguir funcionando luego de inundaciones, sismos, tsunamis o grandes incendios.

Finalmente, en el ámbito de la salud, observaremos una popularización de la telemedicina, así como de fichas electrónicas de salud para cada persona.

3.13 Estado digital

Antecedentes

En este documento abordamos los principales impactos que la 4RI (cuarta revolución industrial), que trae consigo la transformación digital, tendrá en todos los ámbitos de la vida humana, en el gobierno y, más aún, en el Estado en general, apuntando a la transformación integral del Gobierno hacia el 2030.

Si bien los temas no son nuevos, lo que cambia es el desafío que plantea la feroz revolución tecnológica que se está viviendo; también, el cambio de modelo debido a la pandemia (y post pandemia); y, finalmente, el cambio climático, que exige condiciones nuevas a la ciencia, la tecnología y a las personas en general. De todo esto Chile no está ajeno; y no solo en lo que concierne al Estado, sino que también al resto de la sociedad chilena, la academia y las empresas privadas. En particular, en los 5 ejes estratégicos para el desarrollo de Chile (ver recuadro), identificamos que el Estado tiene un rol como actor principal en la generación de las políticas públicas que beneficien a la ciudadanía.

La Agenda Digital de Chile, a través de sucesivos gobiernos, ha definido cinco ejes estratégicos para que Chile llegue al desarrollo:

Recuadro 3.13. Ejes estratégicos para el desarrollo de Chile

1	Estado 100% digital.
2	Desarrollo del capital humano en la educación y en la capacitación, estudiantes y trabajadores y en capital humano avanzado.
3	Conectividad total, es decir, una penetración cercana al 100% de internet. Todo ciudadano, todos los hogares de Chile y todas las personas que trabajan en Chile o estudiantes deben tener acceso a la conectividad de internet y a una buena banda ancha. Más aún, el acceso a internet debe ser definido como un servicio básico, al igual que la electricidad y el agua.
4	Investigación, desarrollo, innovación y emprendimiento (I+D+i+e). Chile hoy invierte 0,34% del producto en este tema, siendo el país que menos invierte entre todos los países de la OCDE. Las tasas de inversión tendrían que estar al menos en el promedio de la OCDE, que es un 2,4%.
5	Institucionalidad para el desarrollo, la institución entendida como el organismo que debe diseñar una estrategia nacional de desarrollo para Chile, hoy residiendo en el Ministerio de Ciencia, Tecnología, Innovación y Conocimiento.

Así, la 4RI nos pone un nuevo desafío, que al mismo tiempo es una gran oportunidad para contribuir al desarrollo del país. Chile va a aprovechar esta oportunidad abordando con decisión las transformaciones necesarias en la forma de administrar el gobierno y sus recursos, y logrando resultados concretos: primero, alcanzar el crecimiento necesario para mejorar la calidad de vida de todos los chilenos, y con la estabilidad necesaria para que no sean avances temporales, sino definitivos; y segundo, gracias a este crecimiento, ayudar a resolver los importantes problemas sociales que han dado lugar a la actual situación política, económica y social de Chile.

A continuación, planteamos las propuestas para un Estado digital de Chile para el 2030 desde dos ángulos: un Estado promotor y buen regulador, que apunta a influir en el desarrollo de Chile hacia el mundo privado, académico y de la ciencia; y un Estado digital altamente eficiente por medio de la tecnología hacia el interior del Estado, para su funcionamiento efectivo y proveedor de servicios de alta calidad al ciudadano.

■ Visión 2030

La aplicación de las tecnologías de la 4RI tiene el potencial para producir un Estado eficiente y, a partir de ahí, el desarrollo del país. Para ello, se requiere generar un plan de transformación digital completo del Estado en sus tres poderes, interviniendo en la optimización y digitalización de sus procesos.

Esto se deriva de que, por una parte, la calidad de la vida cotidiana de los chilenos está muy influida por la calidad de los servicios que el Estado es capaz de entregarles; y, más allá, el desarrollo del país depende del buen desempeño del Estado. Por una parte, la transformación digital aplicada al gobierno, en las conclusiones de la Unión Europea, se entiende de la siguiente manera:

“La transformación digital del gobierno es la introducción de cambios radicales, junto con otros cambios incrementales, en las operaciones del gobierno,

procesos internos y externos, y estructuras, para conseguir mayor apertura y colaboración dentro y más allá de las fronteras gubernamentales, habilitados por la introducción de una combinación de tecnologías existentes ICT y o nuevas tecnologías y aplicaciones basadas en datos, como también, por una reformulación radical de las prácticas cognitivas y organizacionales. Puede abarcar diferentes formas de la innovación en el sector público a lo largo de las diferentes fases del ciclo de decisión y políticas de servicio, para lograr valores públicos claves específicos y objetivos que se relacionan, como aumento de eficiencia, efectividad, responsabilidad y transparencia, para brindar servicios centrados en el ciudadano y diseñar políticas que aumenten la inclusión y la confianza en el Gobierno.”

Es decir, un Estado digital, por diseño, es el que incluye las tecnologías digitales para que el sector público opere en forma integral y entregue los servicios públicos por varios canales, en un modelo de omnicanalidad.

■ Prospectivas 2030

Centralización y calidad de los datos de la población

Se generará una base de datos única a nivel nacional a partir del Registro Civil, de manera que todas las instituciones del Estado tengan acceso a los datos de las personas en forma expedita, sin tener que pedir a los propios ciudadanos emitir certificados con la información que el Estado ya tiene. Con esto, se reducirá fuertemente el costo de la operación del Estado en general. Además, esto hará que la ley de silencio administrativo, que ya existe, opere en un 100%.

Uso de IA para un Estado algorítmico

Se hará uso intensivo de las tecnologías de identificación, y se buscará la manera de interrelacionar las bases de datos de las personas de distintos ámbitos con la información del Registro Civil; por ejemplo, fichas clínicas, registros judiciales, datos de comportamiento financiero, conservador de bienes raíces, notarios, diferentes registros públicos, etc.

Al mismo tiempo, las tecnologías de la 4RI dan más herramientas para manejar con mayor eficacia y seguridad la privacidad de los datos y la protección de los datos de los ciudadanos. La IA ayudará a generar algoritmos y patrones digitales capaces de producir barreras muy efectivas ante los intentos de hacking de archivos privados. Por otra parte, el Estado “algorítmico” ofrecerá una mayor transparencia para el acceso de los ciudadanos a los datos del Estado, haciéndolos más independientes de la burocracia y más autónomos para la toma de sus decisiones de desarrollo personal y profesional, como también para el emprendimiento en inversiones en cualquier parte del mundo.

Tecnologías 4RI para formación y desarrollo de capital humano avanzado

Un Estado 100% digital pasa también por otros ejes muy relevantes, como la educación y la salud. En particular, en el tema de la salud, un manejo eficiente y transparente de los recursos económicos y humanos que se requieren en las instituciones del estado permitirá mejorar los servicios de salud al ciudadano. Proyectos como telemedicina, ficha electrónica transversal, hospital digital, gestión de datos para patrones predictivos, optimización de procesos clínicos, administrativos y legales, podrán concretarse gracias a la alta eficiencia de las tecnologías de la 4RI.

En educación, materia de otro capítulo de este documento, solo acotar que se producirá una transformación profunda del modelo, en que los estudiantes de la educación pública tendrán acceso desde los primeros años de su educación a plataformas tecnológicas, al desarrollo de código (programación de computadores), y, así, a entender las tecnologías como herramientas para aprender a hablar en lenguaje digital y egresar de la enseñanza media hablando tres lenguajes: español, inglés y un lenguaje de programación computacional.

Tecnologías 4RI para la gestión de implantación y cumplimiento de proyectos de obras públicas y viviendas

Otros frentes de operación eficiente del Estado también se reflejarán en materia de obras públicas. Ya existen herramientas para optimizar la ejecución de las obras públicas; ahora van a existir a partir del MOP plataformas tecnológicas que permitirán controlar igualmente los proyectos de concesiones, la contratación a terceros de servicios de construcción, y hacer seguimiento efectivo de la gestión de los proyectos para mejorar el rendimiento de las inversiones en obras públicas directas y concesionadas.

Similarmente en el tema de la vivienda, en un país donde tenemos un déficit importante de viviendas, el Estado construirá viviendas sociales adecuadas para las familias de escasos recursos y podrá asegurar la calidad de la construcción; las empresas constructoras asegurarán la calidad de las viviendas.

Tecnologías 4RI para la gestión, control y atención eficiente a los ciudadanos y la administración de justicia

Mejorará la capacidad de gestión del Poder Judicial, que tuvo un progreso importante hace unos años, en cuanto a sus procesos incorporando la transformación digital. Aquí, la 4RI será muy efectiva para la atención tanto de las víctimas como de los imputados en los delitos, de manera de tener una tramitación rápida con seguimiento seguro, en que no haya pérdida de documentos ni de información que atrase los procesos, haciendo más transparentes los procesos y eliminando así la corrupción.

En el tema legislativo, como comentamos anteriormente, la incorporación de plataformas de inteligencia artificial, con machine learning y deep learning, permitirán hacer seguimiento rápido de la evolución de los textos de las leyes para un rápido entendimiento de los cambios y la concurrencia simultánea de propuestas sobre los mismos textos. Se podrá hacer entonces un seguimiento estrecho de las leyes en proceso, de manera de optimizar el trabajo de los legisladores y evitar que algunas leyes se queden largo tiempo sin avanzar o se pierdan en el tiempo (sin tener la debida atención para sacarlas adelante y perjudicando en consecuencia a la ciudadanía).

Sistemas avanzados de seguridad (smart city) basados en IA y 5G para la protección de los ciudadanos

En la seguridad ciudadana, las tecnologías de la 4RI proveerán de importantes avances en el seguimiento de la delincuencia, el narcotráfico y el terrorismo, bajo el concepto de su aplicación de modelos de smart cities, usando las capacidades que proveerá el 5G para la captación de video analytics de alta resolución, identificación positiva por face recognition, crowd behavior, apoyado por redes de drones inteligentes permanentemente disponibles.

Lo anterior también es válido para la administración y gestión de recursos en casos de emergencia nacional, terremotos, inundaciones, incendios, tsunamis, etc.

Casos de Estudio

Del análisis sobre la situación de la UE (Barcevičius et al., 2019), rescatamos que numerosas fuentes han presentado ejemplos concretos en los cuales la tecnología se ha usado para crear eficiencias y generar ahorros internos en el gobierno. Esto se ha logrado rediseñando y optimizando los procesos internos, no solo digitalizándolos, haciéndolos más rápidos, más flexibles, eliminando duplicidad, reduciendo la incidencia del error humano y una mejor focalización de medidas políticas. La optimización de procesos internos ha sido necesaria como resultado de, por ejemplo, la introducción de nuevos servicios públicos electrónicos; tales servicios pueden focalizarse mejor juntando la data de diferentes oficinas públicas, y usando big data y análisis predictivo para extraer perspectivas relevantes de las políticas.

Caso 1: Conversión Laboral

Hay evidencia de que las soluciones basadas en tecnología han reemplazado algunos roles de trabajadores; en algunos casos, los trabajadores redundantes fueron ubicados en roles más productivos (World Government Summit and Kinetic, 2018).

Análisis publicados por Deloitte muestran que aun con una baja adopción de inteligencia artificial, se puede ahorrar entre un 2 y un 4% de horas de trabajos en las oficinas públicas; cuando la adopción es mayor, se puede llegar hasta un 30% de ahorro (Eggers & Viechnicki, 2017). Como ejemplo, el Gobierno de Estonia estima que X-Road, una aplicación tecnológica que da acceso a todos los servicios del gobierno en un solo lugar (Eggers & Hurst, 2017), ahorra 1400 años de tiempo de trabajo por año. Adicionalmente el país usa API's para crear una red de aplicaciones las cuales de acuerdo con estimaciones del World Bank, le ahorró al país un total de 2,8 millones de horas de trabajo en 2014, es decir 3.225 años de tiempo (Aherne, 2017).

Caso 2: Transparencia en las transacciones del Estado-Blockchain

La tecnología también logra que las actividades gubernamentales sean más transparentes al hacer que los registros públicos sean rastreables y accesibles. Por ejemplo, las transacciones realizadas mediante el uso de tecnologías blockchain se registran automáticamente de modo que se pueda rastrear y verificar cualquier transacción gubernamental (Shen & Pena Mora, 2018). Por ejemplo, se dice que Vehicle Wallet, un proyecto danés de blockchain, facilita los procesos de gestión de la cadena de suministro al recopilar toda la información sobre la historia de un vehículo. Por lo tanto, un solo libro mayor distribuido contiene todos los datos del automóvil y permanece accesible a lo largo de toda la cadena de suministro (Berryhill et al., 2018).

Caso 3: IA para la salud, protección y seguridad pública

Los análisis en innovación de servicios en la Unión Europea se han concentrado en tres áreas que se han discutido más extensivamente, salud, seguridad pública y protección pública. Adicionalmente se considera importantes ciudades inteligentes.

Algunos autores argumentan que la salud y el cuidado en el largo plazo de las personas es el área de servicios públicos donde la inteligencia artificial puede tener el mayor impacto de transformación (PwC, 2017; Misuraca et al., 2017). Se espera que las innovaciones habilitadas por la IA mejoren los resultados en los servicios de salud y la calidad de vida de millones de personas (Horvitz, 2016). Con la amplia adopción de consultas médicas on-line, portales para pacientes, y otros canales de entrega de servicios de cuidado de personas, habilitados por innovaciones digitales, las tendencias recientes en el sector de atención de salud muestran que hay un cambio

de atenciones face-to-face a atención en línea, salud móvil (m-health) y atención simultánea en todo lugar, caracterizada por recolección de información del paciente on-line (Jung and Padman, 2015). La medicina de precisión estratificada también va en aumento. (Love-Koh et al., 2018). Esto se caracteriza por la adaptación de la atención sanitaria a pacientes o subgrupos específicos a lo largo de la ruta del paciente (asesoramiento, diagnóstico y derivación).

Caso 4. Tecnologías 4RI para mayor transparencia y reducción de la corrupción en el Estado

La tecnología digital de la 4RI se asocia en la administración pública a mayor transparencia, justicia, seguridad y confianza por un número de razones. Primero, debido a que la transparencia ha aumentado gracias a la apertura de la información pública (Bertot, Jaeger and Grimes, 2010), Segundo, la tecnología ayuda a hacer los procesos administrativos más imparciales y consistentes. Tercero, la transparencia es a menudo parte de una optimización más amplia de los procesos internos mediante la cual, por ejemplo, los servicios públicos prestados electrónicamente permiten a sus clientes seguir el estado y los resultados de sus solicitudes.

4

ESCENARIO II 2030

4.1 Introducción

El escenario II se caracteriza por combinación de Escenario I más disrupciones en tecnologías, modelos de negocios y políticas públicas. Esto, considerando que las tendencias tecnológicas emergentes y disruptivas alcanzan la meseta de productividad en más de cinco años y la ventaja competitiva que brindan aún no es bien conocida o probada en el mercado.

En las secciones de este capítulo se presenta la prospectiva para los diversos sectores / ámbitos seleccionados para el escenario II. Cada una de ellas ha sido elaborada por un autor miembro de la CPI, revisado por el comité editorial y otros miembros.

Recuadro 4.1 Sector/Ámbito y responsables.

Séctor/Ámbito	Responsable(s)
Educación en Ingeniería	Felisa Córdova/ Yadran Eterovic
Energía	Cristian Hermansen
Minería	Javier Ruiz del Solar
Transporte	José Orlandini
Agroindustria y alimentos	Víctor Grimblatt
Manufactura	Jorge Yutronic
Economía digital	Thierry De Saint Pierre
Infraestructura Digital	Paola Arellano/ Raúl Ciudad
Salud	Juan Carlos Barros
Ciudades sísmicamente resilientes	Rodolfo Saragoni
Ciudades inteligentes	Javier Ruiz del Solar
Estrado digital	Raúl Ciudad/Sergio Bitar

La prospectiva se ha hecho usando como guía el *framework* presentado en Anexo A. No obstante, se han respetado los estilos de redacción de los diversos autores, para facilitar que las ideas sean bien expresadas.

4.2 Educación en Ingeniería

■ Visión 2030

Se prevé que la educación en ingeniería será de calidad, inclusiva y equitativa, permitiendo a todos aquellos que tengan los talentos y competencias requeridos, acceder a la educación superior y continua (MinCTCI, 2020; CDIO, 2021).

Las escuelas de ingeniería contribuirán al desarrollo de la industria, innovación e infraestructura desde la formación de pregrado, posgrado y educación continua.

Para contribuir al logro del fin de la pobreza, las escuelas de ingeniería asignarán un rol protagónico a las necesidades e intereses de la sociedad, colaborando en forma estrecha con las empresas, los actores sociales y las comunidades (García et al., 2019; Naciones Unidas, 2021 a, b).

La educación en ingeniería, potenciada por la transformación digital, será determinante en la formación de los profesionales que liderarán el desarrollo de Chile y su gente y contribuirán al logro de los ODS de la ONU. Las escuelas de ingeniería desarrollarán y aplicarán enfoques disruptivos, tanto para sus procesos educativos, como para la práctica de la ingeniería, produciendo un impacto positivo en la sociedad: aumento significativo de investigación aplicada, desarrollo tecnológico, innovaciones y capacidad de resiliencia de la infraestructura del país (OECD, 2017; OECD, 2019a; OECD, 2019b; OECD, 2019c).

Las Escuelas de Ingeniería desarrollarán la formación humanista, la multidisciplinaria e interdisciplinaria, y promoverán la participación de sus estudiantes en redes de colaboración internacional (IEA, 2021).

■ Prospectivas 2030

La educación en ingeniería será de calidad, inclusiva y equitativa

Las escuelas de ingeniería incorporarán aprendizajes superiores más complejos en sus programas curriculares, aprovechando como insumos para sus procesos educativos los nuevos desarrollos tecnológicos y los conocimientos aportados por la robótica, inteligencia artificial, business analytics, y machine learning (International Federation of Robotics, 2018; ITU, 2018; European Commission, 2020). Por ejemplo, los sistemas virtuales de capacitación, actualización y perfeccionamiento serán la norma y no la excepción, tal como lo muestran los Casos 1 y 2; los estudiantes tendrán amplio acceso a contenidos “internacionales”; los programas de pre y postgrado podrán ser iniciados en un país, continuados en otro y finalizados en un tercero; y los sistemas inmersivos de realidad aumentada o de realidad virtual participarán en la producción de laboratorios, donde el estudiante ingresará a través de un avatar al mundo virtual a experimentar la realización del laboratorio como si estuviera en el mundo real.

La educación superior en ingeniería también contribuirá al logro de los objetivos de reducir las desigualdades y de aumentar las posibilidades de trabajos dignos para las personas y de crecimiento económico de las comunidades. Por ejemplo, programas tales como BEA del Estado de Chile y Talento e Inclusión de la UC tendrán un alcance mucho mayor al que tienen en la actualidad. Esto requiere de fuertes inversiones y alto perfeccionamiento académico (PUC-Chile, 2021).

Las escuelas de ingeniería —desde el grado técnico-profesional al postgrado y educación continua— experimentarán un gran incremento del número de estudiantes gracias a la consolidación de la realidad virtual y aumentada que, en combinación con sistemas de e-learning y simulación, permitirán la emulación de laboratorios, equipos, procesos y sistemas, todo lo cual potenciará la docencia híbrida (U. Arizona, 2022).

Finalmente, las escuelas de ingeniería contribuirán a una mejora general de la calidad de la educación media y superior, en alianzas con facultades de educación, promoviendo la enseñanza del pensamiento computacional, la educación digital, y adoptando un modelo de educación para toda la vida (IEA, 2021).

Para contribuir al logro del fin de la pobreza, las escuelas de ingeniería asignarán un rol protagónico a las necesidades e intereses de la sociedad

Debido a la naturaleza compleja de los problemas que originan la pobreza, las escuelas de ingeniería (re)introducirán la formación humanista, aumentarán el número de programas multidisciplinarios e interdisciplinarios, y promoverán que sus estudiantes participen en redes de colaboración internacional. A nivel institucional, se profundizará la interacción entre la universidad, por un lado, y las empresas, los actores sociales y las comunidades, por otro, así como entre la universidad y los organismos públicos. Por ejemplo, habrá alta participación de profesionales de los sectores público y privado en la enseñanza de la ingeniería; y, a su vez, los profesores, investigadores y estudiantes de postgrado realizarán cada vez más pasantías en empresas y organismos públicos, focalizando su investigación en las problemáticas de estas organizaciones, ejemplificado en el Programa de Ingeniería 2030 y descrito en el Caso 4 (MinCTCI, 2020; CDIO, 2021).

Los objetivos de la ONU —en particular, el fin de la pobreza, la educación de calidad, la Igualdad de género, el trabajo digno y crecimiento económico, la Industria, innovación e infraestructura— así como las alianzas necesarias para lograrlos, serán incorporados como factores esenciales de la educación en ingeniería (IEA, 2021).

Las escuelas de ingeniería contribuirán al desarrollo de la industria, innovación e infraestructura desde la formación de pregrado, posgrado y educación continua

La investigación aplicada y desarrollo tecnológico será determinante para la innovación en las empresas e instituciones a nivel nacional, tal como se presenta en los Casos 1, 3 y 5. Este proceso de I+D será apoyado por las escuelas de ingeniería. En pregrado, los estudiantes innovarán procesos y productos como parte de sus estudios, lo que se traducirá en un aumento de start-ups con apoyo de empresas líderes y participación de estudiantes de últimos años; además, la formación de los/as nuevos/as ingenieros/as permitirá la creación de nuevos modelos de negocios en las empresas productivas y de servicios, que se muestran en el Caso 4. En postgrado, habrá una mucho mayor participación de doctores/as en diferentes industrias y sectores de actividad, aportando a la innovación tecnológica y al desarrollo de nuevos campos de investigación en ingeniería. Aumentará significativamente la colaboración entre universidades chilenas y universidades y empresas extranjeras, fortaleciendo la creación y desarrollo de programas conjuntos que aprovechen el conocimiento y formación que aporta la universidad, junto a la experiencia y el conocimiento de la industria y de sus necesidades que aporta la empresa. El sistema nacional de I+D+i+T+e convertirá a Chile en un país exportador de productos y servicios de alto valor agregado en nichos específicos, dando lugar a la creación de patentes, franquicias, joint-ventures, uso de licencias y franquicias, empresas unicornio y asesoramiento internacional. Se presentan algunos ejemplos ilustrativos en los Casos 4, 5 y 6.

Casos de Estudio

Caso 1: Arduinos y juegos electrónicos

Los arduinos, en el concepto de plataforma electrónica con bases de hardware y código abierto, se han transformado en herramientas flexibles y fáciles de usar para creadores y desarrolladores. Hoy, facilitan a los estudiantes el acceso y uso de la electrónica y programación, en la filosofía “learning by doing”, permitiéndoles la incursión en múltiples entornos de aplicación, tales como el prototipado, la automatización industrial y robótica, la domótica y el bricolaje, entre otros. En el futuro, usando un arduino, una cuenta de Dropbox y una webcam, el estudiante podrá diseñar su propia cabina de fotos y persianas controladas por su voz. También, se usarán arduinos para la proyección laser, el diseño de relojes holográficos, dispositivos para los trajes militares y de astronautas, plataformas de sensores biomédicos, radares.



Figura 4.2.1. Programador asiático controla un brazo robótico articulado con plataforma arduino.

Seúl, capital de Corea del Sur, es la ciudad con mayor avance en los juegos electrónicos. Desde el año 2001 realiza el Mundial de Cyber Games, auspiciado por Samsung y Microsoft. En el año 2019 se han sumado Seagate y NVIDIA, líderes mundiales en computación visual y computación en la nube, proporcionando unidades de procesamiento gráfico, que ofrecen a los jugadores un impresionante mundo de inmersión para disfrutar de sistemas de entretenimiento e información. Se plantea aquí un cambio de paradigma que genere un proceso enseñanza-aprendizaje más innovador, incluyendo en las aulas videojuegos como recurso docente, con la finalidad de conseguir una educación de calidad más entretenida, eficaz y motivadora para el estudiantado. Los video juegos permiten educar a los jugadores y ayudarlos

a adquirir habilidades necesarias para desempeñarse mejor en la complejidad y la incertidumbre, lo que puede aplicarse en sus empleos actuales y futuros, cambiando fuertemente la forma en que miembros de la generación actual ven el mundo de negocios, el modo en que piensan acerca del trabajo y riesgos y éxitos, y qué esperan de sí mismos (Ghedin, 2013).

Caso 2: Gafas aumentadas Inditex



Figura 4.2.2. Juegos electrónicos en Corea del Sur

Las empresas Inditex en España y Luxótica en Italia, multinacionales en gafas se iniciaron con lentes ópticos y de sol, luego desarrollaron más de 1.000 patentes de modelos de utilidad. Exploraron aleaciones con diferentes polímeros y crean los lentes Rayban. Luego de realizar alianza con Essilor de Francia, crean las gafas inteligentes con realidad aumentada. Se conocen diversas aplicaciones, en construcción y vivienda en tours virtuales, levantamiento de proyectos, servicios aéreos con drones, asistencia remota, telemedicina, soluciones de almacén y muchas más. En el futuro, las gafas con inteligencia artificial tomarán instantáneas y videos en un abrir y cerrar de ojos, permitirán pagos automáticos, escuchar música, enviar mensajes, GPS y navegación en internet. Serán usadas con múltiples

sensores en el deporte. Las gafas aumentadas serán una innovación con proyección holográfica y traducción instantánea.

Caso 3: Robots de V generación

La empresa LG tiene presencia en los aeropuertos de Corea del Sur, por medio de robots autónomos, guías y de limpieza en el aeropuerto Internacional de Incheon. El Airport Guide Robot proporciona información y asistencia a los viajeros; cuenta con el sistema de reconocimiento de voz de LG y entiende cuatro idiomas: coreano, inglés, chino y japonés, que corresponden a los idiomas más hablados en la terminal aérea. El robot puede conectarse al servidor central del aeropuerto para proporcionar información sobre el tiempo de embarque y las ubicaciones de restaurantes y tiendas entre otras. En el futuro, los robots autónomos y con inteligencia artificial explorarán el espacio, planetas y asteroides; operarán zonas delicadas de nuestro cerebro y se introducirán en el cuerpo del ser humano en diversas modalidades, reemplazando y sustituyendo órganos y aumentando la capacidad tanto física como intelectual de las personas (International Federation of Robotics, 2018).



Figura 4.2.3. Robots de 5ª generación

Caso 4: Programa Ingeniería 2030

El objetivo de este programa ha sido transformar las Facultades y Escuelas de Ingeniería en motores de innovación y emprendimiento de alto impacto para Chile, mediante la incorporación de estándares de Clase Mundial [CORFO, 2019]. En este programa han participado 17 universidades de 9 regiones con un total de 56.400 estudiantes. Se han compartido experiencias de aprendizaje, armonización curricular, métodos efectivos de enseñanza aprendizaje, I+D con industrias, i+e de estudiantes, educación en línea y otras. Se han desarrollado iniciativas y programas colaborativos entre universidades, destacando el caso de emprendimiento tecnológico e innovación para transformación de las industrias, en particular respondiendo al cambio climático, la transición energética y la digitalización acelerada. También, se ha propiciado alianzas internacionales y alianzas con empresas.



Figura 4.2.4. Robots de 5ta. generación

Caso 5: SUCHAI, nanosatélites para investigación espacial

Un grupo de científicos, ingenieros y estudiantes de ingeniería, pertenecientes al Laboratorio de Exploración Espacial y Planetaria (Space and Planetary Exploration Laboratory o SPEL) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (FCFM) de la U. de Chile, ha diseñado, construido y operado un nanosatélite, haciendo



Figura 4.2.5.
Nanosatélites para investigación espacial

participar en la investigación a estudiantes de doctorado, magíster y pregrado en ingeniería. SUCHAI fue lanzado al espacio en junio de 2017 desde el Satish Dhawan Space Center de India, en conjunto con satélites similares de otras agencias, su misión terminó en enero de 2019. Este Proyecto ha permitido integrar tecnologías desarrolladas en el extranjero, tales como los sistemas críticos de energía y comunicaciones, integrados a desarrollos propios, como las antenas desplegadas y el software de vuelo que controla el satélite, la estación terrestre y los sistemas de operación.

Actualmente, hay tres misiones en desarrollo en el Laboratorio: SUCHAI-2, SUCHAI-3 y PlantSat. Los nanosatélites de tipo CubeSat como SUCHAI cambian el paradigma de desarrollo de misiones satelitales clásicas, ya que se trata de satélites miniaturizados que requieren una alta integración de sistemas.

Caso 6: Centros de Crecimiento en Australia y Centro para la Cuarta Revolución Industrial en Japón

Se estima que Australia realizará una inversión de US\$ 2,4 mil millones en el crecimiento de las capacidades de investigación, ciencia y tecnología durante los próximos 12 años, para apoyar una economía más fuerte e inteligente. La iniciativa de Centros de Crecimiento, liderada por la industria tiene como objetivo impulsar la innovación, la productividad y la competitividad en estos sectores prioritarios: fabricación, seguridad cibernética, alimentos y agroindustria, tecnologías médicas y farmacéuticas, equipos, tecnología y servicios de minería (METS) y recursos de petróleo, gas y energía. Este financiamiento incluirá: supercomputadoras, imágenes de satélite de clase mundial, mejorar el GPS en Australia, actualizar la plataforma tecnológica de la Oficina de Meteorología, una agencia espacial nacional e investigación líder en inteligencia artificial. El Australian Council of Learned Academies examinará las oportunidades, los riesgos y los beneficios de las aplicaciones de IA y considerará su impacto. Los hallazgos cubrirán los impactos económicos, sociales, ambientales, éticos y culturales que ayudarán a guiar el desarrollo de la IA en Australia durante la próxima década.

Actualmente, Australia cuenta con 172 instituciones de educación superior: 37 universidades estatales, 4 universidades privadas, 2 universidades extranjeras con sede en Australia y 129 establecimientos de educación superior no universitaria. En todo el sistema participan cerca de 1,4 millones de estudiantes, de los cuales un 25% corresponde a extranjeros. Sin embargo, el gobierno australiano es el principal financista de la educación superior a través del Commonwealth Grant Scheme. La mayor parte del financiamiento se administra a través de la Ley de Apoyo de la Educación Superior (HESA), e incluye diferentes fondos. El subsidio del Commonwealth Grant Scheme cubre, en promedio, el 60% del valor total de las carreras. El porcentaje restante es financiado a través del Higher Education Loan Program (HELP), un sistema de préstamos sin interés realizados por el estado (HECS) (Moguillansky, 2006).

Por otra parte, Japón, según el Foro Económico Mundial, aprovecha las tecnologías

emergentes para abordar los desafíos sociales y puede servir como un ejemplo para muchos países. La articulación entre gobierno y empresas es el factor clave. Han creado el Centro para la Cuarta Revolución Industrial de Japón, en el que se diseñarán proyectos para acelerar la respuesta del país al cambio tecnológico en problemas cruciales, tales como el envejecimiento y la reducción de la población, y adicionalmente harán una transformación social de los líderes (Keidanren, 2021).

Los 3 temas en los que se ha enfocado Japón son la movilidad autónoma y urbana, la medicina de precisión y la política de datos. La educación superior japonesa es un ejemplo de la educación superior masiva en un país con elevada densidad de población y altamente industrializado. Cuenta con 2.130 universidades (públicas y privadas), 520 junior colleges, 50 colleges tecnológicos y 2.675 escuelas de formación especializada. las universidades pueden crear centros o institutos de investigación, estaciones experimentales, hospitales y escuelas, dotados con sus equipos de investigación de tiempo completo.

4.3 Energía

En un escenario disruptivo al 2030 y con el potencial de los recursos energéticos renovables disponible en el país, las metas debieran superar los crecimientos tradicionales y enfocarse en el mercado mundial con exportaciones superando ampliamente el consumo nacional, además del retiro total de los combustibles fósiles.

■ Visión 2030

El almacenamiento de energía se expandirá en sus distintas tecnologías para apoyar a las energías renovables variables, reduciendo el uso del carbón como fuente de suministro, manteniendo el gas e incorporando en forma paulatina el hidrógeno verde como combustible, en un mercado altamente competitivo que contará con la participación de nuevos actores. La electromovilidad tendrá un rol central en el transporte privado, público y de carga a lo largo de Chile. Las redes digitalizadas dominarán la industria energética.

■ Prospectivas 2030

Generación eléctrica totalmente renovable

En generación eléctrica se mantendrá la incorporación de centrales solares fotovoltaicas y eólicas, además de la gran penetración de centrales de concentración solar de potencia. No existirán centrales carboneras y solamente para potencia de punta en casos excepcionales se utilizarán algunas centrales a gas natural de respaldo con incorporación parcial de hidrógeno verde como combustible. Toda la generación de electricidad de gran escala, para consumo interno y de exportación, será renovable y la generación distribuida, principalmente en techos, crecerá fuertemente unida a una red de distribución inteligente y a la incorporación masiva de la figura del prosumidor (consumidor y productor de electricidad).

Las energías renovables se expandirán principalmente a través de centrales de bombeo hidráulico de amplia experiencia por muchos años en Europa, y con baterías de litio BESS de gran tamaño para los sistemas interconectados y de menor tamaño para apoyar la generación local de pequeños consumidores.



Figura 4.3.1 Generación eólica

Por los avances tecnológicos y la disminución de costos de las tecnologías se habrán incorporado en la generación de gran escala centrales geotérmicas, mareomotrices y eólicas en el mar, unida a una flexibilidad en la operación, almacenamiento y nuevas tecnologías de operación y mantenimiento del sistema eléctrico con TI.

La innovación en la tecnología para fabricación de módulos fotovoltaicos y la calidad de la radiación solar permitirá costos nivelados de desarrollo (LCOE) de energía fotovoltaica del orden de 10 US\$/MWh en el norte de Chile —los menores del planeta— que facilitará fabricar hidrógeno verde destinado a la exportación.

La disponibilidad de fuertes vientos en la zona austral y el uso de eólica marina en el resto del país permitirán tener menores costos de generación de electricidad eólica que muchos países del planeta para fabricar hidrógeno verde y sus derivados.

Electromovilidad en todo el transporte público, privado y de carga

La electromovilidad dominará el mercado del transporte privado, público y de carga en todas las regiones del país.

Los automóviles eléctricos constituirán el 100% del parque automotor, con una red nacional y regional de electrolinerías y solamente se mantendrá una pequeña parte de vehículos antiguos que utilizan combustibles sintéticos producidos en Chile, principalmente en zonas rurales.

Los automóviles eléctricos se transformarán en un modo de almacenamiento de energía y en generadores móviles que tendrán regulación y medición de producción en forma distinta a las fuentes estacionarias tradicionales, permitiendo mejorar la seguridad y calidad del suministro eléctrico.

El transporte público será 100% eléctrico, ya sea a través de Metro en grandes ciudades, trenes de cercanía, buses urbanos e interprovinciales, manteniéndose solamente en las zonas rurales buses tradicionales con combustibles fósiles, que se comenzarán a operar con combustibles sintéticos obtenidos a partir de hidrógeno verde.



Figura 4.3.2. Metro y trenes de cercanía

El transporte de carga se realizará por trenes eléctricos con el apoyo de camiones consumiendo hidrógeno verde, permitiendo descongestionar las carreteras y disminuir la huella de carbono de los productos transportados.

Se producirá la eliminación de subsidios al diesel y un aumento de impuestos verdes para fuentes fijas y fuentes móviles.

En las redes de trenes de pasajeros y de carga se incorporarán trenes de hidrógeno con lo cual se evitará la construcción de nuevas redes eléctricas ferroviarias para mover los trenes eléctricos tradicionales, permitiendo que todas las redes ferroviarias operen sin usar combustibles fósiles.

Disminución de la pobreza energética para todos los habitantes

En el sector urbano se reemplazará el uso de leña en necesidades térmicas con electricidad, calentamiento de agua solar, calefacción distrital y geotermia de baja entalpía.

La geotermia de baja entalpía permitirá la calefacción de edificios en ciudades y potenciará el desarrollo de calefacción distrital eliminando el uso de combustibles fósiles en calefacción.

El enfoque de pobreza energética pasará de considerar personas que no tienen acceso a electricidad o combustibles al concepto más amplio de mantener en invierno y verano temperaturas adecuadas al interior de las casas, lo que involucrará el diseño y aislación de viviendas y edificios, incorporando eficiencia energética y normas en la edificación. Además, considerará la disponibilidad de agua caliente sanitaria a través de calefacción distrital o por paneles solares de calentamiento de agua.

Se reemplazará el consumo de leña en calefacción por calefacción distrital, geotermia de baja entalpía, electricidad, y calentamiento de agua solar en todas las zonas urbanas del país.

Mercado competitivo con nuevos actores

La ingeniería de distribución y de transmisión eléctrica - por el avance tecnológico de automatización de la red, nuevas tecnologías de operación y mantenimiento con inteligencia artificial y nuevos modelos de negocios - se transformará en

multidisciplinaria con énfasis en electricidad de potencia, control, telecomunicaciones e informática.

En el sector industrial se eliminará el consumo de carbón, diesel y gas natural, principalmente en los bienes de exportación, porque su huella de carbono directa e indirecta implicaría el cierre de mercados de exportación.

Nuevos modelos de negocios facilitados por medición inteligente y participación de los consumidores en su gestión de energía transformarán al prosumidor en un actor relevante del mercado energético, permitiendo la incorporación de eficiencia energética en todos los procesos y con metas exigentes.

El prosumidor, ya sea con generación renovable fija o con automóviles eléctricos, unido a la inteligencia de las redes permitirá crear un nuevo mercado de oferta y demanda, con una optimización de los recursos en redes de transmisión y de distribución y menor inversión en centrales de generación centralizadas. Se definirán nuevos modelos de regulación para permitir la gestión de la demanda y la competencia entre todos los actores del sistema eléctrico y eliminar barreras de entrada a nuevos actores en cualquiera de las etapas del sistema.

Se desarrollarán nuevos modelos de negocios para la optimización de la operación del sistema eléctrico incorporando nuevos actores en la operación, inteligencia artificial y un enfoque multidisciplinario con redes de transmisión y distribución digitalizadas.

Proveedores mundiales de Hidrógeno verde

La exportación de electricidad se realizará principalmente a través de hidrógeno verde, obtenido por electrólisis con energía solar y eólica, que permitirá abarcar del orden del 30% al 40% del mercado mundial de hidrógeno utilizando una generación eléctrica del orden de 300 a 600 GW, varias decenas de veces superior a la exportación tradicional a través de líneas de transmisión HVDC (generación de 45 GW) a países cercanos.

La exportación de electricidad se realizará por vía marítima a través de hidrógeno verde y también a través de amoníaco.

La industria de hidrógeno verde permitirá exportar fertilizantes verdes, explosivos verdes y combustibles sintéticos, eliminando componentes fósiles y contribuyendo a la carbono-neutralidad del planeta.



Figura 4.3.3. Exportación de hidrógeno verde
Fuente: Centro de Estudios Públicos

Información transparente y completa para todos los ciudadanos

Existirá una amplia información de energía disponible, participación y acceso ciudadanos a modelos e información en tiempo real de la operación del sistema, lo cual permitirá una optimización de los recursos, nuevos actores en todos los segmentos, mayor competencia y modelos de negocios en distintas áreas surgiendo desde el sector eléctrico.

El usuario de energía eléctrica o térmica dispondrá de plataformas públicas para facilitar el contacto y recibir una oferta personalizada a sus necesidades de todo tipo de energías y servicios asociados desde los proveedores que podrán cotizar completamente dichos requerimientos.

Redes eléctricas digitalizadas permitirán el empoderamiento de la demanda

La digitalización y automatización de las redes de transmisión y de distribución en media tensión y en baja tensión permitirán conocer el estado de cada tramo, operar de forma remota y en tiempo real estas redes y generar información en tiempo real para todos los actores del sistema incluyendo a los consumidores.

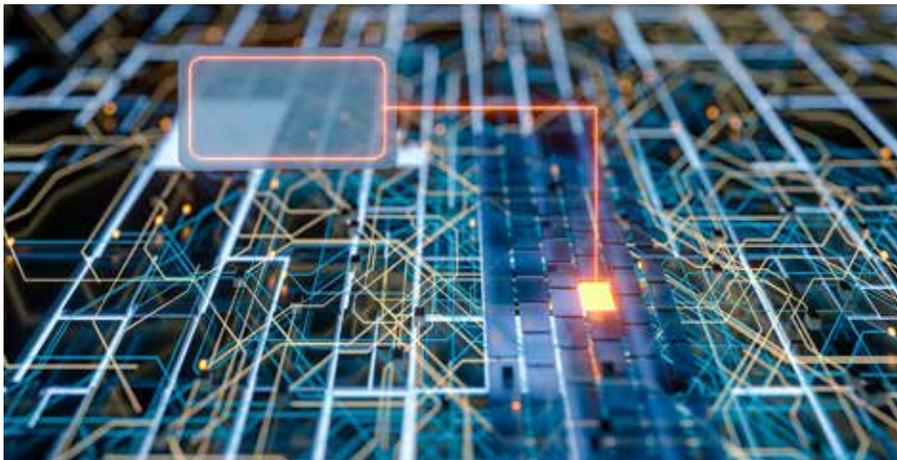


Figura 4.3.4. Redes eléctricas digitalizadas

La digitalización permitirá la adaptación de la demanda y de la generación a la capacidad de las redes, desplazará las horas de punta, reducirá congestiones y, por lo tanto, mejorará la calidad y continuidad del servicio eléctrico y facilitará la operación del mercado de los prosumidores.

La incorporación de inteligencia artificial, redes neuronales, machine learning, gemelos digitales, entre otros, además de optimizar la operación del sistema en toda la cadena desde la central generadora hasta el consumidor final, permitirá simular la operación futura detallada y su recuperación ante catástrofes y desastres naturales.

La digitalización de las redes permitirá potenciar al prosumidor y a la generación distribuida renovable, aprovechando la generación de información de los consumos, manejo de artefactos inteligentes, almacenamiento eléctrico, gestión de la demanda por el consumidor y facilitará la competencia de los agregadores de demanda.

La digitalización permitirá gestionar la capacidad de recarga inteligente de las baterías de los vehículos eléctricos para obtener la mejor tarifa para su carga o para vender la electricidad disponible en la batería en las horas de mayor precio, facilitando la competencia en el sector eléctrico.

4.4 Minería

■ Visión 2030

A continuación, se esboza un escenario muy optimista y desafiante, en el cual se ejemplifican algunos beneficios de la aplicación, tanto directa como indirecta, de la Minería 4.0. En este escenario se cumplen todas las metas del PNM 2050. Su principal diferencia con el Escenario I es que una fracción importante de las tecnologías utilizadas por la industria minera serán generadas en el país.

■ Prospectivas 2030

La Minería 4.0 convierte a Chile en un líder tecnológico

Se mantienen los beneficios mencionados para el caso del Escenario I, agregándose los siguientes:

- Uso intensivo de tecnologías de tele operación y automatización en todos los procesos mineros (perforación, tronadura, transporte, carga, etc.)
- Chile poseerá la primera constelación de nanosatélites con aplicaciones en minería, lo cual permitirá su utilización en tareas de prospección, monitoreo ambiental en operaciones mineras y fundiciones, gestión de operación de relaves y prevención de eventos climáticos catastróficos.

La Minería 4.0 motiva el desarrollo de nuevas tecnologías

Se mantienen los beneficios mencionados para el caso del Escenario I, agregándose los siguientes:

- Nuevas tecnologías para reprocesamiento de relaves.
- Se desarrollan tecnologías nacionales para la generación de productos con alto valor agregado en base a cobre (copper foil y materiales para diversos usos con propiedades anti-bacterias y virus).
- Desarrollo de tecnología no evaporativa para extracción de litio desde salmueras, se usan también por empresas que extraen litio desde los salares en Argentina y Bolivia.
- Desarrollo local de nuevas tecnologías de extracción y procesamiento de minerales (Procesamiento in -situ, recuperación de Cu en seco, uso de ultrasonidos, minería sin depósito de relaves).

La Minería 4.0 como traccionadora y habilitadora de industrias anexas

Surgirán nuevos modelos de negocios derivados del trabajo conjunto entre las empresas mineras, sus proveedores y la academia, los cuales colaborativamente desarrollan en Chile las tecnologías que la minería necesita. La minería se transforma en un traccionador de otras industrias, profundizando y densificando los encadenamientos productivos. Algunos ejemplos de iniciativas y modelos de

negocios son los siguientes:

- Camiones mineros armados en la región de Antofagasta potenciarán el clúster regional de proveedores.
- Nuevos modelos de negocios y desarrollos tecnológicos permitirán tener fábricas de baterías de litio en el país. La mayor parte de su producción se exportará.
- Desarrollo local de tecnologías de bajo costo para la pequeña minería y mediana minería.
- Alianzas con grandes centros de I+D y empresas internacionales (por ejemplo, australianos, sudafricanos, finlandeses) para desarrollo de nuevas tecnologías disruptivas.
- Cambio en la ley minera: se impondrá un límite a la pertenencia si no se explota. Facilitará el desarrollo de fondos de inversiones Junior y el desarrollo de nuevos yacimientos a diferentes escalas.

Resultado País

- Chile se consolidará como el primer productor de cobre a nivel mundial y su huella de carbono neutra le permitirá obtener mejores precios de venta en los mercados internacionales.
- La industria de proveedores mineros exportará anualmente 5 mil millones de dólares al 2030. Esta meta es mayor a la definitiva en el PNM 2050, de 1.500 millones de dólares al 2030.
- La totalidad de las fundiciones del país se encontrará en el primer cuartil de costos y capturará el 99% de sus emisiones.
- Mayor exportación de cátodos versus concentrados.
- Existirá un manejo sustentable de los relaves y al 2030, por primera vez, disminuirá la superficie ocupada por estos en Chile.
- La brecha tecnológica entre la gran minería y la mediana-pequeña minería se habrá reducido a cero, y la minería chilena en su conjunto poseerá las menores tasas de accidentabilidad a nivel mundial.
- Las/os chilenas/os se sentirán orgullosas/os de su industria minera.

4.5 Transporte

■ Visión 2030

El Escenario II puede ser producto de una pandemia más corta, en conjunto con que los habitantes de Chile y el mundo aprendan a convivir con ella, y además que la situación política en Chile logre un nuevo equilibrio, con paz social y alto crecimiento. Con ello, el sector transporte podrá presentar una evolución acelerada, que permita incorporar los mejores avances del mundo.

■ Prospectivas 2030

Los viajes de larga distancia disminuirán dentro de la ciudad en forma importante, aumentando la productividad colectiva

Tanto por el aprendizaje que dejará el COVID-19 en el comportamiento de las personas, como también por la evolución de la tecnología, muchas profesiones podrán efectuar trabajo a distancia, lo que modificará sus necesidades de transporte. Unido a ello, el crecimiento de las grandes ciudades, como Santiago, hará inconveniente trabajar en un extremo de la ciudad y vivir en otro; y, tal como ocurre hoy en grandes urbes, la persona deberá escoger entre cambiarse de trabajo a uno más cercano a su residencia, o cambiar su lugar de residencia a otro más cercano al trabajo. Esta combinación de factores significará que los viajes de larga distancia per cápita dentro de la ciudad disminuirán en forma importante (se considera viaje urbano de larga distancia, a aquel que es superior a 2 o 3 km., equivalentes a entre 20 y 30 minutos caminando, criterio comúnmente aceptado).

Aumentará la cobertura de redes de Metro y trenes, liderando el transporte público urbano de larga distancia

Metro de Santiago habrá crecido y más que duplicando su capacidad actual, convirtiéndose en el gran medio de transporte urbano de distancias medias y largas, complementándose con la gran cantidad de medios de transporte unipersonales. Así, la red de Metro de Santiago contará con una extensión de más de 350 Km.

En varias otras ciudades de Chile, los trenes se habrán transformado en metros a los que se les agregarán nuevas líneas; por lo que los metros comenzarán a tener un rol estructurante en las conurbaciones de Valparaíso/Viña del Mar/ Reñaca/ Concón y de Concepción/ Talcahuano.

Hacia el año 2030, además estará en etapas de ingeniería en otras ciudades de Chile, y en obras de construcción dos o tres ciudades de Chile además de Santiago. Asimismo, estará operando el tren rápido Santiago-Valparaíso, acercando ambas ciudades y los puntos intermedios, produciendo una integración urbana extremadamente atractiva.



Figura 4.5.1. Integración urbana con trenes

Aumentarán los vehículos unipersonales

Existirá una gran disponibilidad de vehículos (scooter, bicicletas, patinetas, skates, etc.) a precios muy accesibles, tanto en modalidad de compra tradicional como de servicio con valores comparables o inferiores al transporte público tradicional.



Figura 4.5.2. Vehículos unipersonales

El transporte será cada vez más semipersonalizado, y los taxis, autónomos

El transporte en vehículos unipersonales se complementará con minibuses urbanos, que a través de aplicaciones tecnológicas y un uso intensivo de Inteligencia artificial (IA), operarán en forma personalizada, recogiendo pasajeros para llevarlos a las estaciones de intercambio cercanas (y desde estas estaciones a sus destinos), con asignación y cálculo de ruta dinámica sobre la base de IA, lo que permitirá costos competitivos con transporte público tradicional. Hacia el 2030, parte de estos vehículos operarán en forma autónoma, por ejemplo, taxis autónomos en etapa experimental. También habrá taxis aéreos, aunque es probable que sus costos aún no sean competitivos.



Figura 4.5.3. Olli el autobús autónomo del futuro
Fuente: CNN

Se producirá un cambio en la señalización urbana

Para ese entonces, resultará evidente que los semáforos no son suficientemente efectivos, y la congestión y accidentes ocurrirán tanto en la calle como en las veredas, las que se encontrarán congestionadas y difíciles de controlar.

Considerando la proporción de personas que se transportarán en distancias cortas, utilizando todo tipo de vehículos unipersonales, muchos de ellos con energía eléctrica, las calles y veredas al año 2030 estarán copadas y un nuevo desafío será controlar la convivencia entre ellos.

El 2030 el transporte aéreo se habrá recuperado completamente

La estimación de la IATA es que los avances médicos en el tratamiento o erradicación de la pandemia permitirán que el transporte aéreo retome su crecimiento desde el año 2022, lo que significará que el costo de crecimiento causado por la pandemia será el equivalente a dos años, según se muestra en el siguiente gráfico:

We estimate COVID-19 long-term loss of 2 years growth Strong rebound when border travel barriers removed but not full recovery

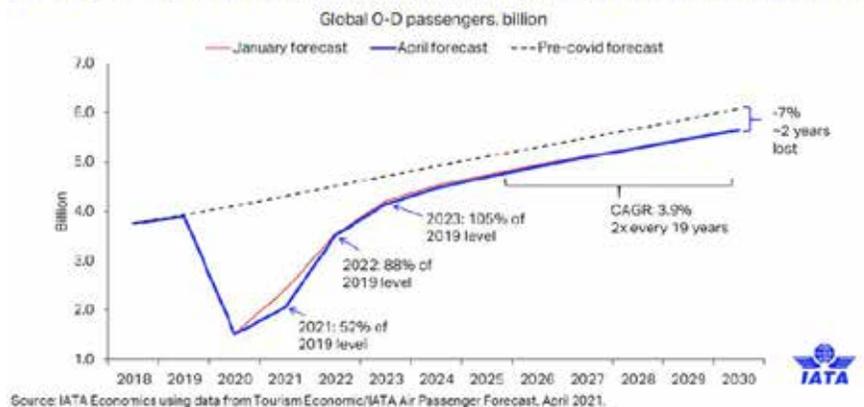


Figura 4.5.4. Incremento en viajes
Fuente: IATA

Ello significa que, a nivel mundial, hacia el año 2030, los pasajeros anuales habrán duplicado los del año 2019. Dado que Chile crece bastante más rápido en este sentido que el resto del mundo (un 50% aproximadamente en los años precedentes al 2019), hacia el 2030 la cantidad de pasajeros podría triplicarse respecto del año 2019.

En este medio de transporte, la incorporación de tecnología será clave para coordinar los flujos de personas y para que los procesos sean más eficientes. Ello significa que el diseño de aeropuertos, accesos, y vías aéreas utilizará en forma profunda la transformación digital, mejorando procesos, eliminando filas y tiempo de espera, separando cada vez más los procesos físicos de acceso, embarque, etc., de los procesos lógicos.

Con respecto a los motivos para viajar, en viajes de negocios, la mejora en las herramientas de videoconferencias y de apoyo al teletrabajo en general, habrá demostrado que una parte importante de las reuniones de negocios se puede efectuar en forma remota; sin embargo, los viajes de turismo aumentarán a una tasa que compensará con creces la disminución de los viajes de negocio.

Así, la gran cantidad de aviones que hoy observamos en tierra desaparecerá en poco tiempo, y la industria de fabricación de aviones volverá a ser un motor de la economía.



Figura 4.5.5. Transporte aéreo y energías renovables

La energía solar, almacenada como hidrógeno verde, se encontrará en pleno desarrollo al 2030, y cada vez más vuelos la utilizarán.

En el transporte marítimo la tecnología minimizará las necesidades de espacio junto al mar en los puertos

El transporte marítimo seguirá siendo utilizado en nuestro país, principalmente para carga. A pesar de ello, en las actividades relacionadas con el transporte marítimo, los puertos serán un bien cada vez más escaso —por razones de costo de orilla de mar y por presiones ambientalistas que cada día tendrán más fuerza— por lo que la tecnología habrá permitido la separación total de las actividades de logística de las actividades de carga y descarga de los barcos, con avanzada tecnología de seguimiento y localización.



Figura 4.5.6. Eficiencia en el transporte de carga marítima

Así, en el transporte de carga marítima, los puertos a orillas del mar serán utilizadas cada vez en forma más eficiente, dado que existirá una separación total entre las gestiones de logística y aduaneras que se llevarán a cabo en puertos secos, de los procesos de carga y descarga que se realizarán a orillas del mar, con avanzada tecnología de seguimiento y localización, profundizando más el concepto introducido por ZEAL en Chile.

El uso de automatización y tecnologías de última generación, permitirán al sistema logístico chileno y en particular a sus puertos, realmente haber vivido la transformación digital.

En esa evolución, los procesos de carga y descarga llegarán a un nivel de automatización cada vez superior. Los avances en las tecnologías de seguimiento y localización facilitarán el control, y hacia el 2030, los PCSs (Port Community Systems) estarán implementados en todos los puertos de Chile, y se habrán convertido en herramientas indispensables para su operación. Los PCS son una plataforma tecnológica para la gestión de solicitudes y prestación de los distintos servicios portuarios de forma inteligente, centralizada, segura y sin papeles.



Figura 4.5.7. Logística del sistema portuario

La demanda de transporte marítimo acelerará el desarrollo portuario

Los desarrollos de Chile hacia el año 2030 en materia medioambiental generarán una demanda de transporte marítimo que requerirá desarrollos portuario acelerados.



Figura 4.5.8. Gran futura demanda de transporte marítimo
Fuente: Intrade-net.com

La escasez de agua dulce en el norte acelerará las inversiones en plantas de desalación, plantas que serán alimentadas con energía solar, lo que podrá aumentar en forma significativa el precio de los minerales chilenos, por la valorización mundial que cada vez pagará más por procesos que no afectan el medio ambiente y sean carbono neutrales.

Por otro lado, la capacidad de generación de energía solar en Chile se desarrollará en forma acelerada, lo que permitirá tener grandes excedentes al año 2030. Así, la exportación de energía solar almacenada en forma de hidrógeno verde posicionará a Chile en el liderazgo mundial, y generará aún más requerimientos para transporte de H2 verde desde los puertos de Chile al mundo.

Automóviles eléctricos y vehículos autónomos dominarán mercado de personas y familias

Los automóviles o vehículos multipersonales y familiares no dejarán de existir, pero producto de legislaciones que defienden ambientes libres de contaminación y también de una conciencia medioambiental fuertemente arraigada en la sociedad, hacia el 2030 la gran mayoría de los que circulen en las grandes ciudades en Chile serán eléctricos, y un gran porcentaje de ellos tendrá capacidad de desplazarse autónomamente a través de las ciudades. Esto último llevará a que la ciberseguridad será un factor crítico para evitar accidentes de tránsito.



Figura 4.5.9. Electromovilidad

No obstante, las dificultades para el uso del automóvil serán crecientes, y una parte de ellas impuestas por el estado, como la tarificación vial, eliminación de estacionamientos, pistas exclusivas para transporte público y en general una reducción de la capacidad vial en beneficio de los medios de transporte unipersonales.

Los automóviles seguirán evolucionando hacia una mayor eficiencia, y aumentará la proporción de automóviles eléctricos; hacia el año 2030 ya no se venderán automóviles híbridos, y Chile será un ejemplo mundial por el cambio drástico en disminución de contaminación. Las electrolíneas hacia el 2030 se encontrarán en todas las ciudades y carreteras importantes del país, facilitando así su uso.



Figura 4.5.10. Vehículos autónomos

El tamaño de los vehículos disminuirá, y aparecerá una gran cantidad de automóviles clasificables en una nueva categoría, *city car*.

Por otra parte, el nivel de autonomía de los automóviles se incrementará en forma acelerada. En la próxima generación de automóviles, hacia el 2025, será usual que los automóviles tengan sistemas de ayuda como frenado ante la proximidad del vehículo que lo antecede, tomando el control por sobre el conductor, además de funciones como estacionarse sólo o mantener velocidad y dirección en carreteras, como hoy ya lo hacen algunos automóviles.

El transporte de carga urbano e Interurbano será cada vez más automatizado y autónomo

El transporte de bienes o carga contará con mucha automatización en todo el proceso, y existirá un aumento enorme de la cantidad de carga urbana transportada, también

llamada de última milla, alcanzando al 2030 nivel del orden de 100 veces la actual.

Desde los centros de distribución y hasta sus destinos finales, se incorporarán masivamente vehículos eléctricos con mucha mayor velocidad que las personas, y hacia el 2030 serán todos eléctricos.

También, para compras en plataformas como Cornershop o despachos de restaurantes, se incorporarán vehículos eléctricos masivamente, desde motos, triciclos y hasta miniautos más eficientes, baratos y sin huella de carbono.

Los drones o equivalentes serán un actor relevante en logística, y generarán nuevas complejidades que obligarán a regular su uso en forma muy estricta. Los robos a los drones serán una parte importante de las preocupaciones de las cadenas de distribución.



Figura 4.5.11. Drones para logística

Para el transporte interurbano, hacia el año 2030 los camiones autónomos operarán en forma regular, y nadie se extrañará de ver un camión sin conductor, o con el conductor leyendo o prestando atención a otras cosas.



Figura 4.5.12. Camiones autónomos

No obstante, habrá sido un largo período de recolocación de trabajo, dado el masivo desempleo que generaría un cambio de este tipo sin una política pública que se haga cargo.

Casos de estudio

Domino's Pizza ya usa robots como repartidores para llevarte la pizza a domicilio

Camiones automatizados sin conductor para el transporte de mercancías por carretera. La tecnología avanza a una celeridad gigantesca, y el sueño de varias grandes empresas es el de poder automatizar sus servicios para que sean más eficientes. Domino's Pizza, la popular cadena estadounidense de comida rápida, está probando ya un nuevo servicio de entrega a domicilio con repartidores no humanos.

Robo-reparto a domicilio de Domino's Pizza

El 12 de abril de 2021, Domino's ha puesto en marcha un servicio de entrega en coche que difiere del usual, ya que se trata de un vehículo robótico "totalmente autónomo" sin conductor. Así es como funciona: los clientes del barrio de Woodland Heights de Houston, lugar donde la cadena ha hecho las pruebas, pueden elegir el servicio de entrega con robot y recibir mensajes de texto con información actualizada sobre la ubicación del coche y un código numérico que puede utilizarse para recuperar el pedido. Una vez que llega el coche, el cliente introduce el número en la pantalla táctil del robot y las puertas del coche se abren para servir la comida.

Caso 2: Nuro robot

El coche robot está fabricado por la compañía Nuro, y es "el primer vehículo de reparto en carretera completamente autónomo y sin intervención humana que recibió la aprobación reglamentaria del Departamento de Transporte de Estados Unidos de Norteamérica" el año 2020 según Domino's.

4.6 Agroindustria y alimentos

■ Visión 2030

Tal cual se mencionó en el capítulo anterior, la población mundial está creciendo y es necesario que aumente la producción de alimentos de modo de poder satisfacer la seguridad alimentaria de todos los habitantes del planeta. Varios de los objetivos de desarrollo sostenible de Naciones Unidas, están relacionados con la alimentación y salud de las personas, específicamente los objetivos 2, Hambre Cero, 3, Salud y Bienestar, 12, Producción y Consumo Responsable, y 13, Acción por el Clima. Pero ¿cómo lograr este aumento de la productividad de alimentos sin afectar el cambio climático?, ¿cómo asegurar la correcta distribución de alimentos de modo de cumplir con la seguridad alimentaria en todo el planeta?, ¿cómo disminuir la pérdida de alimentos? El uso de la tecnología podría resolver estas y varias interrogantes que nos planteamos.

■ Prospectivas 2030

Monitoreo remoto de animales y cultivos usando satélites y microsátélites

La existencia de diversos satélites y microsátélites, y sus capacidades tecnológicas, permitirá mejorar aún más el monitoreo remoto. Cada granja o conjunto de granjas contará con una central de monitoreo que recibirá datos de los satélites, los que en combinación con los datos obtenidos de los sensores y el histórico de los predios considerados, permitirá mejorar la productividad.

La imagen satelital permitirá analizar con mayor precisión la fertilización de los campos, al hacer un análisis de nutrientes de acuerdo con la reflexión de la luz. De igual forma, el análisis de imágenes satelitales permitirá conocer de mejor forma el comportamiento del ganado pudiendo detectar tempranamente enfermedades y cojera.

Las centrales de monitoreo que utilizarán la información e imágenes proveniente de los satélites necesitarán de pocos operarios, ya que gran parte del trabajo será automático y el análisis de los datos obtenidos del satélite y de los sensores en terreno provocarán alarmas que activarán acciones concretas. Las condiciones de trabajo mejorarán considerablemente al no tener que estar a la intemperie en el campo durante 8 horas o en los turnos nocturnos, en el caso de crianza de animales o de la industria lechera.

Frente a la crisis hídrica mejoraremos el aprovechamiento de las fuentes de agua

La escasez hídrica producida en parte por el calentamiento global y el cambio climático afecta la industria agroalimentaria creando oportunidades de mejora. De acuerdo con las estadísticas nacionales, el 70% del agua disponible es consumido por la agricultura, por lo que un mejor aprovechamiento de las fuentes de agua ayudaría no solamente al sector agrícola, sino que a todos los sectores que requieren agua, incluyendo el consumo humano.

El uso de sensores de humedad por si solo no resuelve el problema, si bien ayuda. La cantidad de agua necesaria para un cultivo depende de diversos factores que no son medidos en la actualidad, sobretodo en la pequeña y mediana agricultura. Por ejemplo, factores que dependen del cultivo mismo (la especie cultivada), del suelo (su textura, conductividad eléctrica y pH) y del medio ambiente. Por otro lado, el exceso de riego, así como la falta de éste afectan a los cultivos, por lo que es necesario regar de acuerdo con la especie cultivada y de acuerdo con las condiciones del entorno.

Le existencia de sensores que permitan monitorear y controlar el crecimiento de los cultivos ayudará a optimizar el uso del agua y, por ende, aprovechar mejor este recurso mejorando, a su vez, la productividad del suelo.

Las plantas soportarán las nuevas condiciones a través de su modificación genética

Una de las formas de combatir la escasez de agua es a través de la modificación genética de plantas haciéndolas más resistentes a la sequía, es decir, modificando genéticamente sus necesidades de agua.

Otro de los factores que afecta fuertemente a la productividad de los cultivos son las plagas que los atacan. La modificación genética permitirá que los cultivos estén más protegidos a estos ataques de parte de insectos y pájaros.

El crecimiento de una planta no solo depende del agua que captura del suelo, sino que también de los nutrientes requeridos por cada una de las especies. Existen los macronutrientes y los micronutrientes y todos son necesarios en mayor o menor medida dependiendo de cada especie. Hoy en día se utiliza la fertilización para suplir los nutrientes faltantes en el campo; sin embargo, la sobre fertilización es tan dañina como la sub-fertilización. Modificar genéticamente las plantas disminuyendo o controlando sus necesidades de nutrientes permitirá un mejor desarrollo de éstas.

Nuevas fuentes de agua

Es necesario que enfrentemos la escasez hídrica que vive una gran parte del mundo y que afecta particularmente a Chile. Las fuentes tradicionales de agua se están agotando, por el sobre consumo y por el calentamiento global producido por los humanos. Países como Israel han sabido enfrentar este problema creando nuevas fuentes de agua que permiten aumentar la capacidad hídrica del país favoreciendo a la industria de agroalimentos, en particular.

Antes de considerar nuevas fuentes de agua se debe considerar el mejor uso del agua existente. En primer lugar, se debe implementar el uso inteligente del agua a través de sensores y sistemas inteligentes que indican cuándo y cuánto regar. En segundo lugar, se debe implementar sistemas de recuperación de aguas grises, las que en general se pierden en los predios. Diversas tecnologías permiten implementar esta recuperación, por lo que su despliegue en el campo debería ser bastante fácil.

Dentro de las nuevas fuentes de agua que se pueden considerar para Chile destaca la desalinización de los océanos; eso sí, preservando el ambiente y no modificando la densidad de sal en el océano, ya que un exceso de sal impactaría la flora y fauna marina. La desalinización del océano ya está siendo masivamente utilizada por la industria minera en Chile; sin embargo, su aplicación en la agricultura es aún mínima, por lo que su uso por los pequeños y medianos agricultores es una opción para considerar.

Otras posibles fuentes de agua son: recuperación de la neblina y transformación de la humedad relativa en agua de riego.

La manufactura agroalimentaria producirá alimentos deshidratados

Los productos asociados a la industria agroalimentaria son en general perecibles, por lo que su tratamiento y transporte conlleva dificultades adicionales asociadas con la vida útil de los productos. Se han estudiado diversas formas de mejorar la conservación de alimentos en el tiempo, siendo la deshidratación una de ellas, la que además de permitir la conservación por más largo tiempo mantienen todas las cualidades nutritivas de los alimentos. Si bien la técnica de deshidratación es antigua, su aplicabilidad se da solo para ciertos productos a nivel masivo (leche, puré, etc.). La deshidratación es usada igualmente en las misiones al espacio, donde las condiciones para almacenar alimentos no son las más adecuadas.

La masificación de esta tecnología y su aplicación a diversos alimentos permitirá una mejor conservación de los alimentos e igualmente una mejor distribución de ellos. Por otro lado, una mejora en las técnicas de deshidratación y su potencial automatización ayudarán a la masificación de esta tecnología.

Los consumidores estarán más cerca de los centros de producción

La industria agroalimentaria es un gran aportante a la emisión de gases de efecto invernadero, pero no solo por su forma de producir, sino que además por el transporte de sus productos de una zona a otra. En Chile, los productos alimenticios recorren grandes distancias antes de llegar a los centros de distribución y a los consumidores. Frente a esta nefasta situación que afecta al calentamiento global, la tendencia es acercar al productor al consumidor. Esta cercanía implica el uso de diversas tecnologías que permitirán el monitoreo remoto de cultivos y animales, herramientas de cosecha automatizada, logística automatizada soportando distribución que minimiza las distancias.

Por otro lado, se podrá considerar cultivos y crianza de animales en función de las particularidades de cada barrio, las que se irán adquiriendo con algoritmos de inteligencia artificial.

La alimentación será personalizada siendo la tecnología uno de sus motores

Las posibilidades que ofrece la tecnología permitirán que el consumidor personalice su alimentación a través de diversos medios:

- Impresión de algunos alimentos con formas y sabores variados, como por ejemplo la pasta o las masas en general.
- Compra directa al productor local de acuerdo con la producción disponible, donde el consumidor podrá elegir directamente de la tierra lo que desea consumir. La entrega podrá ser realizada por drones.
- Selección de productos en los centros de compra y distribución a partir del perfil del consumidor.
- Conexión del refrigerador y despensa del consumidor a los centros de distribución.

Disminución del desperdicio de alimentos a través de la distribución de acuerdo con la madurez de los productos

Uno de los grandes problemas de la distribución de los alimentos es la mantención de la calidad de estos en el tiempo debido a su perecibilidad. La industria de alimentos ha resuelto en parte este problema a través de una cosecha temprana o de la congelación de los productos frescos, pero en ambos casos se afecta la calidad de los productos. Con las tecnologías disponibles, sensores y transmisión en tiempo real de los datos, será posible monitorear en tiempo real el grado de madurez de los productos, y, en conjunto con el análisis de la demanda, la distribución se realizará de modo de optimizar la vida útil de los productos. Si un producto está acercándose al fin de su vida útil comercial, este será entregado en el centro de consumo más cercano, asegurando que llegue al consumidor en el tiempo requerido y con la calidad exigida por éste.

Nuevas necesidades

- Mejor distribución del agua.
- Mayor inversión en I+D en alimentos y en tecnologías asociadas con la industria agroalimentaria.
- Conformación de la carrera ingeniería “agrónica”, con conocimientos en agronomía, electrónica y ciencias de la computación.
- Mejoramiento de las capacidades digitales de los actores del ecosistema.
- Acceso a la tecnología por parte de los pequeños y medianos empresarios del sector agroalimentario.
- Mejoramiento de las capacidades de comunicaciones e el campo (4G, 5G, etc.)

4.7 Manufactura

■ Visión 2030

Hacia 2030, en este Escenario II, aumentará significativamente la innovación en manufactura, incremental y disruptiva, basada en tecnologías I4.0, como dinámica de desarrollo sustentable de la industria nacional y su proyección internacional.

Se experimentará la transición desde productos y servicios con desempeños avanzados (característicos del Escenario I) hacia productos y servicios innovadores de significativo mayor valor económico, ambiental y social que habilitan nuevas y mejores realidades en sus usuarios.

La industria se transformará apreciablemente al usar proactivamente nuevos modelos operacionales, de negocios y de políticas públicas habilitados por las tecnologías I4.0 y las demandas crecientes de la sociedad de soluciones efectivamente sustentables y de mejor calidad de vida.

■ Prospectivas 2030

Se acelerará la transición desde productos y servicios avanzados hacia otros de nueva generación que habilitan nuevas realidades en sus usuarios

Se acelerará la tendencia de disminución y retiro de algunos productos y servicios manufactureros. Por ejemplo: equipos, dispositivos, materiales con tasa de fallas u obsolescencia sobre umbral de viabilidad tecnológica; idem respecto de huella de carbono o huella hídrica.

Simultáneamente, se acelerarán las tendencias a innovar y desarrollar productos y servicios manufactureros que no solo usan tecnologías avanzadas I4.0, sino que lo hacen para aumentar significativamente sus funcionalidades, desempeños y capacidades de habilitación de nuevas realidades con su uso.

Por ejemplo: auto producción de partes y piezas in situ; equipos y dispositivos inteligentes y con crecientes capacidades de autonomía; sensores inteligentes para nichos industriales (fundiciones, usos marítimos,...); alimentos de nueva generación; sistemas productivos, equipos y dispositivos mecánicos y eléctricos de nueva generación (digitalizados integralmente para aplicaciones en minería, energía, agricultura, infraestructura y otros ámbitos); manufactura aditiva escalable en industria de la construcción; prótesis y órtesis de nueva generación; equipos y sistemas para laboratorios inteligentes (con usos diversos, desde educación a aplicaciones industriales); actividades de I+D e innovación orientadas a crear productos y servicios de nueva generación, con ventajas competitivas en los mercados internacionales; diseño sistémicos resilientes, flexibles, adaptativos; mantenimiento predictivo y adaptativo de alto desempeño; ingeniería del valor superior; servicios de aseguramiento de sustentabilidad desde el diseño; servicios de participación activa en economía circular desde la concepción y diseño.

Estos productos y servicios usarán intensamente las tecnologías I4.0 - simultáneamente todas las que sean relevantes - para lograr la habilitación de nuevas funcionalidades, desempeños y realidades para sus usuarios, en la lógica de la innovación sustantiva en las industrias.

Los desafíos de ingeniería que plantean estas transformaciones son: identificación de algunos ámbitos de I4.0 para ir a la vanguardia, además de estar continuamente en el estado del arte internacional en las tecnologías manufactureras 4.0 y sus

formas de aplicación; profundización de la investigación y desarrollo en forma competitiva internacionalmente en los respectivos ámbitos manufactureros; uso avanzado de plataformas digitales; inserción intensa en los mercados internacionales (internacionalización, no solo exportación); velocidad suficiente para ir “un paso más adelante” que algunas industrias de países de avanzados; sinergia importante a escala internacional; ingeniería integrada de tecnologías I4.0 con otras (tecnologías de materiales, nanotecnología, super materiales, biotecnología, tecnologías de energía).

Despliegue de productos y servicios de nueva generación, basado en tecnologías I4.0, que habilitan impactos muy positivos en la sociedad

Con la combinación de innovación incremental y disruptiva, aumentará el despliegue de productos y servicios de nueva generación industrial que satisfacen simultáneamente las necesidades y aspiraciones de los actores económicos y personas, así como el logro de la sustentabilidad ambiental y social. Esto da curso a la nueva industria que contribuye a que Chile sea un país desarrollado, con los nuevos códigos que se han empezado a concebir a escala global. Además de la renovación profunda de lo existente, es intenso en la creación de nuevas industrias.

Esta dinámica de despliegue se integra con lo expuesto en la sección anterior y, por cierto, con los desarrollos avanzados y precursores señalados en el Escenario I.

Ejemplos de productos y servicios: sistemas productivos con huella negativa de carbono y de agua; manufactura “personalizada” a las necesidades de los actores económicos; interfaces tecno – humanas de alta calidad y desempeño; plataformas manufactureras articuladas con otras industrias; servicios inteligentes de alto valor asociados a la manufactura (I+D específica, financiamiento y gestión de inversiones, diseño, marketing, logística, gestión de calidad y productividad, mantenimiento avanzado, y otros); factory less manufacturing; vehículos autónomos de altas calidades y desempeños para usos industriales diversos; máquinas y sistemas de nueva generación en nichos mineros e industriales estratégicos (por ejemplo, tuneladoras); productos y sistemas genuinamente “verdes” que usan ERNC de bajo costo y sostenible, seguros y que proveen seguridad en su uso, y de demostrada trazabilidad (por ejemplo: metales, partes y piezas, equipos, alimentos); síntesis biológica de alimentos de nueva generación usando I4.0; ropa laboral inteligente; exoesqueletos y otros sistemas de potenciación de capacidades humanas.

Estos productos y servicios usarán las tecnologías i4.0 para lograr las innovaciones; pero también, las propias innovaciones generarán necesidad de desarrollar nuevas tecnologías I4.0 y otras (por ejemplo, en energía, materiales diversos). Así emergerá progresivamente la “industria de nueva generación”. Un caso importante para Chile es el “cobre verde” que combina la minería y energía completamente sostenibles con la industria manufacturera que provee equipos y sistemas que lo hacen posible. Esto es, nuevos encadenamientos o redes productivas locales e internacionales.

Los desafíos de ingeniería que plantean estas transformaciones – además de los señalados en la sección anterior y en el Escenario I- son: liderazgo demostrado en algunos ámbitos de ingeniería a nivel internacional, además de mantenerse en el estado del arte; articulación efectiva con la investigación y desarrollo relevante para innovación disruptiva, no solo incremental, para desarrollo de productos y sistemas productivos de nueva generación con desempeños superiores; velocidad y escala de creación valor “exponencial”; integración transformadora en el país y sistémica a nivel internacional.

Un caso de interés en iniciativas disruptivas que se está expresando en Chile es el de Not Company, empresa que sintetiza alimentos con propiedades saludables y

más sustentables que los habituales (vegetal en vez de carne), usando inteligencia artificial. Este caso se expone en la sección sobre Educación en Ingeniería de este Informe.

La industria se transformará con nuevos modelos operacionales, de negocios y de políticas públicas habilitados por las tecnologías I4.0 y las demandas crecientes de las industrias basadas en recursos naturales, impactando muy positivamente el desarrollo del país

En el Escenario II, la industria manufacturera evoluciona con determinación hacia la Industria 4.0 logrando alta sinergia entre las tecnologías avanzadas con nuevos y mejores modelos operacionales y de negocios, así como de políticas públicas, incorporando plenamente la sustentabilidad y la economía circular. Esto en redes dinámicas a escala internacional que integran varios polos industriales relevantes distribuidos, constituyéndose Chile en uno de ellos. Impactando significativa y positivamente al país y sus asociados.

Siendo claves: políticas públicas de nueva generación; modelos transformacionales de los actores económicos; modelos híbridos.

Entre ellos, son destacables los siguientes modelos de nueva generación: Manufactura 4.0 que demuestra su contribución efectiva a los ODS; economía circular integrada con Industria 4.0; modelos asociados a diversos equipos y dispositivos como servicios inteligentes, sustentables y de bajo costo; industrias de varios tipos que realizan transformación digital integral (en las diversas funciones de empresas - y entre ellas - en los encadenamientos productivos y redes de suministro); modelos de integración sinérgica entre empresas (por ejemplo, redes y parques simbióticos); gestión integrada de la data como un activo valioso mayor: de los actores económicos, las personas y de los dispositivos, sensores y equipos; modelos de sistemas industriales basados en inteligencia artificial, altamente efectivos, y respetuosos de la privacidad y sensibilidades de las personas; modelos industriales para reducción radical de las huellas de carbono y de agua; modelos de comunidades sinérgicas de fabricación potenciadas por I4.0; modelos de participación en los mercados internacionales que crean alto valor sin generar efectos negativos en los actores locales; modelos industriales avanzados de ESG (Enterprise Sustainable Governance) potenciados por I4.0; modelos de nueva generación de economía circular, en redes integradas con los actores relevantes.

Asimismo: atracción significativa de emprendedores y profesionales diversos a la construcción y desenvolvimiento de la nuevas industrias, en particular en la variedad de servicios asociados; alta calificación del empleo y diferentes formas de asociación del capital humano a los actores económicos; creación de valor económico, social y ambiental equilibrado y en altos niveles según tendencias internacionales; dominio de políticas públicas de nueva generación (I+D, innovación, inversión, regulaciones, incentivos y otras); articulación virtuosa empresa – estado – instituciones de educación superior – comunidades y sociedad civil – medio ambiente; dinámicas transformacionales mayores (lógica 10 x) sustentables; modelos de cadenas - redes resilientes de suministros; modelos industriales de síntesis de nuevos alimentos de calidad, habilitados por I4.0, en particular en entornos urbanos; modelos de ciclos cerrados de fabricación, suministro, uso y recuperación (lógica de economía circular habilitada por I4.0).

Estas transformaciones se desencadenan – en parte importante – por la demanda creciente de las industrias basadas en los recursos naturales y en los desafíos relevantes de Chile (minería, energía, agro alimentos, construcción, salud y otras) en los ámbitos B2B. Según se ilustra en la gráfica presentada más abajo (adaptada

de los Programas Estratégicos de CORFO). Esta demanda creciente, competitiva a nivel internacional, brinda una oportunidad relevante para la progresión de la industria manufacturera del país y para participar activamente en los mercados internacionales. Como lo están haciendo varios países, entre ellos Australia.

En síntesis, la manufactura 4.0 evoluciona significativamente y contribuye a la transformación de diversas industrias y del país en su conjunto, haciendo posible las nuevas formas de organizar, producir y suministrar los productos y servicios necesarios para el desarrollo más pleno y sustentable.



Figura 4.71. Evolución y articulación del ecosistema productivo en Chile
Fuente: Síntesis desde Programas Estratégicos CORFO, 2017

4.8 Economía Digital

■ Visión 2030

En este escenario, Chile se posiciona como líder regional de uso de tecnologías digitales, logrando subir en los rankings de digitalización en todas las áreas, gobierno, industria, servicios, educación. La digitalización ha pasado a ser una herramienta de inclusión, para acercar a los beneficios de la economía digital a todos los habitantes de Chile. Esto ha motivado un clima en que se han creado muchas startups tecnológicas con visión global, varias de ellas han logrado el status de unicornio y la industria de tecnologías digitales es una de las principales industrias generadoras de empleo, de exportaciones y de crecimiento del País. En ciertos nichos, Chile ha establecido liderazgo global en el desarrollo de tecnologías.

■ Prospectivas 2030

En este escenario las principales tendencias y resultados son:

Importantes avances en la Economía digital permiten transacciones en plataformas online y dinero digital

- Automatización y disponibilidad a distancia de manera masiva de los procesos hoy realizados por personas en todos los ámbitos: Servicios del estado; Venta mayorista y al detalle; Atención de consultas y reclamos; Manufactura; Educación y Salud.

- Uso masivo de Plataformas en nube disponibles en Chile para todos los usos que requieran que los datos y procesos estén localizados en Chile para fines regulatorios y de seguridad nacional, provistas tanto por proveedores locales como globales
- El dinero efectivo ha sido totalmente reemplazado por dinero digital en diferentes formatos, los que son todos compatibles entre sí para efectuar pagos de manera ágil y en las diferentes situaciones, tanto presenciales como no presenciales.
- Los productos fabricados serán seguidos a través de toda su vida útil con un “digital twin” que registra toda su historia, en base a sensores que comunican directamente los eventos que tiene el producto
- Blockchain: El Banco Central emite “cripto pesos” que es el circulante más usado entre particulares. Aplicaciones de blockchain para la certificación a otros países de energías limpias, de origen en la cadena logística. Emprendimientos innovadores basados en contratos inteligentes (NFT⁷⁴, DEFI⁷⁵).
- Logística inteligente: integración digital completa de la cadena logística nacional e internacional, participando en las redes blockchain internacionales de logística
- Ecommerce: El comercio electrónico (B2C / B2B) es la norma en todos los ámbitos, facilitado por múltiples emprendimientos con una alta calidad de atención al cliente. Muchos emprendimientos participan en las plataformas internacionales de comercio (Mercado Libre, Amazon, Ali Baba).
- Plataformas de servicio: Simplificación de la obtención de servicios, tanto públicos como privados, mediante plataformas de integración e intercambio, automatizando pasos y acelerando los resultados.
- Uso masivo de Drones: En actividades de todo tipo: logísticas, seguridad, inspección agrícola, artísticas.
- Smart cities: Los principales centros urbanos son ejemplo del uso de tecnologías de sensores y conectividad, disponiendo de información en línea y en tiempo real para análisis tanto de los gobiernos locales como del público (transporte, agua, energía, seguridad, logística, catástrofes).
- Inteligencia artificial masiva: Con una adecuada regulación, y con exigencia de explicabilidad, se masifica el uso de IA para detectar situaciones de riesgo, para facilitar los trámites, para optimizar la producción, y para la toma de decisiones informada.

Uso masivo de tecnologías en la vida cotidiana

- Automóvil conectado: El edge se desplaza también al automóvil conectado en redes móviles M2M.
- Domótica: se masifica el concepto de casa conectada (alarmas, dispositivos varios)
- Democracia participativa: a través de consultas en línea regulares y uso de redes sociales y voto electrónico.

⁷⁴ Tokens no intercambiables o no fungibles.

⁷⁵ Finanzas Descentralizadas

- Arte y música digital: la producción, edición y transmisión (radio, TV, galerías) se democratizan. Cualquier artista puede producir, tener su propio estudio y hacer streaming en la red.
- Robótica cotidiana: se masifica el uso de la robótica en la vida cotidiana, para el cuidado de los mayores de edad, cuidado de enfermos, seguridad, entre otros.
- Uso de identidad digital basada en biometría, usando como base los dispositivos móviles, es la forma estándar de firmar y operar en todo tipo de actos legales y trámites
- Programas masivos de educación continua han logrado incorporar a toda la población a los beneficios de la economía digital.
- Nuevas tecnologías emergerán permitiendo la integración hombre/mujer/máquinas inteligentes
- Computación cuántica: cambia en forma disruptiva las capacidades de cálculo y particularmente los problemas y algoritmos criptográficos.
- Cyborg: se desarrollan integraciones hombre / robot para labores que requieren fuerza (minería), gran precisión (salud) o bien que son de alto riesgo (seguridad, rescate, defensa).
- Cambio cultural y resiliencia digital serán factores determinantes en el futuro de nuestra sociedad
- Cambio cultural en el mundo del emprendimiento: el emprendimiento tradicional es reemplazado por el emprendimiento innovador, con ambición global desde la fundación (Ej: Cornershop).
- La resiliencia digital está asumida como un requerimiento básico a todos los niveles, incluyendo los eventos de catástrofes naturales: Interconectividad interna del país resiliente a fallas y catástrofes; Interconectividad internacional resiliente a fallas, catástrofes, y cambios geopolíticos; Ciberseguridad como necesidad básica, exigida a todas las organizaciones

Las nuevas Normativas apoyarán los nuevos servicios digitales

- Normativa adecuada para el tratamiento de datos personales permite un uso prudente pero masivo del reconocimiento biométrico y de la seguridad en base al comportamiento.
- Modelos híbridos de trabajo en sector TIC: se masifica el modelo híbrido de trabajo, en la casa, desde regiones y en la oficina. La legislación y regulaciones se adecúan a ello.
- Alianzas público-privadas para la elaboración de soluciones innovadoras para la provisión automática y remota de servicios de toda índole, con participación de instituciones de gobierno, universidades, y empresas privadas.

El marco de requerimientos institucionales y legales será ampliamente desarrollado

Para que este escenario se pueda concretar se requiere el siguiente marco institucional y legal:

- Validez legal y judicial de documentos electrónicos para todo tipo de trámites, eliminando requisitos innecesarios de presencialidad.
- Ley de protección de datos personales, siguiendo los modelos europeos (GDPR – General Data Protection regulation - EU), para dar una real protección a la utilización por parte de empresas locales e internacionales de la información sobre las personas y empresas que recolectan.

En términos de institucionalidad, se requieren nuevas misiones para instituciones existentes:

- Minecon: impulsar con CORFO alianzas público-privadas para abordar soluciones a problemas nacionales para los que no hay solución disponible en el mundo (Programas Estratégicos).
- Min de Ciencia y Tecnología: fomentar alianzas entre centros de investigación y empresas para abordar problemas nacionales.
- Red de Centros de I+D que vinculan la I+D desarrollada en las Universidades con los requerimientos de innovación de las empresas, y con las oportunidades en el mercado global.
- Agencia de transformación digital.

Todo lo anterior requiere estar respaldado por una alianza público-privada, que de sustento social a una importante inversión pública y privada en el desarrollo tecnológico del país.

4.9 Infraestructura Digital

Visión 2030

■ En el marco disruptivo, Chile merece conectividad total y de alta calidad para todos sus habitantes, para todas las áreas de la economía productiva y de servicios privados, y con ello, se espera que los servicios del Estado a su población sean 100% digitales.

Para este escenario, se proyecta al país con una matriz de conectividad ampliada—tierra, mar, aire y espacio—logrando el 100% de cobertura en comunicaciones en zonas de alta complejidad y rurales. Con ello, la hiper-conectividad en Chile será una realidad, donde todo comenzará a converger hacia un mundo centrado en los usuarios, ciudadanos o consumidores.

Prospectivas 2030

■ Al 2030 la industria de telecomunicaciones nacional estará a la vanguardia tecnológica

Las redes autónomas prevalecerán. Serán redes conscientes, resilientes y flexibles, auto organizadas y auto aprovisionadas, capaces de valerse por sí mismas, de mantenerse a sí mismas, de procurar su propia seguridad, y de asignar óptimamente la banda en función de la demanda.

Las tecnologías de network slicing (que permite crear múltiples redes virtuales sobre una infraestructura física compartida común) y de SDN (redes definidas por software) permitirán la segmentación y optimización del uso y funcionamiento de la red, ajustando los servicios ofrecidos a la medida de las necesidades, por la vía de configurar los anchos de banda y latencias específicas para cada uso.

La IDT será más compleja y diversificada

Desaparecerán los silos de las empresas y servicios de telecomunicaciones (telcos). En cambio, se convertirán en ecosistemas digitalmente integrados, constituyendo redes heterogéneas (HETNETS o entorno multi-tecnología, multi-dominio, multi-espectro, multi-operador y multi-vendedor), provistas ya sea por empresas nacionales o empresas globales. Ante este panorama, se deberá contar con un marco de estrecha colaboración público-privada para generar y poner en marcha un plan de desarrollo de infraestructura de comunicaciones—basado en FTTH (fibra óptica hasta la casa), 5G u otras tecnologías que emergerán en los próximos años—que deje a Chile con la carretera digital necesaria para alcanzar el desarrollo. Para que este escenario se concrete (se estima que se necesitan inversiones del orden de los 30.000 millones de dólares en los próximos 10 años), se requiere tomar en cuenta los aspectos políticos que deben sustentar su despliegue en el país.

Finalmente, en cuanto al mercado de telecomunicaciones, las empresas se integrarán para acceder y potenciar cadenas de valor más amplias como Internet de las cosas (las denominadas nuevas verticales).

La Tecnologías 5G o XG estarán ampliamente desplegadas

La tecnología 5G será un hecho. Se propiciará y regulará el uso de infraestructuras urbanas, desde postes de luz, letreros, y hasta techos de casas y edificios, para la instalación de small cells necesarias para dar mayor cobertura a esta tecnología. La tecnología 5G como tal estará madura e implementada ampliamente en los sectores urbanos, superando a los usuarios de 4G, en especial en el sector industrial. Esto redundará en un despliegue de IoT (Internet of things) y tecnologías como smart-agricultura en zonas rurales.

La tecnología satelital estará disponible y asequible para todos los lugares donde no se puede llegar con redes fijas

Los satélites para comunicaciones de Órbita Terrestre Baja (LEO) se habrán convertido en una solución viable, tanto en capacidad (ancho de banda), latencia y precio.

Esta tecnología tendrá un papel importante en el desarrollo de redes 5G donde se requerirá un “ecosistema” de mayor cobertura y redes heterogéneas.

Se posicionarán tecnologías que solo pueden ser desplegadas en ambientes de alta conectividad

Gracias a un alto despliegue de redes de gran capacidad y resiliencia, las tecnologías AR/VR (augmented reality and virtual reality) serán cada vez más comunes en las interfaces de usuario naturales. Tecnologías holográficas y de redes táctiles estarán iniciando su etapa comercial. Esto generará un mercado dinámico con demandas que exigirán mejores redes de comunicación, desde la industria productiva hasta los hogares.

El usuario se moverá con sus datos y Chile consolidará una Estrategia Nacional de Privacidad y Protección de Datos.

Los conceptos que estarán plenamente instalados en la IDT al 2030 serán:

- Híper-conectividad o conectividad ubicua: entre todos, por múltiples dispositivos y en todas partes
- Híper-customización
- Convergencia de redes heterogéneas
- Redes autogestionadas
- Ciberseguridad
- Privacidad de los datos
- Nuevas verticales
- SDN: utilizar la capacidad de programación para abordar más casos de uso con la misma plataforma de hardware.
- Network slicing
- Latencias y sincronización de los datos
- AR/VR, medios holográficos y multisensoriales
- Aplicaciones de redes táctiles
- Comunicación diseñada por el tiempo: hora precisa de un evento o de la entrega de datos

4.10 Salud

■ Visión 2030

En este escenario, Chile se posiciona como líder regional de uso de tecnologías digitales en el sector de Salud, pasando la digitalización a ser una herramienta de inclusión, que permite entregar a todos los habitantes, los beneficios de la salud digital.

En este escenario, se han creado diferentes startups tecnológicas. En algunos nichos, Chile ha establecido liderazgo en el desarrollo de tecnologías.

■ Prospectivas 2030

Se consolidará la formación de ingenieros/as biomédicos/as

La ingeniería biomédica será reconocida como una especialidad relevante de la ingeniería, consolidándose nuevas especialidades y subespecialidades: ingeniería clínica, informática médica, ingeniería de rehabilitación, instrumentación biomédica e ingeniería de tejidos y biomateriales, entre otras.

Mejorará la atención de salud y disminuirán los costos

El uso de tecnologías digitales como robótica e impresión 3D permitirán reducir el tiempo y costos de atención de los pacientes.

El desarrollo de robots más capaces y económicos habrá abierto la posibilidad de utilizar de manera más amplia los sistemas robóticos en aplicaciones médicas, siendo posible realizar procedimientos complejos de manera menos invasiva.

Los avances en la impresión 3D permitirán que esta tecnología sea usada para fabricar implantes médicos personalizados. Además, disminuirán las listas de espera de donantes al desarrollarse impresión 3D utilizando material biológico.

El diagnóstico de las enfermedades y condiciones de salud será cada vez más temprano y preciso

Las tecnologías digitales contribuirán fuertemente al diseño y fabricación de equipos cada vez más sensibles y selectivos, que permitirán realizar diagnósticos tempranos y más certeros de enfermedades y condiciones de salud. Esto, unido al desarrollo de mejores algoritmos de reconocimiento de imágenes, IA y Big Data permitirán que los médicos realicen diagnósticos más confiables.

Se consolidarán nuevos campos de aplicación de la ingeniería en el ámbito de la salud

El desarrollo tecnológico permitirá la consolidación de nuevos campos de aplicación de la ingeniería, en el ámbito de la salud tales como: diseño de nuevos dispositivos médicos y equipos de diagnóstico, desarrollo de nuevos materiales biocompatibles, creación de nuevas tecnologías de reconocimiento de imágenes, fabricación de dispositivos portátiles de diagnóstico, creación de prótesis y diseño de órganos, desarrollo de interfaces electrónicas cerebro-cuerpo y nuevos componentes que permitirán reemplazar órganos principales, entre otros.

La medicina de precisión⁷⁶ permitirá mejores tratamientos

La medicina de precisión busca adaptar el tratamiento de un paciente a su perfil genético y estilo de vida. Los avances en la secuenciación del genoma humano junto con las mejoras en las capacidades analíticas habrán hecho posible el desarrollo de la medicina de precisión, que busca administrar medicamentos de manera precisa, en la cantidad requerida y en el lugar deseado, utilizando nanorobots para realizar cirugías localizadas que permitirán respuestas mejores y más rápidas frente a los tratamientos.

Mejorará la calidad y expectativa de vida de las personas

La calidad y expectativa de vida de las personas aumentará al ser posible realizar cirugías mínimamente invasivas y disponer de medicamentos más poderosos y específicos. Las personas con limitaciones físicas y sensoriales también verán mejoradas su calidad y expectativa de vida al desarrollarse prótesis, implantes y órganos artificiales más livianos y de mayor duración y al desarrollarse nuevos componentes de reemplazo de órganos principales.

El paciente tendrá un rol activo en su salud

La economía digital puede ofrecer una amplia gama de servicios digitales inteligentes que permitirán a los ciudadanos tomar un papel más activo en la gestión de su propio bienestar y atención médica ayudando a prevenir enfermedades crónicas al incentivar a las personas a vivir de manera saludable y las decisiones correctas sobre su estilo de vida tales como:

- Menores primas de seguro al llevar estilos de vida saludable como visitar el gimnasio, comprar comida saludable en el supermercado y participar en clubes de running.
- Utilizar sensores y dispositivos inteligentes para que su salud pueda ser monitoreada en forma remota, identificando signos tempranos de degradación de la salud, previniendo eventos adversos.

⁷⁶ La medicina de precisión o personalizada o de precisión está basada en un conocimiento más profundo de los mecanismos de una enfermedad y las características particulares de cada paciente.

- Emplear dispositivos regulados por la autoridad sanitaria que promuevan la autoatención como la primera capa de intervención.

Se crearán nuevas empresas en la atención de salud

Los avances en la recopilación, almacenamiento y análisis de datos, el aumento en uso de sensores, dispositivos, sistemas de información clínica y registros médicos electrónicos y la estandarización de datos e interoperabilidad, entre otros, continuarán incentivando el desarrollo de empresas inteligentes en la atención de salud. Entre éstas podemos encontrar tres líneas de desarrollo:

- Inteligencia accesible: Hospitales, gobiernos, instituciones prestadoras de servicios médicos y desarrolladores tecnológicos pueden compartir y encontrar nuevas aplicaciones para los datos médicos.
- Trabajador conectado: Un nuevo modelo de trabajadores conectados basados en datos que permite a los médicos y enfermeras maximizar su conectividad y productividad.
- Dispositivos inteligentes: Que pueden monitorear la salud del paciente en tiempo real y que permitirán a los trabajadores de la salud y a las empresas maximizar su eficiencia, al permitir que la salud de los pacientes sea monitoreada en línea en tiempo real.

Casos de Estudio

Caso 1: Tricorder de la ciencia ficción a la realidad médica

Una persona podrá en un futuro cercano, utilizar en su hogar un dispositivo médico portátil para evaluar sus signos vitales y diagnosticar diferentes enfermedades sin ser necesario que se realice exámenes invasivos o que visite al médico.

En el año 2012 la Fundación XPrize⁷⁷ anunció el lanzamiento de la competencia *Qualcomm Tricorder*⁷⁸ XPrize, concurso que tenía por objetivo desarrollar, en un plazo de cinco años, un dispositivo portátil que fuera capaz de realizar un diagnóstico con la misma precisión que un médico y detectar, en menos de 24 hrs, al menos 13 signos vitales y síntomas de diversas enfermedades.

La competencia fue ganada por la empresa Basil Leaf Technologies⁷⁹, que formó un grupo para esta ocasión llamado *Final Frontier Medical Devices*⁸⁰ que fue el que desarrolló DxtER™, un pequeño tricorder portátil que cuenta con sensores y un algoritmo para realizar un diagnóstico apoyado por inteligencia artificial a partir de datos básicos: presión arterial, frecuencia cardíaca, temperatura corporal, tasa respiratoria y niveles de oxígeno en la sangre. Al combinar esos datos con las bases de datos y la experiencia de los doctores de los servicios de urgencia de los hospitales, es posible realizar diagnósticos rápidos y precisos.

⁷⁷ <https://www.xprize.org/>

⁷⁸ En referencia a "tricorder" utilizado por el Dr. Leonard McCoy en la serie de ciencia ficción Star Trek

⁷⁹ <http://www.basilleaftech.com/>

⁸⁰ https://www.xprize.org/prizes/tricorder/teams/final_frontier_medical_devices

Este dispositivo combina un conjunto de sensores no invasivos con un software de diagnóstico que le permiten a una persona evaluar en su casa patologías tales como: anemia, infecciones del tracto urinario, diabetes, fibrilación auricular, apnea del sueño, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía, infección de oído, tos ferina, hipertensión, mononucleosis y un conteo elevado de los glóbulos blancos y fue diseñado para probar el concepto de que las enfermedades pueden ser diagnosticadas y monitoreadas en la comodidad de su propio hogar por consumidores sin capacitación médica.

Caso 2: The Miami Project to Cure Paralysis, pacientes tetraplégicos que vuelven a caminar

Un equipo de investigadores del Miami Project to Cure Paralysis, centro de excelencia de la Miller School of Medicine de la Universidad de Miami, junto con neurocirujanos e ingenieros/as biomédicos están usando una interfaz cerebro-máquina⁸¹ para que las personas que tienen una lesión en la médula espinal puedan mover sus extremidades, solo con el poder de sus pensamientos.

El equipo del Proyecto Miami está conformado por más de 175 científicos, investigadores, médicos y personal de apoyo en todo el mundo, que se dedican a mejorar la calidad de vida de los pacientes y encontrar una cura para la parálisis. Este es considerado uno de los principales programas de investigación orientados a realizar desarrollos para dar solución a lesiones traumáticas de la médula espinal.

En un estudio preclínico publicado en 2018, el Dr. Jonathan Prasad, neurocirujano y su equipo descubrieron que las señales cerebrales de pacientes con daño en la médula espinal contenían información que permite determinar el momento en el que un paciente deseaba mover alguna de sus extremidades. Identificando el área del cerebro que controla el movimiento de la extremidad, el 30 de noviembre de 2018, el Dr. Jagid y el Ingeniero biomédico Dr. Abhishek Prasad implantaron un sistema, aún en fase de investigación, en el cerebro de un paciente que había quedado tetraplégico, luego de un accidente automovilístico.

Luego de la cirugía, el equipo utilizó un programa que permitiera “capacitar” a una computadora para que cuando se observaran estímulos eléctricos que pudieran asociarse al deseo de mover una extremidad, se enviaran señales a una órtesis externa que estimulara los músculos de la mano del paciente y abriera o cerrara ésta.

El Dr. Jagid y su equipo esperan que, en un futuro no muy lejano, a medida que evolucione la tecnología, los dispositivos sean cada vez más pequeños, tengan mayor capacidad de procesamiento de información y las señales puedan ser transmitidas sin que sea necesario que el paciente esté conectado al computador.

⁸¹ Término acuñado por el Dr. Jacques Vidal, profesor emérito de informática en UCLA

Caso 3: Orca Bio Tratamiento que reemplaza el trasplante de médula

Orca Bio es una compañía fundada en 2016 por el Dr. Ivan Dimov, B. Eng. en Ingeniería Electrónica y M.Sc. en Ingeniería Eléctrica y Ciencias de la Computación en 2004, en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, el Dr. Nate Fernhoff y el Dr. Jeroen Bekaert en Menlo Park, California y está orientada a desarrollar una terapia celular que permite realizar un trasplante de médula ósea, disminuyendo el rechazo inmunológico⁸², haciendo posible el tratamiento efectivo de enfermedades terminales como la leucemia.

Orca Bio con su tecnología ha minimizado la posibilidad de rechazo, junto con entregar nuevas capacidades para la cura del cáncer a la sangre. En el tratamiento, un donante recibe un fármaco cinco días antes de donar su sangre para que sus células madre entren en circulación. Esa sangre llega a un laboratorio, donde se usa para elaborar una droga celular. Un día después, el paciente de cáncer recibe la terapia de manera intravenosa y ésta reprograma así su sistema inmune.

Alrededor de 70 pacientes terminales ya han sido tratados con esta terapia, los más antiguos desde 2016. De ellos, la mayoría ya se encuentra libre de cáncer.

El sistema planteado por el Dr. Dimov podría, además, aplicarse además para tratar otras enfermedades como Lupus, Diabetes Tipo 1, Enfermedad de Crohn, Esclerosis Múltiple, e incluso VIH.

4.11 Ciudades sísmicamente resilientes

■ Visión 2030

En este escenario disruptivo se considera como logro esencial resolver la limitación de responsabilidad legal de los ingenieros en el diseño sísmico resiliente.

■ Prospectivas 2030

Diseño sísmico resiliente legal en Chile

Se espera que las normas, especialmente la referente a edificios, puedan explicitar que el diseño sísmico en Chile es resiliente, sin daño, y no de protección de vida como es ahora aceptando daño controlado. Ello requiere que la responsabilidad civil de los ingenieros quede legalmente bien definida, especialmente en lo referente a los elementos no estructurales.

Aplicaciones de inteligencia artificial en el diseño de ingeniería

Hay aplicaciones pioneras a nivel mundial.

Influencia paradigmática de la ingeniería sísmica en otras áreas de desastres naturales

Otras áreas de desastres naturales están considerando los logros de la ingeniería sísmica para transferirlos a ellas.

⁸² Un trasplante de médula tiene una mortalidad de 20% solo por el rechazo inmunológico que se puede presentar.

Desarrollo de la ingeniería sísmica para la minería subterránea

En el decenio va a haber un fuerte desarrollo de la minería subterránea del cobre.

Casos de Estudio

Caso 1: Resiliencia sísmica: el metro de Santiago

El mejor ejemplo de resiliencia sísmica empírica en Chile es el Metro de Santiago, cuyas vías elevadas fueron afectadas por los terremotos de la zona Central de 1985 y el terremoto de El Maule de 2010. Sin embargo, nunca se les ha dicho a los habitantes de Santiago que no hay Metro debido a la acción sísmica.

Este es el mejor ejemplo de diseño sísmico basado en resiliencia de una línea vital de una megaciudad. Los usuarios del Metro pudieron usarlo a las horas de ocurrido el terremoto. Este es un problema de ingeniería complejo, pues hay que mantener alineadas las líneas del Metro después del terremoto, de otra forma no puede circular el Metro. (Fig. 4.11.1).

Este ejemplo muestra que el diseño sísmico basado en resiliencia es posible en Chile y el desafío actual de la ingeniería sísmica chilena es como transferir el exitoso diseño sísmico resiliente del Metro al resto de los edificios y así cumplir con el deseo de la sociedad de habitar edificios sin daño sísmico tanto estructural como no-estructural.

Caso 2: En búsqueda de la resiliencia

En 2020 un conjunto de académicos y profesionales chilenos publicó un artículo en la revista Earthquake Spectra (Lagos et al. (2020)) reconociendo que la práctica chilena de diseño sísmico de edificios altos de hormigón armado proveía edificios para la condición de continuidad de operación, con reducido daño, lo que no está explícito en la norma por razones legales. Ello permite que en un período corto alcanzar un diseño basado en resiliencia como dice el título de la publicación.

En un reciente Congreso Internacional los presidentes de las 5 Sociedades Nacionales de Ingeniería Sísmica más importantes del mundo: EE. UU., Japón, Italia, Nueva Zelanda, México y Chile, compararon sus prácticas de diseño. En ella quedó en claro que Chile era el que estaba más avanzado en el desarrollo de un método de diseño basado en resiliencia.

En la Fig. 8 se comparan los reducidos daños que se observaron en edificios altos para el terremoto del 27F de 2010, lo que da espacio a desarrollar el método de diseño por resiliencia.

¿Cómo se comportaron los edificios durante el terremoto 27 - F 2010?	
Consideran solo edificios residenciales entre 1985 a 2009	
Número de edificios mayores de 3 pisos (construidos en este periodo)	9.974
Número de edificios mayores de 9 pisos	1.939
Edificios que colapsaron:	4
Edificios demolidos:	40 (estimado)
Fallas de más de 3 pisos	0.5% edificios
Fallas de más de 9 pisos	2.3% edificios

Fig. 4.11.2. Comparación del Reducido porcentaje de daño de edificios altos para el terremoto de Chile de 2010.

4.12 Ciudades inteligentes

■ Visión 2030

En este Escenario de se observará un uso más intensivo de tecnologías asociadas a la Industria 4.0 en la ciudad, así como un incremento importante de la economía compartida, en el contexto de una ciudad con vehículos compartidos, polos autosustentables y mayor acceso a internet inalámbrica.

■ Prospectivas 2030

Una ciudad con vehículos compartidos

En particular, se observará un aumento del transporte compartido (sharing mobility) lo cual incluye “nuevos modelos de negocio que permiten compartir el acceso, el uso y la propiedad de los vehículos” (OECD, 2020d).

El uso de vehículos como un servicio compartido (car pooling, car-sharing peer-to-peer and with fleet operator, bike sharing) se verá complementado con una mayor cobertura del Metro y su presencia en todas las ciudades de más de 200 mil habitantes y con trenes regionales que conecten las ciudades con sus zonas suburbanas.

Una ciudad con polos autosustentables

Complementariamente, observaremos un mayor uso de vehículos eléctricos, en particular buses (100%) y vehículos particulares eléctricos (50%), lo cual incluirá vehículos de reparto. Observaremos asimismo la aparición de vehículos autónomos de reparto y de transporte de personas (taxis), así como sistemas de comunicación entre vehículos (vehicular communication systems), lo cual permitirá disminuir accidentes y optimizar tráfico.

En este escenario se espera también una ciudad conformada por polos distribuidos autosustentables, los cuales provean servicios básicos, salud, educación, entretenimiento, cultura y trabajo. A esto se sumará el teletrabajo, la producción distribuida en la ciudad de alimentos; por ejemplo, en edificios para producción de alimentos bajo el concepto de agricultura vertical, y la generación distribuida de energía y de calefacción bajo el paradigma del prosumidor (productor-consumidor). Todo lo anterior permitirá que disminuya en al menos un 50% el movimiento de las personas en la ciudad.

Una ciudad con mayor acceso a Internet inalámbrica

Desde el punto de vista tecnológico, se observará, además de una proliferación de sensores de todo tipo, una mayor cobertura de Internet, la cual será provistas con medios complementarios a los tradicionales, como globos aerostáticos y satélites de baja altura. De esta manera, cualquier persona tendrá acceso a red Wifi gratuita, a 10 minutos a pie de su casa

Finalmente, el uso del paradigma de gemelo digital (digital twin) permitirá modelar subsistemas de la ciudad y de éste, de forma optimizar su operación y proveer mejores servicios a los ciudadanos.

4.13 Estado digital

■ Vision 2030

En este escenario, Chile avanzará hacia el desarrollo aprovechando las ventajas de las tecnologías que trae consigo la 4RI. En particular, el Estado, como principal

regulador y promotor, funcionará muy eficientemente cumpliendo con su propósito: generar las políticas públicas necesarias para proveer adecuadamente la ayuda social efectiva, una educación pública de calidad y una salud pública también de calidad.

■ Prospectivas 2030

Estado 100% digital

El Estado rediseñará todos sus procesos, en los tres poderes, a través de una transformación digital. Esto significará, por ejemplo, un mejoramiento de todos los trámites, partiendo por la incorporación de todos los servicios del Estado a los ciudadanos a una ventanilla única (esta ventanilla hoy día existe, pero aún hay al menos un 50% de trámites sin transformar), y por una optimización de los procesos de atención. Tecnologías cognitivas y predictivas, tales como la inteligencia artificial, data analytics / big data, y el 5G, permitirán dar un salto significativo en la gobernanza del país y en su eficiencia operativa, y, por ende, en la rentabilidad de las empresas del Estado.

La transformación habrá ocurrido primero en las instituciones de alto impacto, como el Registro Civil e Impuestos Internos; y también en instituciones como las municipalidades, que tienen una alta penetración ciudadana, y requieren mayor control de sus presupuestos y una gestión más eficaz de sus servicios a la ciudadanía. También las fuerzas armadas y de orden, por los altos presupuestos que manejan y la criticidad de sus servicios a la población, tanto en la defensa nacional como en la seguridad interna.

En particular, el foco para la transformación digital del Estado está centrado en los datos (es decir, en la información), convertidos así en el recurso más preciado, y en la analítica de éstos, lo que se traduce en un sector público impulsado por los datos; los datos son la base del nuevo Estado Digital.

Alcance ciudadano transversal basado en las tecnologías de 4RI

El big data & analytics sustentado por el modelamiento algorítmico y una plataforma de machine learning / deep learning es usado por el gobierno para generar:

- Mejores y más rápidas perspectivas amplias, incluyendo reconocimiento de patrones ocultos y correlaciones automáticas;
- Toma de decisiones económicamente válidas, más efectivas y productivas.
- Elaboración de políticas eficaces, precisas y reflexivas.
- Evaluaciones comparativas de desempeño.
- Involucramiento directo de las opiniones de los ciudadanos.
- Desarrollo de servicios públicos basados en datos personalizados y receptivos,
- Implementación más inteligente de la aplicación de la ley.

La innovación como eje del Estado Digital de base algorítmica.

Las nuevas tecnologías digitales emergentes, todas ellas trabajando combinadas—inteligencia artificial, IoT, deep learning, información geoespacial, blockchain, analítica predictiva y patrones de modelos de comportamiento—crearán grandes oportunidades para la innovación en los servicios en los gobiernos, lo que anteriormente nunca fue posible.

Por supuesto, el uso y aplicación de estas tecnologías, en los modelos de inteligencia artificial aplicada, requiere necesariamente la participación de las personas, Según los profesores del MIT, Yiftach Nagar y Thomas W. Malone, la combinación del ser

humano y los computadores, base de las plataformas IA/ML/DL y RPA (Robotic Process Automation), es la clave para lograr un rendimiento superior en los procesos que se han optimizado, manejar de manera colaborativa, y establecer modelos predictivos.

Estrategia nacional de desarrollo e I+D

Se formará un ecosistema que permitirá generar una estrategia nacional de desarrollo, basada en la ciencia, tecnología y conocimiento para aumentar la inversión en I+D, donde Chile tenga la posibilidad de ingresar recursos de alto valor al país.

Las políticas públicas en el marco de la 4RI harán uso de la capacidad y conocimiento de nuestros investigadores y científicos, así como de las capacidades que están en las empresas, corrigiendo las restricciones que impiden que esto ocurra en la actualidad. (La política tributaria actual, donde se beneficia a la empresa que pueda hacer investigación y desarrollo en la ley I+D, no ha producido resultados relevantes, porque es una acción aislada que no funciona como debiera porque el ecosistema en general no está diseñado para ello.)

Se trabajará junto a las universidades para modificar sus políticas administrativas y auto-restricciones que, por ejemplo, impiden que los investigadores generen spin offs de sus creaciones o tengan participaciones relevantes en la propiedad de las empresas y que sean compensados adecuadamente cuando las empresas terminan siendo negocio. O sea, se impulsará fuertemente la generación de patentes.

Uso amplio del 5G y fibra óptica a nivel nacional

Se crearán políticas de incentivo para concretar las inversiones que permitan cubrir el país con redes de conectividad de banda ancha, tanto con fibra óptica y con redes 5G inalámbricas con coberturas que lleguen a los puntos más lejanos de Chile, obteniendo una penetración de más del 95%.

Es un hecho que la alta penetración de banda ancha en los países también ayuda extensivamente al desarrollo y creación de nuevas empresas con nuevos negocios, al desarrollo personal y profesional de las propias personas, generando más empleo y activando la economía en lugares donde antes no existía.

Smartcities: gestión de la ciudad con tecnologías de 4RI

Las smart cities son un eje que el Estado promoverá en conjunto con el sector privado. Específicamente, el Estado generará instancias de desarrollo para la digitalización de la ciudad, instalando plataformas de smart cities que mejorarán el servicio de la ciudad a sus ciudadanos: condiciones de seguridad y control de delincuencia, sistemas de prevención de desastres y de prevención de violencia, mejora de los sistemas de transporte y de irrigación, disponibilidad de sistemas de alcantarillado y redes de agua potable para toda la población, manejo de los recursos hídricos en forma inteligente con modelos predictivos que permiten hacer un mejor manejo del acopio de los recursos, como también el uso de fuentes de agua a partir del mar con plantas de desalinización, el uso de tecnologías emergentes como la osmótica para la generación eléctrica.

Institucionalidad para el desarrollo: Innovación y emprendimiento "triple hélice"

A partir de un modelo colaborativo público-privado, se habrá diseñado un plan de desarrollo integral de Chile en base a la ciencia, la tecnología y la innovación, ubicando

a las personas en el centro del modelo. En particular, se crearán políticas públicas para propiciar nuevas industrias, emprendimientos e innovación con productos de alto valor agregado, permitiendo que el conocimiento de las universidades y de las propias empresas termine convirtiéndose en spin off's y startup's que generen un volumen cada vez mayor de empresas pequeñas y medianas.

Estas políticas permitirán aumentar la I+D integrando esfuerzos universidad-empresa, por una parte, y la innovación hacia el interior del Estado, por otra, y así dar saltos importantes, tanto en la eficiencia del Estado, como en nuevas industrias del conocimiento, haciendo de Chile un país sólido en su crecimiento y desarrollo. Posibles líneas concretas de acción: innovación interna (administración, organización y procesos internos), innovación en procesos externos (co-creación, involucramiento de partes interesadas y gobernanza), innovación en políticas, e innovación de servicios.

Nuevas industrias: inteligencia artificial, biotecnología y bioingeniería, astroinformática y astroingeniería

Por ejemplo, se desarrollará una alta capacidad de creación de soluciones en base a inteligencia artificial, machine learning y deep learning en automatización y optimización del manejo de datos. Los datos provendrán de redes de sensores a nivel nacional, comunicados en 5G, para tener alta capacidad de manejo de big data y data analytics, como también de manejo de imágenes de video analytics.

Al poner recursos relevantes combinando capacidades privadas y de la academia en un marco de políticas públicas específicas, Chile se transformará en un centro de desarrollo de aplicaciones en IA. Surgirá una industria que exporte este tipo de aplicaciones.

Un segundo gran sector es la industria de los alimentos, que hoy exporta USD 20,000 millones al año, pero donde tenemos una gran cantidad de recursos sin explotar, mucha investigación desarrollada en las universidades, pero en que no se generan financiamientos para hacer spin off's o generar startups. Así, el mundo de la biotecnología y bioingeniería será un eje que el Estado regulará adecuadamente para propiciar la exportación de productos y servicios biotecnológicos en base a plantas y alimentos de propiedad intelectual chilena.

El otro eje industrial posible para Chile nuevamente a partir de la promoción por parte del Estado, que algo ha hecho en esto y su modelo regulador que potencia el desarrollo de industrias, hablamos aquí ahora de la astronomía que tiene en Chile un alto potencial para propiciar desarrollo de aplicaciones industriales a partir de las experiencias de inteligencia de datos de la astrofísica, además impulsar el desarrollo de la astroingeniería y de la astrinformática.

Nuevas políticas de fondos de inversión

En el marco del mercado financiero se propiciará la participación en Chile de fondos de inversión de riesgo que compitan con los fondos chilenos para financiar I+D, emprendimiento y en general start ups, de alcance global, y que, así como el programa startup Chile ayudó a empujar el emprendimiento con la llegada de emprendedores internacionales, también se creará una plataforma de fondos de inversión que vengan de cualquier parte del mundo para apoyar startups no solo tecnológicas sino de cualquier naturaleza.

Fuerte inversión en capital humano digital

El Estado, reconociendo que no bastan las tecnologías per se generar la escala necesaria para sustentar el desarrollo del país, invertirá fuertemente en el desarrollo del capital humano, para asegurarse de que todo el capital humano chileno tenga una preparación digital acorde con la nueva era de la 4RI—por ejemplo, a través del programa de talento digital, capital humano para tener las capacidades para poder actuar en el mundo digital, capital humano que pueda hacer la conversión de los trabajadores que operan normalmente en forma analógica para que puedan participar en el mercado digital en distintos trabajos.

5

CONCLUSIONES

Las elaboraciones de prospectiva presentadas en los capítulos 3 y 4, sobre los escenarios I y II respectivamente, permiten obtener una serie de conclusiones valiosas para el país, las personas y los diversos actores (organismos públicos, empresas, instituciones de educación superior, comunidad de ingenieros/as, gobierno, asociaciones y otros).

Esos capítulos abordan las perspectivas de TD+I 4.0 en los sectores – ámbitos seleccionados: salud, transporte, educación superior, minería, energía, industria digital, manufactura y otros. Se observan elementos comunes entre ellos y, por cierto, algunos que son únicos. Esto facilita la proyección a otros sectores – ámbitos no incluidos en este informe. Y al conjunto del país.

Entonces, las conclusiones que se presentan en este capítulo se han generado con esa visión integradora de los resultados de la prospectiva .

Las conclusiones se presentan en la modalidad de oportunidades, opciones y trayectorias que brinda la prospectiva para el desarrollo y transformación de la sociedad y de los actores. A propósito, no se plantean recomendaciones ni se hacen planes de acción.

El objetivo de esta forma de redacción es separar claramente la prospectiva de los usos que se puede hacer de sus resultados por parte de organismos públicos, empresas, instituciones educativas y otros actores de la sociedad.

Estas oportunidades, opciones y trayectorias se abordan en las secciones siguientes. En síntesis:

- La TD+I 4.0 tiene un potencial de creación de valor suficiente para cambiar radicalmente diversos ámbitos y sectores de la sociedad y la economía del país.
- En algunos casos, es mayor que el supuesto al inicio del trabajo de esta Comisión de Prospectiva de Ingeniería.
- Existen muchas oportunidades para el desarrollo de los actores y sus contribuciones, varias de las cuales se han expresado en los escenarios I y II de los diferentes ámbitos y sectores.
- Algunas son evidentes actualmente; otras emergen del análisis prospectivo.
- El aprovechamiento de las oportunidades y la contribución a la generación de valor para la sociedad, las personas y las industrias se fundamentan en: los tipos de políticas públicas; las iniciativas empresariales y de otros actores; los modelos de negocios; la realización efectiva de TD y el uso de determinadas tecnologías 4.0.
- Estos son espacios de actuación relevantes para los actores involucrados y los que pueden involucrarse, en particular en los tiempos actuales caracterizados internacionalmente por complejidad e incertidumbre.
- Su realización demanda liderazgo transformacional colaborativo, capital humano bien formado, recursos adecuados.

- La comunidad de ingenieros/as tiene una responsabilidad significativa para que sea viable y efectiva esta transformación. Para lo cual, la Ingeniería tiene que evolucionar en sus propósitos, criterios y prácticas. Bastante más de lo que ha hecho hasta ahora.

5.1 Conclusiones sobre la visión de país y las personas hacia el 2030

La prospectiva realizada hacia el 2030 basada en TD+I 4.0 permite concluir que Chile puede lograr simultáneamente aumentos significativos de: su PIB, los ingresos de las personas; la equidad; la sustentabilidad de la economía con la renovación de las industrias actuales y el surgimiento de nuevas industrias; la calidad de vida de la población. Y otros indicadores sensibles como los ODS de la ONU.

En el escenario II - de carácter más disruptivo - el potencial de valor para Chile y los actores es bastante superior que en el escenario I. Por cierto, acompañado de un riesgo también mayor. Esto configura un espacio de opciones para la política pública y las iniciativas de los actores económicos y sociales.

Basado en la evolución de la economía y sociedad digital, Chile puede proyectarse como un polo de desarrollo relevante a nivel internacional y, en particular, aumentar apreciablemente su contribución en América Latina.

Las transformaciones posibles que se exponen en los escenarios I y II para cada uno de los sectores abordados, tienen sinergias importantes entre ellas. En conjunto, proyectan un potencial de valor mayor para todo el país.

Este es uno de los aspectos emergentes de la prospectiva. La transformación integrada de varios ámbitos o sectores crea valor significativamente superior al de la mera adición de las contribuciones individuales de cada uno de ellos.

Más aún, se hacen difusas y permeables las fronteras entre los diversos sectores la economía y la sociedad. Lo cual facilita y acelera la transformación.

¿Es posible que Chile pueda abordar estos desafíos en forma oportuna y efectiva, realizando la Transformación Digital y la Industria 4.0?

La CPI responde afirmativamente, basado en la prospectiva realizada. Por cierto, esto requiere nuevos diseños y nuevas decisiones. Y liderazgos adecuados.

En los apartados siguientes se entregan algunos fundamentos que sustentan tan importante afirmación.

* Oportunidades globales para el desarrollo de Chile, los actores y las personas basadas en TD+I 4.0

Las oportunidades son muchas y diversas, bastante más de las que son percibidas en un determinado sector, organismo público, empresa o profesión.

A continuación, una síntesis de las principales identificadas y abordadas en la CPI:

Oportunidades para el país (global)

Aceleración del desarrollo sustentable (ODS) y su efectividad

Principalmente basado en uso de tecnologías 4.0 para la: renovación productiva escalable (por ejemplo, de alimentos saludables y sustentables); utilización eficiente de los recursos (agua, radiación solar, biomasa y otros); continuidad de las cadenas de suministro y trazabilidad en ellas; educación superior de alta calidad.

En particular, transición a modelos de desarrollo económico y social, más sustentables. Por ejemplo, el modelo económico de la “rosquilla” (Doughnut Economics).

Aumento de la factibilidad de modernización del estado, en particular del gobierno

Principalmente basado en: nuevos diseños de la arquitectura estatal - en particular de los servicios públicos - habilitados en plataformas digitales avanzadas y herramientas de Data Science; nuevas formas de interacción entre el estado y los ciudadanos, y de participación de las personas en el desarrollo de la sociedad (redes sociales, innovación abierta, crowdsourcing y otras modalidades). Con énfasis en el desarrollo de la democracia digital.

Oportunidades para las empresas y actores económicos

Facilitación del mejoramiento sustentable de las industrias existentes, o de renovación – retiro adecuado

Principalmente basado en: tecnologías 4.0 que contribuyen simultáneamente a la sustentabilidad y a la rentabilidad de las industrias; nuevos modelos de negocios, articulados en algunos casos con políticas públicas.

Desarrollo de nuevas industrias, negocios y modalidades de creación de riqueza y bienestar

Principalmente basado en: incorporación de nuevos entrantes a las industrias existentes a través del uso de plataformas y herramientas digitales (como ha venido ocurriendo en el retail y otros ámbitos de la economía colaborativa); habilitación de nuevas industrias a consecuencia de las tecnologías 4.0 articuladas con otras tecnologías (biotecnología, tecnología de materiales y otras), que provocan mejoras sustantivas de procesos y productos, y el surgimiento de nuevos procesos y productos; colaboración internacional entre empresas y organismos gubernamentales para participar en mercados mundiales.

En particular, desarrollo de industria tecnológica nacional - fuertemente vinculada a los ecosistemas de innovación a escala global – que aborda los desafíos de desarrollo del país.

Oportunidades para los organismos públicos

Mejoramiento del cumplimiento de los propósitos públicos, con mayor calidad y efectividad, al servicio de la ciudadanía

Principalmente basado en: mejores diseños e implementaciones de las entidades para cumplir los propósitos públicos (organismos ministeriales, servicios públicos y otros) mediante el uso de plataformas, redes y herramientas digitales habilitantes; consideración significativamente mejor de cada persona abordada con los propósitos

públicos, a través del uso adecuado y ético de las herramientas digitales y la gestión inteligente de la data.

Mejoramiento de la efectividad de la inversión pública y de sus asociados privados, de las contribuciones de los servidores públicos y de su vinculación armoniosa con los ciudadanos

Principalmente basado en: el mejor diseño e implementación de la inversión (incluyendo las cadenas de obras, procesos y servicios) mediante el uso de simuladores, herramientas digitales y tecnologías 4.0 orientadas a lograr simultáneamente mayor efectividad y calidad; la transparencia que habilitan las plataformas digitales para que los ciudadanos puedan conocer las inversiones públicas a través del ciclo de desarrollo y disponer de algunas instancias de participación.

Oportunidades para las instituciones de educación superior (IES)

Aumento del aprendizaje de los diversos tipos de estudiantes y mejoramiento de sus experiencias formativas y de educación continua

Principalmente basado en: aprendizaje activo y adaptativo apoyado por herramientas digitales adecuadas para diferentes poblaciones de estudiantes; simuladores, realidad virtual, realidad aumentada y otros medios digitales que hacen posible mejores experiencias de aprendizaje en algunos ámbitos formativos (en particular, respecto de situaciones del ejercicio de las profesiones).

Esto incluye los diversos ámbitos de la educación superior (universitaria, profesional y técnica) así como la colaboración de este sector con la educación inicial y secundaria, para mejorar su calidad.

Aumento de efectividad de la formación, la investigación, la vinculación, la innovación y la gestión institucional

Principalmente basado en: mejor asignación y control de los recursos a través del uso de herramientas y plataformas digitales; contribución de la inteligencia artificial y de la gestión avanzada de data para realizar determinados tipos de actividades, potenciando el desempeño de los académicos y los directivos institucionales.

En particular, el aumento de la contribución de la investigación, desarrollo e innovación de las IES en ciertos sectores productivos y sociales claves.

Oportunidades para las personas

Liberación de labores indeseadas o inseguras y evolución hacia labores de mayor calidad y más agradables

Principalmente basado en: automatización de actividades rutinarias de diversa índole; habilitación de nuevos tipos de actividad humana mediante el uso de TD y tecnologías 4.0.

Esto representa una dinámica de transformación laboral de las personas a través del tiempo, a escala global, para lo cual es necesaria la capacitación continua.

Mayor aprendizaje (educación formal, laboral y autodidacta), acceso a salud, empleos mejores, espacios de emprendimiento

Principalmente basado en: facilitación del acceso a funciones y servicios de la

sociedad - públicos y privados - a consecuencia de las plataformas digitales avanzadas y algunas tecnologías 4.0; aumento de las oportunidades de autogestión de las personas con tales plataformas y tecnologías, lo que facilita su desenvolvimiento en la sociedad (en particular, a través de las iniciativas emprendedoras y el cultivo de competencias como el liderazgo y la colaboración).

* Espacios que se habilitan con los resultados de la prospectiva, considerando ambos escenarios

La prospectiva y sus resultados habilitan diversos espacios de actuación de los organismos públicos, las empresas y otros actores.

Entre ellos:

Evolución del gobierno y del estado desde unas organizaciones y actitudes reactivas y regulatorias (y de árbitro) hacia la incorporación de algunas modalidades proactivas (incrementales en algunos temas y disruptivas en otros)

Este espacio de actuaciones se caracteriza principalmente por: desarrolladores de sistemas y soluciones estatales más efectivas en contextos de creciente complejidad; especialización diversa de los servidores públicos, incluyendo competencias sociales; colaboración intensa de universidades, empresas y otros actores económico - sociales con los organismos públicos; ciudadanos participando activamente en interacción con los organismos públicos, tanto para atender sus necesidades como para colaborar en algunas prestaciones; profesionales con las competencias necesarias.

Desarrollo de políticas públicas para generar y capturar valor para las personas, su bienestar y prosperidad, así como para el desarrollo sustentable del país

Este espacio de actuaciones se caracteriza principalmente por: desarrolladores eficientes de nuevas políticas públicas de generación de valor para las personas y el desarrollo sustentable del país, con las respectivas especializaciones de cada ámbito; empresas, universidades y otros actores colaborando en las políticas públicas; gestores y profesionales competentes en la implementación, operación y actualización continua de tales políticas públicas; ciudadanos participando activamente en el desarrollo, uso y retroalimentación de tales políticas públicas; profesionales con las competencias necesarias.

Gran variedad de opciones de las empresas y otros actores económicos para identificar y aprovechar las oportunidades nacionales e internacionales, aumentar la creación de valor con la TD+I 4.0, para el país y las personas

Considerando innovación empresarial y social, colaboración, inversión, desarrollo de mercados

Este espacio de actuaciones se caracteriza principalmente por: empresarios liderando la transformación productiva en sus industrias y ámbitos afines; nuevos entrantes a las industrias provenientes de diversos orígenes; emprendedores e innovadores - en sus diversas manifestaciones - que crean nuevos productos, procesos y servicios, y mejoran los existentes; ciudadanos que participan activamente en la interacción con las empresas, emprendimientos y otros actores económicos y sociales, en los procesos de creación de valor, y como usuarios y consumidores responsables; inversionistas y otros actores que catalizan las oportunidades de las empresas, emprendedores e innovadores; empresas, emprendedores e innovadores aumentando

significativamente su participación internacional en torno a la TD y las tecnologías 4.0; profesionales con las competencias necesarias; Colegios Profesionales, Academias, Asociaciones, ONG y otros actores no – empresariales que participan en este espacio desde sus propias perspectivas.

Variedad de opciones de las instituciones de educación superior para ampliar y profundizar sus contribuciones en formación de personas, realizar I+D+i y transferencia tecnológica, vincularse con los actores económicos y sociales

Identificando y aprovechando las oportunidades nacionales e internacionales, aumentando la creación de valor con la TD+I 4.0, para el país y las personas.

Considerando innovación institucional y en el entorno, colaboración, inversión, impactos en el entorno.

Este espacio de actuaciones se caracteriza principalmente por: instituciones de educación aumentan sus funciones y las formas de contribución a la sociedad; académicos participan en un mayor conjunto de opciones para su desarrollo, de sus estudiantes y su contribución; instituciones y académicos aumentan su participación internacional en los ámbitos que tienen mayores niveles de dominio relativo respecto de otros países; instituciones se transforman para adaptarse a la mayor complejidad y para abordar las necesidades del desarrollo sustentable; incorporación de otros actores al mundo de la educación, en particular en la educación continua; estudiantes en formación provenientes de poblaciones crecientemente internacionales; instituciones se proyectan significativamente con la educación en línea configurando, junto a la educación presencial e híbrida, un macro sistema de educación nacional e internacional; creciente participación de emprendedores, innovadores y empresas tecnológicas suministrando soluciones de apoyo a la formación; profesionales con las competencias necesarias.

Posibilidades importantes de aumento del protagonismo de las personas en el desarrollo social

Este espacio de actuaciones se caracteriza principalmente por: personas aumentan su capacidad de actuación en sus entornos a través del uso de plataformas y herramientas digitales adecuadas; personas despliegan progresivamente la autogestión para atender sus necesidades e intereses; empresas y organismos públicos desarrollan y habilitan las plataformas digitales para que esta autogestión y protagonismo sean viables con calidad, ética y efectividad; personas – en cuanto clientes - que se vuelven partícipes de la mejora de servicios o colaboradores en el diseño de productos y servicios que ellos usan o consumen; asimismo, algunos se proyectan en la lógica del prosumidor.

5.2 Trayectorias de evolución posibles

Considerando la diversidad de oportunidades y espacios de actuación señalados en la sección 5.1, resultantes de la prospectiva, es posible configurar 3 trayectorias de evolución del país hacia el 2030 basado en TD+I 4.0.

A continuación, se caracterizan estas trayectorias evolutivas usando el criterio de nivel de proactividad que pueden desempeñar los actores públicos y privados.

La comprensión de estas trayectorias es crítica para los tomadores de decisiones públicas, de las empresas y de otros actores económicos sociales. Y también para las personas, en cuánto actor gravitante.

* Evolución “principalmente reactiva”

Corresponde al tipo de evolución predominante en Chile en lo avanzado del siglo XXI (business as usual).

Caracterizada por: políticas públicas basadas principalmente en abordar la solución de problemas de la sociedad previamente identificados (a veces, con retardo importante); empresas proveen productos y servicios para satisfacer demandas expresadas clara y masivamente en los mercados nacional e internacional; instituciones de educación superior abordan las necesidades evidentes y las aspiraciones de los estudiantes.

Esta trayectoria evolutiva usa muy poco los componentes transformacionales expresados en los escenarios I y II.

* Evolución “principalmente proactiva”

Corresponde al tipo de evolución resultante del Escenario I, con algunos componentes reactivos y otros pocos eventualmente disruptivos.

Caracterizada por: políticas públicas basadas principalmente en la anticipación de problemas de la sociedad (en lo posible, con tiempos críticos); empresas innovan, al menos incrementalmente, y proveen productos y servicios mejorados significativamente, o provee nuevos productos y servicios; instituciones de educación superior abordan nuevas necesidades y oportunidades de la sociedad, y logran la participación comprometida de los estudiantes.

Esta trayectoria evolutiva usa intensamente los componentes transformacionales expresados en el Escenario I y, eventualmente, algo del Escenario II y algo de la trayectoria reactiva.

* Evolución “principalmente disruptiva”

Corresponde al tipo de evolución resultante del Escenario II, con algunos componentes proactivos y eventualmente unos pocos reactivos.

Caracterizada por: políticas públicas basadas principalmente en la innovación (social, tecnológica, política, organizacional) - con algunos elementos disruptivos - para desarrollar el bienestar de la población y la efectividad del estado; empresas innovan incremental y disruptivamente, desarrollando nuevas industrias que contribuyen significativamente a la creación de valor, con mejores oportunidades laborales y articulando comunidades más prósperas y equitativas; instituciones de educación superior aumentan radicalmente el conocimiento que generan y su calidad, innovan y contribuyen con nuevos paradigmas al desarrollo de la sociedad. Con ello, transformándola desde sus bases.

Esta trayectoria evolutiva usa intensamente los componentes transformacionales expresados en el Escenario II y, eventualmente, algo del Escenario I y menos de la trayectoria reactiva.

5.3 Conclusiones sobre las oportunidades para la política pública

Considerando los planteamientos y resultados de prospectiva expuestos en los escenarios I y II (capítulos 3 y 4 respectivamente), las políticas públicas deben dar respuesta al desafío de transitar rápidamente a la proactividad necesaria para la evolución de la sociedad. Con algunos elementos de disrupción. Esto en función de las trayectorias que se seleccionen, según lo señalado en sección 5.2.

A continuación, se presentan estas oportunidades de políticas públicas configuradas como opciones posibles para los policy makers, directivos públicos y otros actores. Teniendo presente un concepto crítico: que sirvan para facilitar los compromisos y apoyar la toma de decisiones. Considerando aspectos como: capital humano, inversión, I+D e innovación, regulaciones.

*** Transición desde políticas públicas neutras y reactivas a políticas públicas proactivas para capitalizar oportunamente los beneficios de TD+I 4.0 para la sociedad y cada persona. En particular, en torno a desafíos relevantes**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: anticipación de problemas y oportunidades de la sociedad; focos estratégicos en torno a los desafíos relevantes en la creación de valor para Chile y las personas (desde el desarrollo sustentable de las industrias hasta el bienestar de las personas); habilitación de mejores diseños e implementaciones de programas y sistemas públicos con TD+I 4.0; mejor comprensión de las necesidades e intereses de las personas a través del uso de plataformas digitales avanzadas; mejor comprensión de las oportunidades a través de gestión integrada e inteligente de la data (desde las perspectivas pública y de las personas); colaboración público – privada catalizada por TD+I.40; ejercicio de liderazgo proactivo; despliegue de las capacidades de las personas y protección de sus derechos.

*** Políticas públicas específicas en transformación digital (digitalización) e Industria 4.0, en focos prioritarios (desafíos estratégicos). Para: actores estatales (ministerios, servicios públicos, fuerzas armadas, otros), actores privados o institucionales (empresas, instituciones, otros) y entidades mixtas**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: focos estratégicos en torno a TD y tecnologías I4.0 que son críticas en la creación de valor, tanto en Chile como internacional (inteligencia artificial y otras); articulación – e integración cuando sea adecuado – con las políticas públicas en torno a desafíos; habilitación de mejores diseños y organizaciones de organismos públicos, empresas y otros actores mediante TD+I 4.0; despliegue de diversos tipos de plataformas digitales y desarrollo de comunidades habilitadas por ellas; comprensión profunda de las transformaciones que la TD+I 4.0 habilita en la sociedad; colaboración público – privada catalizada por TD+I.40; ejercicio de liderazgo proactivo.

*** Inversión pública y promoción de inversión privada (local y extranjera) en los ámbitos TD+I 4.0**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: inversión pública en los focos estratégicos de creación de valor (infraestructura, obras, vivienda, energía, industrias, salud, educación, alimentos, seguridad y otros), usando intensamente TD+I 4.0, para lograr simultáneamente altos niveles de efectividad y calidad; inversión pública en TD+I 4.0 propiamente tal, desarrollando sinergia con la inversión sectorial; atracción y apalancamiento de inversión privada - nacional y extranjera - en torno a los desafíos estratégicos y a los espacios de creación de valor significativo que se pueden habilitar con TD+I 4.0; creación de condiciones favorables para la inversión privada, combinando orientaciones y compromisos claros de construcción de futuro valioso (desarrollo sustentable con altos estándares) y

reglas que aseguran certidumbre jurídica; diseño y organización de la inversión con criterios de mayor efectividad que habilita la TD+I 4.0; capital humano competente y suficiente.

* **Inversión relevante y realización de I+D+i en los ámbitos TD+I 4.0 con impacto transformacional**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: comprensión profunda de las necesidades de investigación, desarrollo e innovación para crear valor importante para el país, más allá de la transferencia tecnológica desde los países avanzados; prospectiva y vigilancia tecnológica internacional para establecer los ámbitos de I+D+i más fértiles para Chile; establecimiento de propósitos relevantes de I+D+i en función de los desafíos estratégicos (“mission oriented”); dimensionamiento de la inversión en I+D+i en función de los resultados que se busca obtener, combinando fuentes públicas y privadas en las proporciones adecuadas de los respectivos ámbitos, y medición confiable de la inversión que efectivamente se realiza en las empresas y otros actores; articulación de la inversión en I+D+i con la inversión corriente (infraestructura, obras, procesos, productos, servicios) principalmente basada en transferencia tecnológica (señalada en los puntos anteriores); formación y atracción de capital humano avanzado para realizar I+D+i con los mejores estándares internacionales; fortalecimiento de las capacidades existentes en el país, tanto en las universidades como en otros actores, y desarrollo de nuevas capacidades necesarias; colaboración internacional intensa y participación en los ecosistemas y redes de I+D+i en TD+I 4.0; creación de condiciones favorables para la proyección y escalamiento de los resultados de la I+D+i en la sociedad y los mercados; aumento significativo de la efectividad de I+D+i a través del uso de soluciones avanzadas TD+I 4.0.

* **Desarrollo, fortalecimiento y aumento significativo del capital humano (formación, atracción, retención, progresión) en los ámbitos TD+I 4.0**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: aumento significativo de la formación de capital humano en los ámbitos TD+I 4.0 (comprensión, desarrollo, implementación y uso de entidades digitales), en diversas fases: escolar, técnica, profesional, postgrado, educación continua; atracción de capital humano competente en ámbitos TD+I 4.0 desde diversos países, para complementar y potenciar las capacidades existentes en Chile, y proyectar un polo tecnológico relevante internacionalmente; creación de condiciones aptas para la retención y progresión - en el país y en sus articulaciones internacionales - del capital humano TD+I 4.0; inclusión del capital humano competente en TD+I 4.0 - transversal y significativamente - en todas las actividades y sectores en los cuales impacta la creación de valor; realización intensa de actividades inter y transdisciplinarias para el despliegue del capital humano competente en TD+I 4.0, y sus aportes; acceso y colaboración intensa con las comunidades profesionales y académicas internacionales, en particular aquellas potenciadas con plataformas digitales especializadas.

* **Promoción del trabajo (empleo) de calidad para todas las personas usando adecuadamente la TD+I 4.0**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: anticipación de los tipos y ámbitos de transición del empleo; articulación entre las transiciones del empleo y las transformaciones productivas y de servicios en las empresas, organismos públicos y otros actores económico - sociales; iniciativas para apoyar la transición hacia empleos de más calidad, en empresas, organismos

públicos y otros actores económico - sociales; capacitación oportuna, de calidad y en número suficiente para abordar las transiciones laborales, con foco en el desarrollo de competencias críticas para empleos de más calidad; articulación de transiciones del empleo con las iniciativas de capital humano y de inversión señaladas en los puntos anteriores; facilitación de la autogestión del aprendizaje por parte de las personas según sus niveles de conocimientos en cada momento de su ciclo de vida (y habilitación de espacios desarrollo: emprendimiento, desenvolvimiento de vocaciones, autovalencia y bienestar).

*** Promoción de la ciudadanía digital, la calidad de vida (incluyendo bienestar, salud, educación, seguridad, privacidad y otros) y relaciones armoniosas de las personas con el gobierno y el estado, con las grandes empresas y otros actores**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: desarrollo de paradigma de ciudadanía digital que potencia los derechos y la calidad de vida de las personas y que articula los roles y funciones del estado - así como las actuaciones de las empresas y otros actores - desde tal perspectiva; neutralización sistemática de los riesgos de las tecnologías en la vida de las personas (desde la privacidad hasta diversos efectos colaterales) presentes en los programas y proyectos de organismos públicos, empresas y otros actores; inversión intensa en ámbitos de desarrollo de las personas que habilita el paradigma: bienestar, salud, educación, seguridad; demostración de resultados valiosos que se obtienen con ciudadanía digital, para las personas y la sociedad en su conjunto; articulación con el progreso económico y el desarrollo sustentable del país; consideración sistemática de la ciudadanía digital en la formación de capital humano.

*** Desarrollo de la infraestructura digital y la data como activos: disponibilidad, acceso, asequibilidad, uso efectivo, derechos digitales**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: comprensión profunda de la infraestructura digital y la data como activos de generación de valor sistemático (como capital), más allá de su uso en una aplicación determinada; organización de proyectos y programas públicos, privados y mixtos para desarrollar el potencial de valor de estos activos, en ámbitos económicos sociales y ambientales; articulación de los activos digitales potenciales con la inversión corriente y la inversión en I+D+i; desarrollo de sinergias entre los actores públicos y privados en torno a los activos digitales; creación de condiciones aptas para asegurar la disponibilidad, acceso, asequibilidad, uso efectivo y los derechos digitales, respecto de los activos digitales actuales y potenciales; consideración de los activos digitales en la formación de capital humano.

*** Desarrollo de los mercados en los ámbitos digitales y en los otros ámbitos impactados por la digitalización**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: enfoque dual de la inversión pública cuando es posible (solución de problemas de la sociedad y desarrollo de mercados; aumento de la demanda de los organismos públicos por sistemas y soluciones digitales de impacto transformacional en los mercados (flujos económicos que facilitan el financiamiento de tecnologías, efectos demostrativos y dinámica de “contagio”); auto exigencia de los organismos públicos y otros actores para utilizar las tecnologías avanzadas y requerir nuevos desarrollos tecnológicos e innovaciones cuando los existentes no son suficientes; desarrollo de condiciones aptas para que las empresas y emprendedores propongan tempranamente posibles

soluciones a desafíos de la sociedad que requieren habitualmente la iniciativa de organismos públicos; desarrollo oportuno de normas y estándares en diversos sectores y ámbitos para procurar soluciones a los problemas de la sociedad y que desencadenan cambios en las empresas y otros actores; fortalecimiento del financiamiento y el mercado de capitales para facilitar el desarrollo de los emprendimientos en TD+I 4.0, y su articulación con los inversionistas internacionales; demostración de la efectividad de realizar inversiones en TD+I 4.0 en Chile por parte de actores internacionales; articulación con el desarrollo del capital humano con las competencias necesarias, y la inversión corriente y en I+D+i.

*** Compras públicas para generar valor con la TD+I 4.0 para el país y las personas, a través de sus usos y del desarrollo de oferta de soluciones avanzadas**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: algunos de los elementos señalados en el punto anterior sobre desarrollo de los mercados en torno a TD+I 4.0; consideración de todos los espacios decisionales de carácter público (ministerios, servicios, Fuerzas Armadas, hospitales y redes de salud, establecimientos educacionales, empresas estatales y otros); colaboración con otros países en los ámbitos de común interés en compras públicas y sus efectos en mejores condiciones económicas, tecnológicas, ambientales y sociales (posibles alianzas); renovación de las prácticas de abastecimiento de los organismos públicos y su potenciación con plataformas digitales avanzadas; desarrollo de proveedores para que suministren soluciones tecnológicas al nivel de compras públicas avanzadas; capital humano con las competencias necesarias.

*** Avance hacia el estado digital, en particular el gobierno digital, y su descentralización en los territorios, buscando un equilibrio armonioso con la vida de las personas**

Estas opciones de políticas públicas están principalmente caracterizadas por: desarrollo de paradigma de Estado digital, en particular de Gobierno digital, que transforma su actual organización y hace posible mejores diseños e implementaciones de las funciones públicas; uso adecuado de las diversas tecnologías TD+I 4.0 según las características de las funciones públicas (salud, vivienda y muchas otras) y el potencial de sinergia entre ellas; articulación con la ciudadanía digital (según se expone en otro punto de esta sección); descentralización intensa en los territorios logrando mayor valor para sus habitantes, apalancando las plataformas digitales y otras tecnologías I4.0, asegurando la integridad y coherencia del país (lógica de las redes digitales distribuidas); renovación de los cargos y funciones de los colaboradores en la administración pública, y transición laboral hacia posiciones de mayor creación de valor en la sociedad y de mejor calidad para los propios colaboradores; articulación con la inversión corriente y en I+D+i, señalada en otro punto de esta sección; balance más efectivo entre las funciones públicas, privadas y mixtas; capital humano con las competencias necesarias.

5.4 Conclusiones sobre las oportunidades para las Instituciones de Educación Superior (IES)

Considerando los planteamientos y resultados de prospectiva expuestos en los escenarios I y II (capítulos 3 y 4 respectivamente), las IES tienen muchas opciones y responsabilidades en la encrucijada transformacional que enfrentan: desarrollo orgánico ágil, con algo de disrupción. Esto en función de las trayectorias que ellas seleccionen, según lo señalado en sección 5.2.

A continuación, se presentan las oportunidades para las IES configuradas como opciones posibles para sus directivos, académicos, docentes, colaboradores y estudiantes. Y, también, para los organismos públicos pertinentes y los asociados externos de las IES.

Considerando aspectos como: formación de capital humano, I+D e innovación, vinculación con el medio, actividad interdisciplinaria.

* Liderazgo y colaboración activa en la generación de políticas públicas educacionales – según las tendencias internacionales avanzadas - para aumentar significativamente el desarrollo del país basado en TD+I 4.0

Estas opciones institucionales se caracterizan por: colaboración en la formulación de las diversas políticas públicas referidas en la sección 5.3, en torno a TD+I 4.0; colaboración en la formulación de políticas públicas en los ámbitos educacionales (y participación en la realización de algunas de ellas) en torno a TD+I 4.0 para:

- La formación de pregrado y postgrado especializadas en los ámbitos digitales.
- La formación digital pertinente en los ámbitos no-digitales.
- La articulación entre CFT - IP - Universidades y de estas instituciones con la Educación Media y Educación Básica, en los ámbitos digitales.
- La Educación Continua de calidad para facilitar la transición laboral de las personas a ocupaciones mejores.
- La renovación de la Educación Básica y Educación Media con contenidos y medios digitales. Y la respectiva colaboración de las IES con los establecimientos educacionales.
- La alfabetización digital de las personas como ciudadanos digitales competentes y autovalentes.

* Aumento significativo del número de titulados y graduados de calidad en los ámbitos digitales. En particular, de mujeres

Estas opciones institucionales se caracterizan por: motivación y voluntad institucional para aumentar significativamente el número de titulados y graduados en los ámbitos digitales (y su articulación con políticas públicas pertinentes); comprensión profunda de las necesidades y desafíos de la sociedad y de los consiguientes roles y espacios laborales para profesionales, técnicos y posgraduados; comprensión de las características e intereses de las diversas poblaciones de estudiantes (en particular, considerando las perspectivas de género, los nativos digitales y otras); motivación y atracción de diversas poblaciones de estudiantes a las instituciones de educación en los ámbitos digitales; programas formativos de calidad y efectividad con los mejores estándares internacionales; utilización adecuada de la educación en línea e híbrida de calidad; gestión adecuada de la retención, progresión y titulación oportuna los estudiantes; apoyo adecuado para la inserción laboral de los egresados; acompañamiento a los egresados y empleadores en la progresión laboral (educación continua y otras funciones); cuerpos académicos y docentes suficientes para abordar las mayores poblaciones de estudiantes y sus diversidades; infraestructura, laboratorios y equipamientos adecuados.

* **Aumento significativo del número de titulados y graduados de calidad en los ámbitos digitales de poblaciones subrepresentadas (pueblos originarios, migrantes, personas con discapacidades)**

Estas opciones institucionales se caracterizan por los factores señalados en el apartado anterior, pero con énfasis en las características e intereses de personas provenientes de pueblos originarios, migrantes, que presentan discapacidades u otras poblaciones subrepresentadas en el mundo digital.

* **Aumento significativo del número de titulados y graduados con competencias digitales en los ámbitos no – digitales**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de las características de los diversos ámbitos profesionales no - digitales (salud, derecho, humanidades y varios otros) desde la perspectiva de contribución de TD+I 4.0 a ellos; comprensión profunda de las tendencias de convergencia, articulación e integración de tales profesiones con los ámbitos digitales, y el surgimiento de nuevas profesiones; fortalecimiento de los programas formativos para el desarrollo de las competencias digitales en los ámbitos no - digitales, según la comprensión profunda señalada, y su sistematización; utilización adecuada de la educación en línea e híbrida; demostración de la calidad y efectividad de las competencias digitales en estos ámbitos y su efecto positivo en el ejercicio de las profesiones; acompañamiento a los egresados y los empleadores en su inserción y progresión laboral; fortalecimiento del cuerpo académico y docente para abordar la formación digital de las poblaciones de estudiantes en ámbitos no – digitales; infraestructura, laboratorios y equipamientos adecuados.

* **Aumento de la actividad inter y transdisciplinaria en los ámbitos digitales, entre estos y con los otros ámbitos, como medio para abordar los desafíos complejos de la sociedad y las respectivas transformaciones necesarias**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: promoción de programas, centros y otras iniciativas avanzadas de actividades inter y transdisciplinaria entre los distintos ámbitos TD+I 4.0 (plataformas digitales, inteligencia artificial, internet de las cosas, simuladores, robótica, autonomía vehicular y de equipos, comunicaciones 5G, realidad virtual y aumentada, y otros); promoción de programas y diversas iniciativas inter y transdisciplinarias entre los ámbitos TD+I 4.0 y los diversos ámbitos científico - tecnológicos y profesionales (salud, agricultura, minería, construcción, banca, comercio y varios otros); articulación con los desafíos de la sociedad y el desarrollo sustentable del país; articulación con las políticas públicas e inversiones, en particular de I+D+i; articulación con las empresas en distintos sectores industriales y de servicios; reconocimiento en las evaluaciones académicas; participaciones relevantes de estudiantes en los programas trans e interdisciplinarios; participación de las instituciones en redes y ecosistemas internacionales de actividades trans e interdisciplinarias; competencias adecuadas de académicos y profesionales; infraestructura, laboratorios y equipamientos adecuados.

* **Utilización intensa de los medios digitales para aumentar significativamente los resultados e impactos en torno a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS de NU)**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de las necesidades y oportunidades de cada uno de los ODS respecto de la contribución posible de TD+I 4.0; comprensión profunda del potencial de creación de valor que tienen las tecnologías y modelos de negocios TD+I 4.0 respecto de los ODS y de

modelos de desarrollo (por ejemplo, modelo de la “rosquilla”); I+D+i pertinente a ODS/TD+I 4.0; colaboración en la concepción de paradigmas y diseño de soluciones basados en sus resultados (“minería verde” y digital, Smart City, transporte y logística integrados de alta efectividad, varias otras); renovación curricular pertinente en los programas formativos y capacitación de docentes y profesionales en ámbitos ODS/TD+I 4.0; realización de actividades curriculares y extracurriculares con estudiantes en diversos niveles en ámbitos ODS/TD+I 4.0; vinculación efectiva y relevante con organismos públicos, empresas y otros actores ODS/TD+I 4.0.

* Aumento de la colaboración y alianzas con empresas tecnológicas líderes, a nivel nacional e internacional, en I+D, innovación y capital humano en los ámbitos digitales

Estas opciones institucionales se caracterizan por: aumento de la colaboración con empresas tecnológicas líderes, tanto aquellas que ya ejercen liderazgo como aquellas emergentes que desarrollan nuevas tecnologías y podrán ser próximos líderes; foco de la colaboración en I+D+i y aumento de sus resultados, formación de capital humano con competencias avanzadas, movilidad de académicos, estudiantes y profesionales; apalancamiento de capacidades y redes de las empresas tecnológicas líderes; participación relevante en ecosistemas y redes; proyección de los resultados de las actividades académicas en las empresas tecnológicas líderes y en otros actores en los cuáles éstas influyen; proyección de los resultados en el desarrollo sustentable del país y de la calidad de vida de la población.

* Aumento significativo del volumen de actividad y de resultados en I+D e innovación en los ámbitos digitales

Estas opciones institucionales se caracterizan por: aplicación directa de lo señalado en los puntos anteriores de esta sección sobre IES; voluntad y compromiso institucional de aumentar el volumen de actividad en I+D+i en los ámbitos digitales; organización de programas y entidades aptas para hacer viable estos aumentos; colaboración con empresas y otros actores en actividades relevantes de I+D+i en TD+I 4.0; articulación con las políticas públicas pertinentes según lo expuesto en la sección 5.3; participación en innovación abierta y otras modalidades; demostración efectiva del valor que genera esta mayor actividad de I+D+i y sus resultados en la sociedad; demostración efectiva de la contribución a la mejor formación de profesionales y posgraduados; capital humano avanzado suficiente para sustentar el crecimiento; infraestructura, equipamientos y laboratorios adecuados.

* Aumento significativo de la orientación emprendedora e innovadora de sus estudiantes y egresados en los ámbitos digitales y en otros ámbitos con aplicaciones digitales

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades de desarrollo de nuevas industrias (productos, servicios, procesos) que la TD+I 4.0 puede habilitar en la sociedad y los mercados; asimismo, de la renovación de las industrias actuales, con orientación al desarrollo sustentable; determinación de los espacios aptos para apoyar los emprendimientos e innovaciones de los estudiantes y egresados en los ámbitos digitales y en otros ámbitos con aplicaciones digitales; fortalecimiento de programas y entidades existentes en las IES y desarrollo de nuevos para emprendimiento e innovación de estudiantes y egresados; colaboración con empresas y otros actores en estas actividades; sistematización y escalamiento de actividades efectivas y motivadoras para estudiantes, en particular en torno a desafíos (por ejemplo: bootcamps, hackatones); articulación con las políticas públicas pertinentes según lo expuesto en la sección 5.3; demostración efectiva del valor que genera el emprendimiento y la innovación realizada por

estudiantes y egresados en los ámbitos digitales; capital humano avanzado suficiente para sustentar el desarrollo; infraestructura, equipamientos, laboratorios, talleres y espacios de cowork adecuados.

*** Participación con contribuciones relevantes en los ecosistemas de innovación en torno a los ámbitos digitales, nacional e internacional**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de los ecosistemas de innovación (nacional e internacional), las oportunidades que representan, las brechas que tienen y sus desafíos dinámicos; determinación de las formas más adecuadas de participación de la IES en los ecosistemas internacionales con impacto nacional, en particular desde la perspectiva de las contribuciones relevantes que puede realizar y de los apalancamientos que puede lograr para su propio desarrollo institucional, de sus estudiantes y egresados, y del país; aplicación directa de lo expuesto en otros puntos de esta sección sobre IES.

*** Logro de altos niveles de dominio - en al menos un ámbito digital - para constituirse en un referente internacional en su participación en los ecosistemas globales. Y su contribución a otros países**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de los ámbitos digitales en que las IES chilenas pueden lograr alto grado de dominio científico - tecnológico a escala internacional (individual y asociativamente) a partir de las oportunidades locales y globales para la creación de valor significativo en la sociedad; establecimiento de focos estratégicos en tales ámbitos digitales, en conjunto con la comunidad académica, los organismos públicos pertinentes, empresas tecnológicas líderes, innovadores, emprendedores y otros actores relevantes del ecosistema internacional; organización de poderosos programas de I+D+i y emprendimientos de base tecnológica en los ámbitos seleccionados TD+I 4.0, principalmente con la lógica mission oriented, formulados en la articulación IES - políticas públicas - empresas tecnológicas; organización de programas de inversión significativa a escala internacional, apalancando recursos de los sectores de reconocido impacto actual y futuro (salud, industria, minería, transporte, y varios otros) con modelos de negocios de nueva generación que habiliten retornos oportunos y adecuados para ellos; formación, atracción y retención de capital humano avanzado en los ámbitos TD+I 4.0 respectivos; organización de infraestructura y laboratorios de avanzada en los ámbitos seleccionados, en las instituciones y en sus articulaciones con empresas tecnológicas y organismos públicos; demostración temprana y efectiva de la creación de valor para la sociedad en tales ámbitos, catalizando la participación progresiva de más actores y la atracción de más recursos; proyección de la actividad colaborativa con instituciones internacionales relevantes y la creación de valor con ellos.

*** Desarrollo de ofertas de educación en línea de alta calidad y cobertura, con amplia proyección internacional. Para ello, desarrollo de alianzas entre universidades chilenas y extranjeras para organizar las suficientes competencias y capacidades críticas. En particular, con foco en América Latina**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de los ámbitos en que la educación en línea puede alcanzar simultáneamente altos niveles de calidad y cobertura, para abordar poblaciones de estudiantes diversos en diferentes fases educativas (escolar, técnica, vocacional, pregrado, postgrado, educación continua); articulación de la educación en línea en las IES con la educación

presencial e híbrida; aplicación de las tecnologías adecuadas (data science, realidad aumentada y virtual, plataformas colaborativas, simuladores) para diversas modalidades efectivas de aprendizaje en línea (por ejemplo, aprendizaje activo y adaptativo); determinación de las competencias y capacidades críticas necesarias de las IES (docentes, tecnológicas, infraestructura, organización y gestión) para abordar diferentes segmentos de estudiantes (por especialidades, territorios, características, requerimientos del empleo); desarrollo de alianzas entre IES chilenas y extranjeras, y con otros actores, en los casos que es necesario para lograr tales capacidades críticas; apalancamiento de los desarrollos que realizan las empresas tecnológicas a escala internacional para la educación (industria EdTech); participación activa en los ecosistemas internacionales de educación en línea, en los cuales concurren diversos tipos de actores, además de las IES; demostración de la construcción de valor en tales ecosistemas educacionales, considerando su impacto en los diversos ámbitos abordados en los capítulos 3 y 4 de este informe.

*** Aumento significativo de la internacionalización de la educación superior; en particular en los ámbitos digitales, con la construcción de un hub de calidad. Con foco principal en América Latina**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de los espacios en que la educación superior debe tener una proyección internacional, más allá de abordar las respectivas necesidades locales, y sus fundamentos (necesidades objetivas de las poblaciones de estudiantes, economías de escala, potencial de creación de valor, despliegue global de las tecnologías digitales, otros); organización de programas formativos de calidad y cobertura internacional, con diseños aptos para abordar poblaciones de estudiantes en diversos territorios; articulación de la I+D+i con la formación en la proyección internacional; construcción de un hub de educación superior internacional con calidad suficiente para asegurar la participación significativa de las instituciones y altos niveles de aprendizajes de los estudiantes (hubs que deben incluir capacidades tecnológicas, capital humano avanzado, metodologías y recursos); atracción y apoyo continuo a los académicos y directivos dedicados a los programas internacionales; acreditación de los programas de pre y postgrado y certificaciones en educación continua con los mejores estándares internacionales.

*** Aceleración institucional integrada de su transformación digital para lograr mejor calidad, desempeño destacado y altos estándares éticos en: formación - I+D, innovación y creación – vinculación con el medio – gestión institucional**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de la transformación positiva (también de sus eventuales efectos colaterales) que se puede habilitar en las IES mediante las tecnologías TD+I 4.0; desarrollo de modelos potenciados de las funciones institucionales basados en estos fundamentos: formación, I+D, innovación y creación, emprendimiento, vinculación con el medio, gestión institucional; articulación con las políticas públicas en educación superior, en particular sobre la acreditación institucional y los instrumentos de fomento; ampliación y profundización de las sinergias entre las funciones institucionales, y eventualmente desarrollo de nuevas funciones; articulación con las transformaciones de los actores relacionados a las IES (otras IES, organismos públicos, empresas, instituciones sociales de interés); aumento de la contribución de valor de las IES, habilitada por las tecnologías, principalmente en los ámbitos de gran importancia para la sociedad y sus estudiantes; neutralización oportuna de los riesgos y eventuales efectos colaterales de las tecnologías en las instituciones; renovación de los planes estratégicos y de los instrumentos institucionales de decisión; fortalecimiento de las competencias de

directivos institucionales, académicos y profesionales; fortalecimiento de los aspectos éticos en todas las funciones, articulado con la calidad y desempeño institucionales.

* **Colaboración de las IES con las industrias, los organismos públicos y las organizaciones de la sociedad para acelerar la transformación digital valiosa y la transición a las modalidades convenientes de la I4.0**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión profunda de las necesidades y oportunidades de transformación basada en TD+I 4.0, tanto de las IES como de los organismos públicos, las industrias y las organizaciones de la sociedad; colaboración de las IES con los otros actores basada en tal comprensión profunda, en torno a programas dedicados a ello; articulación de la I+D+i+e con las colaboraciones institucionales (por ejemplo, mediante innovación abierta y emprendimiento focalizado en áreas de alto impacto); uso de plataformas digitales avanzadas para facilitar y acelerar las colaboraciones; demostración efectiva del valor que se crea con las colaboraciones; atracción sistemática de recursos a las colaboraciones creadoras de valor en base a TD+I 4.0; desarrollo de competencias adecuadas de académicos, directivos y profesionales, para potenciar las colaboraciones; infraestructura, laboratorios y equipamientos aptos para las colaboraciones.

* **Eventual creación de nuevas IES dedicadas a los ámbitos digitales, como unidades transformadoras de la sociedad**

Estas opciones institucionales se caracterizan por: comprensión de los espacios y oportunidades para el desarrollo de nuevas IES (por necesidades insatisfechas de la sociedad en los ámbitos digitales, por tendencias internacionales en educación superior, en particular formación para el trabajo, y otras); iniciativa de los actores públicos o privados que abordan tales necesidades, espacios y oportunidades; diseño de IES de nueva generación con foco en los ámbitos digitales relevantes y sus efectos transformacionales en la sociedad; consideración en el nuevo diseño de formas más efectivas y de calidad de las funciones institucionales posibles de habilitar con TD+I 4.0 (formación, investigación y desarrollo, innovación, vinculación con las empresas y otros actores de la sociedad, emprendimiento de base tecnológica, articulación efectiva y participación de los estudiantes, egresados y personas de las comunidades); diferenciación significativa respecto de las IES existentes y demostración efectiva de creación de valor adicional; formación, atracción y retención de académicos y capital humano avanzado para IES de nueva generación.

5.5 Conclusiones sobre las oportunidades para empresas y actores económicos

Considerando los planteamientos y resultados de prospectiva expuestos en los escenarios I y II (capítulos 3 y 4 respectivamente), las empresas y actores económicos tienen oportunidades importantes con la participación responsable en un mundo en transformación mediante la iniciativa emprendedora e innovadora y las demandas de la sociedad.

Esto en función de las trayectorias que seleccionen los actores, según lo señalado en la sección 5.2.

A continuación, se presentan estas oportunidades para las empresas y actores económicos configuradas como opciones posibles para sus propietarios, ejecutivos, profesionales, colaboradores y diversos stakeholders (clientes, proveedores, comunidades, otros colaboradores). Y, también, para los organismos públicos y

las organizaciones sociales pertinentes a las actividades económicas, sociales y medioambientales en los respectivos sectores.

Considerando aspectos como: desarrollo de mercados y negocios, transformación productiva y de servicios, desarrollo sustentable, capital humano, inversión, I+D e innovación, emprendimiento, empleo, empresas tecnológicas, empresas de ingeniería.

*** Colaboración activa en la generación de políticas públicas – según las tendencias internacionales más avanzadas - para aumentar significativamente el desarrollo del país basado en TD+I 4.0**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: colaboración en la formulación de las políticas públicas pertinentes en torno a TD+I 4.0, referidas en la sección 5.3; colaboración en la formulación y realización de políticas públicas sobre promoción del emprendimiento, innovación, desarrollo tecnológico, inversiones, capital humano, transformación productiva en torno a TD+I 4.0.

En síntesis, sobre:

- La formación y la inserción de capital humano con competencias digitales avanzadas.
- La renovación digital de los colaboradores internos, ejecutivos y colaboradores externos. Y su participación sistemática en la educación continua de calidad.
- La colaboración con las IES en los ámbitos digitales.
- La I+D y la innovación en ámbitos digitales.
- El desarrollo de empresas tecnológicas y otros actores orientados a la creación de alto valor en los ámbitos digitales.
- La renovación de las industrias y de su articulación con el estado y los otros actores.

*** Aceleración de la transformación digital de las empresas y transición a industria 4.0, para lograr niveles superiores de resultados, desempeño y calidad**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades en cada sector industrial y sus respectivos mercados que se pueden habilitar con las tecnologías TD+I 4.0 y los modelos de negocios asociados; desarrollo de modelos potenciados de producción, distribución, abastecimiento y logística; acceso efectivo a mercados internacionales competitivos y permanencia en ellos; progresión acelerada por las tecnologías hacia el desarrollo sustentable y la economía circular; formación de sus profesionales, colaboradores y ejecutivos en TD+I 4.0; realización de I+D e innovación para desarrollar nuevos productos, procesos y servicios basados en TD+I 4.0; neutralización oportuna de los riesgos y eventuales efectos colaterales de las tecnologías.

*** Renovación de los sectores industriales, en algunos casos en forma disruptiva, para asegurar la viabilidad empresarial, competitividad internacional y contribución de valor a la sociedad. Asimismo, surgimiento de nuevas industrias (en particular, tecnológicas)**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades de renovación de las industrias existentes a través de TD+I 4.0, tanto en forma incremental como disruptiva; asimismo, del desarrollo de nuevas industrias (especialmente, tecnológicas); gestión del cambio cultural para hacer viable la

renovación empresarial (y superar la lógica de “business as usual”); progresión hacia la sustentabilidad – en la lógica del cumplimiento de los ODS de ONU e incluyendo la respuesta al cambio climático – como componente crítico de la renovación; actuación con velocidad para lograr tempranamente los beneficios de la renovación, aumentar las capacidades empresariales y generar un “circuito virtuoso”.

* **Aumento de la educación continua de sus colaboradores en los ámbitos digitales y sus aplicaciones**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: colaboración en el diseño – y eventualmente en la realización - de programas de educación continua con su debida certificación en TD+I 4.0 para los colaboradores de las empresas; promoción del desarrollo de competencias de los colaboradores en ámbitos clave de TD+I 4.0 a través de la educación continua, creando condiciones aptas; desarrollo de nuevos modelos laborales que apalanquen las mayores competencias de los colaboradores simultáneamente para su propio progreso así como el de las empresas.

* **Aumento significativo del número de productos y servicios de calidad en los ámbitos digitales, con proyección nacional e internacional**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades de generar productos y servicios completamente digitales, sean emulaciones de entidades físicas o nativas digitales, a través de TD+I 4.0; orientación a mercados globales, aunque con desarrollos iniciales a nivel local; desarrollo de capacidades competitivas internacionales.

* **Aumento de la asociatividad y colaboración entre empresas, y con otros actores, para abordar desafíos mayores en los ámbitos digitales**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades de colaboración entre empresas para desarrollar las industrias basado en TD+I 4.0, superando las lógicas sólo competitivas; asociación y colaboración efectiva entre empresas – y también con otros actores – para desarrollar las industrias y sus mercados; demostración de la sinergia que se logra con las asociaciones y colaboraciones empresariales en torno a TD+I 4.0 (en particular, en las cadenas de suministro y redes de valor).

* **Orientación a las oportunidades de alta creación de valor en los mercados y la sociedad, con proyección internacional, y los necesarios incrementos en las actividades de I+D e innovación en las empresas**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades de alta creación de valor en los mercados y la sociedad a través de TD+I 4.0 (tanto en las industrias existentes como en nuevas industrias); desarrollo de inversiones, apalancando recursos de fuentes locales e internacionales, para abordar tempranamente tales oportunidades de valor; realización de I+D e innovación necesarias, así como la correspondiente protección de la propiedad intelectual; articulación y participación internacional en las redes de valor (desde los mercados hasta el financiamiento y la producción).

*** Aumento significativo del número, tamaño y sustentabilidad de las empresas que participan en los ámbitos digitales (en particular, empresas tecnológicas)**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: demostración de resultados positivos de las empresas pioneras en diversos ámbitos digitales TD+I 4.0; emulación de tales empresas por nuevos actores; diferenciación de los nuevos emprendedores respecto de las empresas existentes, basado en una mejor “lectura” de las oportunidades y en mayor audacia; atracción creciente de profesionales hacia las empresas en desarrollo; aumento de los aprendizajes empresariales para crecer y lograr sustentabilidad; demostración progresiva del crecimiento de las empresas y emprendimientos digitales en forma sustentable en los mercados globales; proyección internacional de las empresas y emprendimientos digitales.

*** Aumento de las actividades inter y transdisciplinarias en los ámbitos digitales, entre estos y con los otros ámbitos, como medio para abordar los desafíos complejos de la sociedad y las respectivas transformaciones necesarias**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de las oportunidades que brindan las actividades inter y transdisciplinarias en los ámbitos digitales (por ejemplo, entre inteligencia artificial, internet de las cosas y ciberseguridad en la sustentabilidad de los sistemas industriales), y otros ámbitos (por ejemplo, e-health en salud humana); comprensión profunda de los desafíos de la sociedad para habilitar nuevos tipos de soluciones basadas en TD+I 4.0 (por ejemplo, sistemas crowdsourcing en la participación ciudadana; demostración efectiva de las contribuciones de valor mediante las actividades inter y transdisciplinarias, en particular a través de mejores o nuevos procesos y productos.

Utilización intensa de los medios digitales para aumentar significativamente los resultados e impactos en torno a los Objetivos del Desarrollo Sostenible (ODS de NU) y las respuestas al cambio climático.

Estas opciones empresariales se caracterizan por: comprensión profunda de los ODS desde la perspectiva de las soluciones que pueden habilitar las TD+I 4.0; desarrollo de tales soluciones a través de nuevas articulaciones empresariales de productos – procesos productivos – servicios – distribución; articulación con las actitudes emergentes de los consumidores respecto de su demanda creciente de productos elaborados con mayor sustentabilidad en diversos ámbitos; movilización de fondos de inversiones que favorecen la progresión hacia los ODS; demostración efectiva del logro simultáneo de rentabilidad y sustentabilidad en diversas industrias, en particular en los ámbitos abordados en los capítulos 3 y 4 de este informe.

*** Aumento de la colaboración con las IES y centros de I+D+i, chilenos y extranjeros**

Estas opciones empresariales se caracterizan por: orientación de las empresas y emprendimientos al desarrollo de nuevos productos y servicios digitales, lo que demanda I+D e innovación; realización de parte de tales actividades I+D+i+e con IES y centros tecnológicos que son competentes en ámbitos TD+I 4.0; realización de diversas formas de colaboración de empresas con IES, articuladas con I+D+i: servicios tecnológicos, transferencia tecnológica, educación continua y otros; demostración de los resultados positivos de tales colaboraciones tanto a nivel nacional como internacional.

* Aumento significativo de su volumen de actividad y de resultados en I+D e innovación en los ámbitos digitales, con proyecciones locales e internacionales

Estas opciones empresariales se caracterizan por: reconocimiento y diferenciación de las oportunidades en los mercados de nuevos productos, procesos y servicios generados mediante I+D+i en ámbitos TD+I 4.0; inversión en I+D+i en los ámbitos digitales a “la altura” de las oportunidades (en temporalidad y magnitud); articulación efectiva con actores relevantes a escala internacional; aumento en número y competencias de los investigadores, desarrolladores e innovadores en los ámbitos digitales; apalancamiento de financiamiento y otros recursos desde diferentes fuentes, públicas y privadas, nacionales y extranjeras; gestión avanzada de la I+D+i para lograr resultados significativos con plazos y costos controlados; demostración del valor creado con los resultados de I+D+i en los ámbitos digitales.

5.6 Conclusiones sobre las oportunidades para las personas

Las personas están frente a una diversidad de oportunidades que habilitan las tecnologías y los modelos TD+I 4.0. Y también frente a los riesgos que éstas conllevan.

Esto en el contexto de la inclusión de los actores relevantes en la Transformación Digital e Industria 4.0, para abordar las oportunidades para hacer que Chile supere sus desafíos, para realizar importantes contribuciones a la calidad de vida de las personas, para la participación significativa con equidad, la proyección de diversos otros actores.

Las personas tienen el potencial de evolucionar desde meros usuarios hacia protagonistas de las transformaciones, creando valor y gestionando los riesgos.

Esto representa:

- Aumento significativo de la preparación digital de las personas para lograr una mejor calidad de vida, aprovechando los beneficios y neutralizando los efectos colaterales de la TD+I 4.0.
- Dominio en las respectivas ocupaciones y profesiones impactadas por TD+I 4.0 para co – evolucionar con las tecnologías y el empleo (por ejemplo, como prosumidor), avanzando hacia trabajos de mayor calidad humana.
- Demanda al estado de una nueva relación con el ciudadano que sea más efectiva en los derechos, en los servicios y en una vinculación armoniosa. Apalancando la TD+I 4.0. Por ejemplo, respecto de la privacidad y la protección frente a los ataques cibernéticos.
- Participación como ciudadano empoderado en la sociedad y respetuoso de todas las personas, con equidad y altos estándares éticos, al usar TD+I 4.0 y realizar las actividades basadas en ellas.
- Aprovechamiento de las oportunidades que brinda la TD+I 4.0. Como usuario avanzado en sus actividades, y también como generador de soluciones a los desafíos que enfrenta. Trabajando colaborativamente con diferentes actores.
- Despliegue de un continuo interés, alerta y análisis sobre la evolución de la TD+I 4.0, y sus efectos en la sociedad y el medio ambiente.

5.7 Conclusiones sobre la visión de la Ingeniería chilena hacia el 2030 y las oportunidades para la comunidad de ingenieros/as y otros/as profesionales

En el desarrollo de las transformaciones referidas en las secciones 5.1 a 5.6, está implícita la evolución de los modelos y prácticas de la ingeniería a escala internacional. Experimentando digitalización acelerada, progresión del capital humano, articulación e integración con una diversidad de roles profesionales, orientación creciente a la innovación.

En esa dinámica internacional, la Ingeniería chilena enfrenta el desafío de evolucionar significativamente para abordar la visión país hacia 2030 que se ha presentado en los Escenarios I y II (capítulos 3 y 4) en: las empresas, los organismos públicos, las instituciones de educación superior, la formación, el ejercicio profesional, la articulación con otras profesiones, la articulación con I+D e innovación, la articulación con las inversiones y regulaciones, los modelos y las prácticas de la Ingeniería, las personas que se desempeñan como ingenieros/as.

Así la Ingeniería evoluciona para contribuir a la evolución de la sociedad. Esto se representa en:

- Facilitación de las diversas actividades de ingeniería (concepción, diseño, implementación, operación y mantenimiento) así como de la gestión de ingeniería y de innovación en ingeniería, al usar TD+I.40
- Facilitación del trabajo inter y transdisciplinario, de sinergias y del surgimiento de entidades híbridas. Tanto entre especialidades de ingeniería como con otras profesiones (medicina, agricultura, derecho, artes, y varias otras).
- Creación de nuevas entidades, instituciones y modalidades de estudio y acción para realizar la transformación digital e Industria 4.0 como agentes relevantes de cambio.
- Globalización de la Ingeniería desde los territorios: servicios globales de Ingeniería habilitados y potenciados por las plataformas digitales. Simultáneamente, aumento de las producciones locales y reshoring de producción.
- Aumento de las capacidades y desempeños de ingenieros/as y otros/as profesionales a través de plataformas digitales y su coordinación en diversos territorios, especialidades y estructuras laborales. Efectos de aumento 2x – 10x de los desempeños y sus significativos efectos asimétricos entre los/as profesionales.
- Habilitación de nuevos modelos de negocios para ingeniería. Auge de la variedad de stakeholders (diversos públicos de interés), no solo de los mandantes y clientes habituales.
- Aumento del potencial de creación de valor de la ingeniería en los diversos ámbitos, algunos de carácter exponencial y disruptivo.
- Aumento de la demanda social por mejores obras y productos de ingeniería. Superando la calidad de diseño e implementación y las prácticas incorrectas (obsolescencia programada, acuerdos indebidos entre actores, insuficiente consideración de los efectos colaterales de las tecnologías en las personas).

- Espacios significativos de creación de valor de la ingeniería para: dar respuesta al cambio climático, al desarrollo sustentable (según los ODS) y a las aspiraciones y necesidades de las personas; facilitar el desarrollo de la democracia digital y la participación de ciudadanos activos, las relaciones horizontales entre ellos con autonomía, la descentralización del poder y la participación de los actores regionales y locales en las decisiones; que las plataformas digitales y sistemas de comunicaciones (con diseños y regulaciones adecuadas) eviten la manipulación de los ciudadanos, aseguren la privacidad de datos, minimicen los bulos; asimismo, faciliten la democracia y la eficiencia del Estado en la provisión de servicios básicos, de información, de supervisión, de seguridad ciudadana (en particular, frente a crecientes delitos cibernéticos), de control democrático sobre los sistemas digitales (previniendo el control social por ellos).

5.8 Síntesis global

Las TD+I 4.0 representan un mundo de oportunidades para el país y las personas. Y también de riesgos

Esto implica una gran responsabilidad para la Ingeniería y su contribución a la sociedad.

Las TD+I 4.0 continuarán desplegándose con dinamismo a nivel internacional, como consecuencia de cuatro factores relevantes: el significativo volumen de conocimiento científico – tecnológico que se está generando; el aumento de emprendedores innovadores en muchos países; el aumento de las políticas públicas proactivas basadas en la digitalización; el aumento relevante de la inversión en los ámbitos digitales.

Chile podrá aumentar significativamente su participación en este despliegue, para el beneficio del país y su población, y también para otros países

Estos factores continuarán generando oportunidades importantes para el desarrollo sustentable de los países y para el bienestar y prosperidad de las personas: mayor viabilidad de tecnologías efectivas (energía, agua, alimentos, minería, manufactura y otras); emprendimientos y empleo calificado en base a tecnologías digitales aptas para el desarrollo sustentable; nuevas industrias habilitadas por las tecnologías y nuevos modelos de negocios (soluciones digitales para salud, educación, entretenimiento, servicios diversos, seguridad, empoderamiento de la ciudadanía); mejor organización del estado, en particular del gobierno y sus servicios, y una armonización en su relación con las personas.

Chile podrá aprovechar varias de esas oportunidades y también generar otras

Pero, también ellas representan riesgos importantes para los países y las personas: disminución del empleo en labores existentes y no generación oportuna de nuevas ocupaciones; pérdida de privacidad y de autonomía personal; aumento de cibercrimen; disminución de las soberanías nacionales.

Chile podrá abordar estos riesgos, detectándolos a tiempo, neutralizando o minimizando sus efectos.

El desafío para Chile y su población, así como para otros países, es aprovechar a tiempo las oportunidades y neutralizar los riesgos que generan la TD+I 4.0. Esto supone la gestión estratégica y táctica de la complejidad dinámica que se expresa en los sistemas tecno – sociales.

Chile puede abordar este desafío con responsabilidad e importantes probabilidades de éxito

Esto se fundamenta en: apalancar los avances que ha logrado hasta ahora; usar los propios problemas de desarrollo como fuente de nueva actividad económica y social habilitada y potenciada con TD+I 4.0, usando intensamente I+D e innovación; preparar y movilizar masivamente a las personas para su participación creativa en la digitalización del país a escala humana, su desarrollo sustentable y su propio bienestar y prosperidad; atraer capital humano desde diversos países; movilizar inversiones locales y extranjeras en torno a las oportunidades, en particular con proyección internacional (Chile como polo digital de desarrollo sustentable); lograr dominio avanzado en algunos ámbitos de TD+I 4.0 para disponer de ventajas competitivas y colaborar a nivel internacional (para ser actores relevantes en los ecosistemas y no solo usuarios).

La prospectiva realizada por la CPI muestra que Chile dispone de tres posibles evoluciones a consecuencia de TD+I 4.0

- Evolución “principalmente reactiva”, basada en problemas de la sociedad ya expresados. Básicamente corresponde al tipo de evolución predominante de Chile en la última década.
- Evolución “principalmente proactiva”, basada en problemas emergentes de la sociedad y oportunidades relevantes habilitadas por las tecnologías, los modelos de negocios y las políticas públicas que se están desplegando en el mundo. Básicamente corresponde al tipo de evolución resultante del Escenario I, con algunos componentes reactivos y otros componentes innovadores.
- Evolución “principalmente disruptiva”, basada en la reinterpretación de los problemas de la sociedad y en las oportunidades relevantes habilitadas por las nuevas tecnologías, los modelos de negocios y las políticas públicas que cambian drásticamente las organizaciones y dedicaciones humanas. Básicamente, esto corresponde al tipo de evolución resultante del Escenario II, con algunos componentes disruptivos y proactivos, y eventualmente pocos reactivos.

Estas evoluciones implican el desarrollo y articulación de: políticas públicas, actuaciones de empresas e instituciones, y sobre todo iniciativas constructivas, colaborativas e innovadoras de las personas en diferentes profesiones y ocupaciones; y el ejercicio del liderazgo.

La ingeniería tiene un rol protagónico para que esto sea posible

Considerando: aumento significativo del número de ingenieros/as competentes en los ámbitos digitales de especialización TD+I 4.0 y transversalmente en todas las otras actividades profesionales; aumento de la importancia del diseño integrado de las soluciones de ingeniería, con aportes de saberes de diversas profesiones (inter, multi y transdisciplina); pensamiento crítico e innovación; generación de soluciones de problemas complejos; uso intenso de las herramientas y plataformas digitales; articulación efectiva en redes y ecosistemas internacionales de colaboración; combinación simultánea de calidad y velocidad de la realización de obras y productos de ingeniería; profundización de la ética como medio clave para lograr los beneficios de las tecnologías neutralizando los efectos colaterales; empatía colaborativa y constructiva con los usuarios y ciudadanos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aceituno O., P., Solar O., P & Bitar, S. (2017). Estrategia Chile 2030—Aporte de ideas para una reflexión nacional. Consejo Chileno de Prospectiva y Estrategia.

Afolabi et al. (2018). Evolution of wireless networks technologies, history and emerging technology of 5G wireless network: A review. *Journal of Telecommunications System & Management*, 7(3): 1–5.

Asociación Chilena de Empresas de Tecnologías de Información A.G. (ACTI, 2020). Memoria ACTI 2020.

Autio, E., Nambisan, S., Thomas, L.D.W., & Wright, M. (2018). Digital affordances, spatial affordances, and the genesis of entrepreneurial ecosystems. *Strategic Entrepreneurship Journal*, 12(1): 72–95.

Agenda 2030 in Finland: Key questions and indicators of sustainable development <http://tietokayttoon.fi/>

Australian Government (2017). Innovation and Science. Australia 2030: prosperity through innovation. A plan for Australia to thrive in the global innovation race. Canberra. Australia.

Baldwin, C., & Woodard, C.J. (2019). The architecture of platforms: A unified view. In: Gawer A, ed. *Platforms, Markets and Innovation*. Edward Elgar Publishing Limited, Cheltenham: 19–44.

Barcevičius, E., Cibaitė, G., Codagnone, C., Gineikytė, V., Klimavičiūtė, L., Liva, G., Matulevič, L., Misuraca, G. & Vanini, I., Exploring Digital Government transformation in the EU, EUR 29987 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2019, ISBN 978-92-76-13299-8 (online), doi:10.2760/17207 (online), JRC118857.

Berryhill, J., T. Bourgery & A. Hanson (2018), “Blockchains Unchained: Blockchain Technology and its Use in the Public Sector”, OECD Working Papers on Public Governance, No. 28, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/3c32c429-en>.

Bertot, J., Jaeger, P., & Grimes, J. (2010). Using ICTs to create a culture of transparency: E-government and social media as openness and anti-corruption tools for societies. *Government Information Quarterly* 27 3 July 2010, pp. 264-271.

Blackburn, S., Freeland, M. & Gärtner, D. (2017). Digital Australia: seizing opportunities from the Fourth Industrial Revolution, McKinsey&Company.

Blomberg (2021). <https://www.bloomberg.com/graphics/2015-innovative-countries/>

Breslow, L. (2016a). MOOC research: Some of what we know and avenues for the future. From books to MOOCs, 57-67.

Breslow, L. (2016b). How massive open online courses (MOOCs) have been - a view from the US. <https://youtu.be/Uw9KjlygNEg>.

Bruneau M, Reinhorn AM (2007) “Exploring the concept of seismic resilience for acute care facilities”. *Earthquake Spectra* 23 (1): 41-62.

Brussevich, M., Dabla-Norris, E. & Khalid, S. (2019). Is technology widening the gender gap? Automation and the future of female employment. IMF Working Paper No. 19/91. IMF, Washington, DC.

CDIO (2021). - Proceedings of the 17th International CDIO Conference, hosted online, Chulalongkorn University & Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Bangkok, Thailand, June 21-23, 2021

Cimerallo, G P (2016) “Urban Resilience for Emergency Response and Recovery”, Springer.

Collela, P. (2017). Ushering in a better connected future. Ericsson. Available at: <https://www.ericsson.com/en/about-us/company-facts/ericsson-worldwide/india/authored-articles/ushering-in-a-better-connected-future>.

Compte D, A. Eisenberg, E. Lorca, M. Pardo, L. Ponce, R. Saragoni, S. K. Singh, G. Suarez (1986) “The 1985 Central Chile Earthquake: A repeat of Previous Earthquake in the Region? *Science*, 25 July 1986, Vol. 233. Pp. 449-453.

Consejo Minero, Fundación Chile & Corporación Alta Ley (2021). Roadmap: Digitalización para una Minería 4.0.

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo (2021). Base para la Estrategia Nacional CTCI 2021.

Consejo Nacional de Implementación Agenda 2030 (2020). Agenda 2030 en Chile— Sesión Red Nacional Agenda 2030.

Consejo de Políticas de Infraestructura (2018). Propuesta de Estrategia para la Transformación Digital de Chile—Una mirada 2030.

CORFO (2019). V Encuentro de Ingeniería 2030 – Innovación tecnológica para la sociedad <https://ingenieria2030.org>

Deloitte (2019). 5G: The new network arrives. Technology, Media and Telecommunications Predictions. [Deloitte Insights] Available at:

Deloitte (2022). Industry 4.0 technologies in companies. IoT: 5 trends to follow in 2022 – Which 4.0 strategies to adopt for more targeted investments?

DG Reform (2020). Towards an anticipatory innovation governance model in Finland. Directorate General for Structural Reform Support (DG REFORM) of the European Commission under the grant REFORM/IM2020/04.

Digital Transformation Agency. Australian Government. (2022). <https://www.dta.gov.au/> Electronics forum (2022). The IoT, AR and VR: A Fruitful Synergy in Industry 4.0 <http://electronicsforu.com>

Durrant-Whyte, H., Geargthy, R., Pujol, F., Sellschop, R. (2015). How digital innovation can improve mining productivity. McKinsey & Company, 2015.

Eggers, W. & Hurst, S. (2017). Delivering the digital state—What if state government services worked like Amazon? Deloitte Insights (online): https://www2.deloitte.com/content/dam/insights/us/articles/4226_Digital-state-govt-enterprise/DI_Delivering-the-digital-state.pdf

Eggers, W. & Viechnicki, P. (2017). How much time and money can AI save government? Deloitte Insights (online): <https://www.nextgov.com/ideas/2017/06/what-future-artificial-intelligence-government-could-look/138352/>

European Commission (2020). On Artificial Intelligence - A European approach to excellence and trust. [White paper] Brussels.

European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions. Eurofound, (2018). Automation, digitization and platforms: Implications for work and employment. Research report. Publications Office of the European Union, Luxembourg.

Eurostat (2014), Community Innovation Survey, <http://ec.europa.eu/eurostat/web/microdata/community-innovation-survey>

Fast, E., & Horvitz, E. (2017). Long-Term Trends in the Public Perception of Artificial Intelligence. AAAI.

Jung, C., & Padman, R. (2015). Disruptive Digital Innovation in Healthcare Delivery: The Case for Patient Portals and Online Clinical Consultations.

Love-Koh J, Peel A, Rejon-Parrilla JC, Ennis K, Lovett R, Manca A, Chalkidou A, Wood H, & Taylor M. The Future of Precision Medicine: Potential Impacts for Health Technology Assessment (2018). *Pharmacoeconomics*. 2018 Dec;36(12):1439-1451. doi: 10.1007/s40273-018-0686-6. Erratum in: *Pharmacoeconomics*. 2018 Oct 26; PMID: 30003435; PMCID: PMC6244622.

Foresight (2019). Science & technology foresight, Inclusive Korea, Science and technology future vision, Challenges & Choices for Europe, Paradox of Progress. Global Issue, State of the futur. Korea.

Fundación Chile, Consejo Minero, Altaley. (2020). Roadmap-digitalización para una Minería 4.0 - 2020.

García Z., A., Iglesias, E., & Adamowicz, A. (2019). El impacto de la infraestructura digital en los Objetivos de Desarrollo Sostenible. Un estudio para países de América Latina y el Caribe. Copyright © 2019 Banco Interamericano de Desarrollo. GSMA. *Frontiers Economic*. New York, USA. www.iadb.org

Gartner (2020). Gartner Identifies Five Emerging Trends That Will Drive Technology Innovation for the Next Decade. [Press release]. <https://www.gartner.com/en/newsroom/press-releases/2020-08-18-gartner-identifies-five-emerging-trends-that-will-drive-technology-innovation-for-the-next-decade>.

Gartner (2021). 2021 Gartner® Market Guide for Technologies Supporting a Digital Twin of an Organization. <https://content.ardoq.com/gartner-market-guide-for-technologies-supporting-a-digital-twin-of-an-organization>.

Ghedin, G. (2013). Social media in South Korea: How Facebook won Cyworld. Digital in the Round. (Blog, 4 April). Available at: <http://www.digitalintheround.com/south-korea-cyworld-facebook/>.

Gillen, A.L., Grohs, J.R., Matusovich, H.M., & Kirk, G.R. (2021). A multiple case study of an interorganizational collaboration: Exploring the first year of an industry partnership focused on middle school engineering education. *The Research Journal for Engineering Education* (online): <https://doi.org/10.1002/jee.20403>

Gobierno de Chile (2015). Agenda Digital 2020—Chile Digital para Tod@s. (Hoy, “Desde una Agenda Digital a la Transformación Digital”). agendadigital.gob.cl/#/

Gobierno de Chile. (2021). Política Nacional Minera – PNM 2050, Disponible en <https://www.politicanacionalminera.cl/>
<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/pe/Documents/technology-media-telecommunications/5G%20The%20new%20network%20arrives.pdf>

Inter-American Development Bank (IDB), 2019. “The Future of Transport Services,” Discussion Paper IDB-DP-680, Tom Voegelé.

International Engineering Alliance IEA. (2021). Graduate attributes & professional competencies. <https://www.ieagrements.org/assets/Uploads/Documents/IEA-Graduate-Attributes-and-Professional-Competencies-2021.1-Sept-2021.pdf>

International Federation of Robotics (2018). World Robotics Report 2018. Frankfurt. Available at: <https://ifr.org/ifrpress-releases/news/global-industrial-robot-sales-doubled-over-the-past-five-years>.

ITU (2018). Assessing the economic impact of artificial intelligence. Issue Paper No.1, September. Available at: https://www.itu.int/dms_pub/itu-s/opb/gen/S-GEN-ISSUEPAPER-2018-1-PDF-E.pdf

Jang, E. (Nov. 10, 2021). Viewpoint: Can AI tutors help students learn? eSchool News. <https://www.eschoolnews.com/2021/11/10/viewpoint-can-ai-tutors-help-students-learn/>

KEIDANREN (Japan Business Federation (2021). Society 5.0. Co-creating the future. Keidanren Annual Report 2021. Japan. <https://www.keidanren.or.jp/>

Kennedy, Paul (2003). HACIA EL SIGLO XXI, Editorial Plaza y Janés, 2003, España, pp. 255-257.

Lagos R, M. Lafontaine, P. Bonelli, R. Boroschek, T. Guendelman, L. Massone, R. Saragoni, F. Rojas and F. Yañez (2020) “The quest for resilience: The Chilean practice of seismic design of reinforced concrete buildings”. *Earthquake Spectra*. November 2020.

Lewis, H. (2019) *Reinventing the Classroom, Rethinking Education*, (<https://youtu.be/tDMYR0zFvg0>)

McCarthy, J., Minsky, M.L., N Rochester, N., CE Shannon, CE. (2006). A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence, august 31, 1955. *AI magazine*, ojs.aaai.org

McKinsey Global Institute. (2015). Digital America: A tale of the haves and have mores.

Mazur, E. (2019). Peer Instruction for Active Learning (<https://youtu.be/Z9orbxoRofl>)

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, del Gobierno de Chile (2020). Política Nacional de Inteligencia artificial.

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (MinCTCI, 2020). https://www.minciencia.gob.cl/legacy-files/evaluacion_de_medio_termino_ingenieria_2030.pdf

Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación (MinCTCI, 2022). <https://observa.minciencia.gob.cl/>

Ministerio de Energía, (2021), Estrategia Nacional de Ectromovilidad. https://energia.gob.cl/sites/default/files/documentos/estrategia_nacional_de_electromovilidad_2021_0.pdf

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

Ministerio de Salud, (2018). Indicadores Básicos de Salud Chile.

Misuraca, G., Pasi, G. & Urzi Brancati, M.C. (2017). The potential and impact of ICT-enabled Social Innovation to promote social investment in the EU. No JRC108517, JRC Research Reports, Joint Research Centre (Seville site): <https://EconPapers.repec.org/RePEc:ipt:iptwpa:jrc108517>

Moguillansky, G. (2006). Australia y Nueva Zelandia: la innovación como eje de la competitividad. División de Comercio Internacional e Integración. Naciones Unidas. CEPAL. Chile.

Naciones Unidas (2020). Sustainable Development Goals Report. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/progress-report/>

OECD (2017). OECD Digital Economy Outlook 2017. OECD Publishing, Paris.

OECD (2019a). Data in the digital age. Paris. Available at: <https://www.oecd.org/going-digital/data-in-the-digital-age.pdf>.

OECD (2019b). Productivity growth in the digital age. Paris. Available at: <http://www.oecd.org/going-digital/productivitygrowth-in-the-digital-age.pdf>.

OECD (2019c). Measuring the Digital Transformation. A Roadmap for the Future. OECD Publishing, Paris.

OECD (2020a). White Paper: On Artificial Intelligence – A European Approach o excelence and trust. European Commission. Brussels 2020.

OECD (2020b). European Commission. CORDIS Lab. <http://data.europa.eu/euodp/es/data/dataset/cordisH2020projects>.

OECD (2020c). OECD Economic Surveys: Finland 2020, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/673aeb7f-en>

OECD (2020d). Smart Cities and Inclusive Growth. OECD – Ministry of Land, Infraestructura and Transport, Korea.

P. Universidad Católica de Chile (PUC-Chile, 2021). <https://admisionyregistros.uc.cl/alumnos/203-futuros-alumnos/admision-especial/talento-e-inclusion?start=6>

P. Universidad Católica de Chile (PUC-Chile, 2022). Nueva vía de admisión permitirá que más mujeres sigan carreras científicas en la UC. <https://ciencia2030.uc.cl/nueva-via-de-admision-permitira-que-mas-mujeres-sigan-carreras-cientificas-en-la-uc>

Raworth, Kate. Doughnut Economics: Seven Ways to Think Like a 21st-Century Economist. Oxford. 2017.

Royal Academy of Engineering RAE. (2016). Engineering and economic growth: a global view.

Ruiz-del-Solar, J. (2015). “Big data en Minería”, Serie de Estudios Sobre Minería, Tecnología y Sociedad, Beauchef Minería, Universidad de Chile, 2020.

Shen, C. & Pena-Mora, F. (2018). Blockchain for Cities—A Systematic Literature Review. IEEE Access (online): <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/8531608>

Schroeder, R (Jan. 5, 2022). Artificial Intelligence to Assist, Tutor, Teach and Assess in Higher Ed. Inside Higher Ed. <https://www.insidehighered.com/digital-learning/blogs/online-trending-now/artificial-intelligence-assist-tutor-teach-and-asses>

Standards Australia (2017). Industry 4.0: An Australian Perspective. Recommendations Report to Australian Government, Department of Industry, Innovation and Science, Standars Australia, March 2017).

SINGH, Ajit (1998): “Growth: Its Sources and Consequences”, Cap. 3 de ECONOMIC DYNAMISM IN THE ASIA-PACIFIC, Grahame Thompson Ed., Routledge, 1998, p. 57.

Tönurist, P. and A. Hanson (2020), “Anticipatory innovation governance: Shaping the future through proactive policy making”, OECD Working Papers on Public Governance, No. 44, OECD Publishing, Paris, <https://doi.org/10.1787/cce14d80-en>

Universidad de Chile (2021). Programa de Ingreso Prioritario de Equidad de Género (PEG). <https://ingenieria.uchile.cl/admision/ingresos-especiales/cupos-equidad-de-genero>

U. Arizona (2022). Innovating Medical Education through Clinical Simulation. Center for Simulation and Innovation. Phoenix. USA. [phoenixmed.arizona.edu > simcenter](http://phoenixmed.arizona.edu/simcenter).

UNCTAD. Digital Economy Report (2019). Value Creation and Capture: Implications for Developing Countries.

UNESCO, International Centre for Engineering Education

ICEE (2021a). Engineering for sustainable development: delivering on the Sustainable Development Goals.

United Nations (2021b). The Sustainable Development Goals (SDGS) in action.

Valto (2022). Strategy for Public Governance Renewal. Publikationsarkivet Valto. Finland. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi>

World Economic Forum. (2017). Digital Transformation Initiative: Mining and Metals Industry.

World Economic Forum - Accenture (2018), Digital Transformation Initiative. <http://reports.weforum.org/digital-transformation>

World Economic Forum, (2016). Digital Transformation Initiative: In collaboration with Accenture. Building the healthcare system of the future. June 2016.

GLOSARIO

El presente glosario ha sido preparado con el objeto de explicar algunos términos de uso común relacionados con la Transformación Digital (TD) e Industria 4.0, para facilitar la comprensión que del lector. Este glosario no pretende abordar todos los términos utilizados en esta industria sino más bien, ser una guía explicativa de algunos términos que se mencionan en el documento.

En el desarrollo de este documento se han utilizado referencias de diferentes fuentes, entre ellas: SPRI -Agencia Vasca de Desarrollo Empresarial, World Economic Forum, Manufacturing USA e IBM.

Analítica de datos (Data Analytics)

Es un proceso que se utiliza para examinar conjuntos de datos grandes y pequeños con diferentes propiedades con el objeto de extraer conclusiones de estos, las que suelen adoptar la forma de tendencias, patrones y estadísticas que ayudan a las organizaciones en sus procesos de toma de decisiones.

Aprendizaje Automático

Su objetivo es el desarrollo de técnicas y métodos que permitan a las máquinas aprender, simulando una de las principales capacidades humanas. El aprendizaje automático se apoya principalmente en técnicas de computación y de inteligencia artificial. Con él, la máquina es capaz de predecir qué es lo que va a suceder, en base al análisis de una gran cantidad de datos, aprendiendo de ellos y realizando predicciones.

Arduino

Es una plataforma de código abierto utilizada para la construcción de proyectos electrónicos. Consiste en una placa de circuito programable física o microcontrolador y una pieza de software o IDE que se ejecuta en el ordenador y que se usa para escribir y cargar códigos en la placa física.

Big Data

Comprende el análisis, administración y manipulación de grandes cantidades de datos de manera inteligente a través de modelos de descripción, predicción y optimización con el objetivo de tomar decisiones mejores y más efectivas.

Blockchain

Corresponden a sistemas criptográficos que gestionan y verifican los datos de transacciones de registro público. Esta tecnología es la base de nuevas formas de dinero virtual como Bitcoin y está siendo reconocida a nivel internacional como una de las innovaciones más disruptivas del siglo XXI; representa una transformación en la manera en la que realizamos transacciones en la actualidad. Esta tecnología permite registrar virtualmente todo lo que pueda ser expresado digitalmente como: certificados de nacimiento, títulos de propiedad, votos, cuentas financieras, datos de productos, fórmulas, contratos, de forma más rápida, segura y transparente que con

las alternativas tradicionales.

Impresión 3D

Es la fabricación de un producto tridimensional (3D) a partir de un modelo digital desarrollado en un computador. Es un proceso aditivo en el que diferentes múltiples capas de dibujos CAD (Computer Aided Design) se imprimen una tras otra para crear diferentes formas. Las industrias que utilizan impresoras 3D incluyen ingeniería, arquitectura, médica, diseño industrial, construcción y muchas otras.

Industria 4.0

Es una de las denominaciones con las que se conoce la manufactura avanzada, y que se proyecta a diversas industrias. El nombre evoca la idea de que las tecnologías digitales en que se fundamenta (internet, redes avanzadas, inteligencia artificial y analítica, realidad virtual y realidad aumentada, otras) conforman una cuarta revolución industrial basada en la integración de sistemas ciber-físicos y sociales.

Esta revolución ha ido precedida de una primera basada en el agua y en la energía de vapor, una segunda propiciada por la energía eléctrica que facilitó la división del trabajo y la producción en masa, y una tercera ligada a las tecnologías de la información y la consiguiente automatización de los procesos industriales.

Inteligencia artificial (IA)

Consiste en dotar a las máquinas y dispositivos de cierto grado de inteligencia para reaccionar a ciertos tipos de estímulos de una manera parecida a la de un ser humano, y haciéndolas capaces de generar decisiones distintas dependiendo del contexto que se les presente.

Internet de las Cosas (IoT)

El Internet de las Cosas consiste en objetos físicos que pueden comunicarse entre sí a través de Internet. La conexión se realiza a través de microchips integrados que permiten un identificador único del dispositivo en la red.

Cloud computing

Es un paradigma que permite ofrecer servicios de computación a través de una red, que usualmente es Internet. Implica una descentralización de las capacidades. Hace posible el flujo masivo de datos y su análisis con una flexibilidad sin precedentes.

Ciberseguridad

En un entorno digitalizado la protección de cualquier información relevante para la empresa o ciberseguridad cobra cada vez más relevancia. La ciberseguridad es el conjunto de tecnologías y servicios que protegen a la empresa de los ataques o pérdidas de datos.

Computación en la nube (Cloud computing)

La nube es una plataforma compartida de recursos computacionales tales como servidores, almacenamiento y aplicaciones, que pueden ser utilizados a medida que se van necesitando y cuyo acceso es posible desde cualquier dispositivo móvil o fijo conectado a Internet.

Computación de borde (Edge computing)

El “edge” o “borde” es donde el mundo físico se encuentra con el mundo digital. En términos del Internet de las Cosas, el “edge” es donde los niveles de voltaje o corriente de un sensor o de una máquina se convierten en unos y ceros que una computadora usa para procesarlos.

Computación de niebla (Fog computing)

Esta tecnología toma la analogía de la nube y la acerca al mundo físico: la niebla. Por lo general, el cómputo de niebla es el uso de la potencia de cómputo en un nodo de niebla o en la puerta de enlace del Internet de las Cosas (IoT) para filtrar o procesar datos y luego enviar solo los datos requeridos a la nube.

Computación cuántica

La computación cuántica, a diferencia de la computación clásica que se basa en dos estados 1 o en 0, pero solo uno vez, se basa en cúbits, una combinación de unos y ceros en la que los bits pueden tener dos estados 1 y 0 a la vez, lo que da lugar a nuevas puertas lógicas que hacen posibles nuevos algoritmos. Con ello se hace posible resolver problemas que hasta el momento no han podido ser resueltos.

Computación de alto rendimiento

La computación de alto rendimiento (HPC) es la capacidad de procesar datos y realizar cálculos complejos a velocidades muy altas. Un computador portátil o de escritorio con un procesador de 3 GHz puede realizar unos 3.000 millones de cálculos por segundo; en comparación, las soluciones HPC pueden realizar cuatrillones de cálculos por segundo.

Fábrica Inteligente

Una fábrica inteligente es una instalación de producción en la que sus procesos se optimizan automáticamente y se administran a través de las máquinas de la red. Las herramientas individuales contienen, por ejemplo, chips IFR, información que pueden leer otras máquinas.

Fabricación digital

Tiene como objetivo mejorar el diseño del producto y los procesos de fabricación mediante la integración de los sistemas de tecnología digital en toda la cadena de suministro. La fabricación digital se centra en reducir el tiempo y el costo de la fabricación al integrar y utilizar datos de diseño, producción y uso del producto; digitalización de las operaciones de fabricación para mejorar el rendimiento de productos, procesos y el rendimiento empresarial, y herramientas para el modelado y análisis avanzado, a lo largo del ciclo de vida del producto.

Fabricación flexible

Implica un cambio de paradigma de fabricación que pasa de la producción masiva a la personalización, logrando que el sistema productivo pueda cambiar en función de las circunstancias. El diseño de la fábrica se hace a partir del producto y no al revés.

Framework

Entorno de trabajo o marco de trabajo que es un conjunto estandarizado de conceptos, prácticas y criterios para enfocar un tipo de problemática particular que sirve como referencia, para enfrentar y resolver problemas de índole similar.

Gemelo digital

Este concepto se refiere a la creación de copias virtuales de objetos/servicios físicos, al intercambio de datos entre ambos y a la simulación completa del diseño, producción y uso futuro del producto.

Machine learning

Consiste en algoritmos y modelos estadísticos que permiten a sistemas computacionales aprender y realizar tareas específicas sin necesidad de recibir instrucciones adicionales.

El aprendizaje automático se ha comenzado a adoptar en una variedad de sectores, como el financiero, la agricultura, marketing, juegos de video, entre otros.

Máquina a máquina (M2M)

Este es término amplio que se puede utilizar para describir cualquier tecnología que permita a los dispositivos en red intercambiar información y realizar acciones sin ayuda de los seres humanos. La comunicación M2M se usa en monitoreo remoto. Es un aspecto importante de la gestión de almacenes, control remoto, robótica, control de tráfico.

MOOC

Es el acrónimo en inglés de Massive Online Open Courses (o Cursos online masivos y abiertos). Es decir, se trata de cursos a distancia, accesibles por internet al que se puede registrar cualquier persona y no tiene límite de participantes.

Realidad aumentada

Es una tecnología de inmersión parcial con la cual podemos ver a través de dispositivos electrónicos agregando una capa de información o simulación sobre el mundo real. Tiene usos muy variados como demostraciones de objetos, interacción con tiendas, juegos, operaciones industriales y prácticas en el área médica.

Realidad virtual

La realidad virtual permite al usuario introducirse por completo en un entorno de apariencia real pero generado por ordenador.

Reshoring

Se basa en retornar al país de origen los procesos productivos subcontratados en otros lugares del mundo (deslocalizados).

Robótica colaborativa

Es un sistema mediante el cual los robots colaboran con los humanos de alguna manera, ya sea como asistentes en una tarea o proceso, o como guías.

A diferencia de los robots autónomos, que trabajan en gran medida solos y sin supervisión, los robots colaborativos o cobots están programados y diseñados para funcionar con instrucción humana, o respondiendo a los comportamientos y acciones humanas.

Smart city

Una ciudad inteligente o Smart City es un municipio o ciudad que utiliza tecnologías de información y comunicación para aumentar la eficiencia operativa, compartir información con el público y mejorar tanto la calidad de los servicios del gobierno y de los diversos actores como el bienestar de los ciudadanos.

Transformación digital

Es la integración de la tecnología digital en todas las áreas de una empresa o institución, cambiando fundamentalmente la forma en que opera y brinda valor a las personas.

Virtualización/Simulación

Consiste en realizar una simulación virtual de algún proceso de producción o de una cadena de suministro, adelantándonos así a cualquier falla o error de los procesos para poder tomar medidas preventivas en lugar de lidiar con fallas y catástrofes posteriores.

Wearable

Término general para la electrónica que se puede usar en el cuerpo, ya sea como accesorio o como parte del material utilizado en la ropa. Una de las principales características de esta tecnología es su capacidad para conectarse a Internet, lo que permite el intercambio de datos entre una red y el dispositivo.

ANEXOS

Anexo A. Información completa de Escenarios, usando *framework* y esquemas

En este Anexo se presenta el *framework* utilizado para apoyar la realización de la prospectiva homogéneamente entre ámbitos / sectores, considerando: lo que ya está expresado en Chile y que se prospecta continuar, aumentar,

mejorar, potenciar, disminuir o eliminar; lo que ya está expresado en algún otro país y que se prospecta para Chile, en algún escenario; y lo que no está expresado en parte alguna y que se prospecta para Chile.

Framework Síntesis Escenarios 2030						
Ámbito o Sector⁸⁷: Energía, Minería,..., Educación						
Factores	Escenario I			Escenario II		
	Retiro, disminución	Mejora, aumento	Nuevo, emerge	Retiro, disminución	Mejora, aumento	Nuevo, emerge
Actividad B2B⁸⁸						
Productos, servicios, soluciones						
Modelos operacionales (procesos) y de negocios						
Resultados e impactos transformacionales						
Impacto cuantitativo de la transformación ⁸⁹						

⁸⁷ Los equipos que elaboraron los escenarios I y II para un ámbito o sector realizaron la síntesis de éste en base a este framework. En la CPI se presentaron los resultados de cada ámbito y se procedió a realizar una síntesis general.

⁸⁸ Las actividades o industrias están separadas en dos categorías para realizar un mejor análisis de la Transformación Digital e Industria 4.0: B2B y B2C.

⁸⁹ Como estimación del impacto cuantitativo se tuvieron como referencia dos cifras netas (aumentos-pérdidas): a) monto estimado en millones de US\$ del impacto esperado en el PIB del país; b) empleo. Para ello, se consideraron referencias internacionales que han hecho estimaciones (por ejemplo, WEF) y sus proyecciones a Chile. En algunos casos, se usaron otros datos como los de los Programas Estratégicos de CORFO.

Relevancia de Tecnologías⁹⁰		
IoT		
Analítica – IA		
RV – RA		
Robótica		
Drones		
Vehículos autónomos		
Blockchain		
Ciberseguridad		
Diseño y simulación digital		
HPC		
Plataformas digitales: SaaS, FaaS, y otras		
Otras tecnologías digitales ⁹¹		
Tecnologías no digitales relevantes para el ámbito ⁹²		

⁹⁰ Se calificarán cada una de las tecnologías señaladas con un nivel de Relevancia para el Ámbito / Sector analizado. Escala: 1: sin relevancia, 2: poco relevante, 3: medianamente relevante, 4: relevante, 5: muy relevante.

⁹¹ Se agregaron otras tecnologías digitales que son relevantes para un ámbito / sector y se calificaron.

⁹² Se indicaron las tecnologías diferentes a las digitales que son relevantes en la transformación de un sector o ámbito. Por ejemplo: tecnología de hidrógeno en energía; nano materiales en industria materiales; otras.

Actividad B2C⁹³						
Productos, servicios, soluciones						
Modelos operacionales (procesos) y de negocios						
Resultados e impactos transformacionales						
Impacto cuantitativo de la transformación ⁹⁴						
Relevancia de Tecnologías⁹⁵						
IoT						
Analítica – IA						
RV – RA						
Robótica						
Drones						
Vehículos autónomos						

⁹³ Ídem obs 1.

⁹⁴ Ídem obs 2.

Blockchain		
Ciberseguridad		
Diseño y simulación digital		
HPC		
Plataformas digitales: SaaS, FaaS, y otras		
Otras tecnologías digitales ⁹⁶		
Tecnologías no digitales relevantes para el ámbito ⁹⁷		

Los informes prospectivos para cada sector / ámbito - basados en este *framework* – pueden ser solicitados, para fines académicos, al Instituto de Ingenieros de Chile.

⁹⁵ Idem obs 3.

⁹⁶ Se agregaron otras tecnologías digitales que son relevantes para un ámbito / sector y se calificaron.

⁹⁷ Se indicaron las tecnologías diferentes a las digitales que son relevantes en la transformación de un sector o ámbito. Por ejemplo: tecnología de hidrógeno en energía; nano materiales en industria materiales; otras.

Anexo B. Relación de presentaciones realizadas en la CPI

En este Anexo se presenta la relación de las presentaciones realizadas en las diferentes reuniones de la CPI.

Nombre	Presentador	Fecha
Tendencias mundiales y drivers	Sergio Bitar	Abril 2019
Transformación Digital e Industria 4.0 en el DCC de la PUC-Chile	Yadran Eterovic	Agosto 2019
Synopsys en Chile	Victor Grimblatt	Junio 2019
Centro para la Manufactura Avanzada (CMA)	Pablo Aqueveque	Junio 2019
REUNA	Paola Arellano	Junio 2019
Visión de Futuro de la Ingeniería y de los Ingenieros/as en Chile	Juan Carlos Barros	Julio 2019
Pensemos el futuro	Cristian Hermansen	Agosto de 2019
Desarrollos tecnológicos en la Universidad	Felisa Córdova	2019
Minería y tecnología	Javier Ruiz del Solar	2019
SONDA: Transformación Digital	José Orlandini	2019
Manufactura Avanzada	Jorge Yutronic	2019
Optimisa	Alfredo Piquer	2019
Infraestructura Digital de Telecomunicación – IDT	Paola Arellano	Junio de 2021

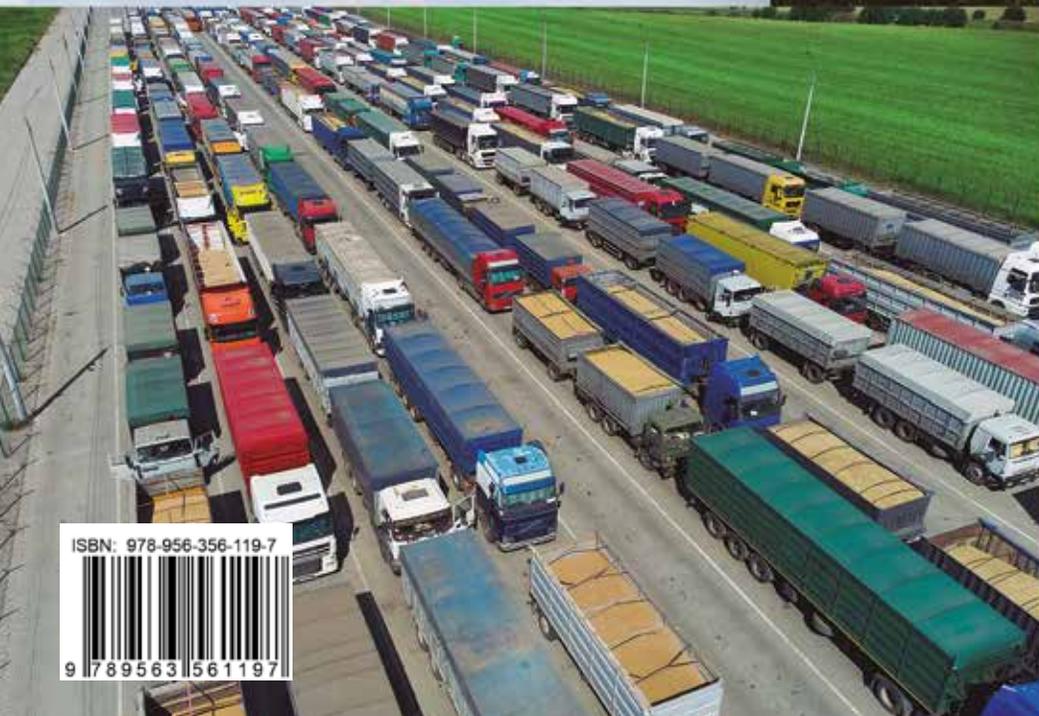
Este libro, que fue editado por el Instituto de Ingenieros y contó con el apoyo de la Universidad Técnica Federico Santa María, se terminó de imprimir en julio de 2023 en Salesianos Impresores S.A. Santiago, Chile



UNIVERSIDAD TECNICA
FEDERICO SANTA MARIA



INSTITUTO DE INGENIEROS
CHILE



ISBN: 978-956-356-119-7



9 789563 561197