

CIENCIA, TECNOLOGÍA, CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN PARA CHILE

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología,
Conocimiento e Innovación para el Desarrollo

2019

Consejeros:

Álvaro Fischer Abeliuk, Presidente

Claudia Bobadilla Ferrer

Juan Carlos de La Llera Martín

Rodrigo Jordán Fuchs

Bárbara Saavedra Pérez

Equipo de la Secretaría Ejecutiva que participó en este documento:

Katherine Villarroel G., Secretaria Ejecutiva

Jaime Álvarez G.

Natalia Mackenzie F.

María José Menéndez B.

Paulina Peña R.

Rodrigo Quintana C.

Soledad Quiroz V.

María Soledad Ugarte M.

Virginia Herrera C.

Oriana Avilés M.



Esta obra está licenciada bajo la Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visite <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>.

Usted es libre de copiar, distribuir la obra en cualquier medio o formato. Todo ello a condición de le dé el crédito a esta obra de manera adecuada, proporcionando un enlace a la licencia, e indicando si se han realizado cambios. Puede hacerlo de cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo del licenciente.

Además, de que el material no se use con propósitos comerciales y no se produzcan obras derivadas sobre la obra original.

CONTENIDO

Prefacio	7
PARTE I. CIENCIA, TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN Y EMPRENDIMIENTO: UNA ESTRATEGIA Y UN RELATO	9
Resumen	11
Capítulo 1. Marco Conceptual y Estrategia	13
Capítulo 2. Un Relato para la Estrategia	21
Capítulo 3. Desafíos País: Soluciones para el Mundo	29
PARTE II. CONTEXTO PARA LA REFLEXIÓN	37
Capítulo 1. De la Competitividad al Desarrollo: 12 años de Trayectoria del Consejo	39
Capítulo 2. Rol de la Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación en la Sociedad: Políticas, Educación y Ciudadanía	49
Capítulo 3. Anticipándose al Futuro: Megatendencias y Disrupciones Tecnológicas	63
Capítulo 4. Radiografía de la CTCI en algunas Cifras	83

PREFACIO

El Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo (CNCTCID), creado durante el año 2019 como parte de la institucionalidad que surge de la instauración del Ministerio de CTCI, comenzó a funcionar en agosto de este año. Se trata de una fase transitoria, hasta que se formalice su conformación con 14 Consejeros (actualmente son 4) a comienzos de 2020. Durante esta primera fase, el Consejo se propuso elaborar este “White Paper” sobre CTCI para Chile, como una etapa previa a la preparación y proposición al Presidente de la República de una estrategia sobre la materia, una vez que esté funcionando en régimen.

El momento en que este documento fue elaborado —el segundo semestre de 2019, y, en particular, su mes de octubre— será recordado por la historia como aquel en que el país fue remecido en sus cimientos e impulsado hacia nuevos horizontes por multitudinarias movilizaciones ciudadanas. Estas buscaban corregir el rumbo seguido hasta ese momento, para tratar de encontrar uno que interprete mejor sus anhelos y aspiraciones.

Como todo remezón de características tan profundas, este ha abierto esperanzas, ha concitado dudas, ha generado miedos y ha tensionado la convivencia. Los actos de inusitada violencia de pequeños grupos que han empañado esa búsqueda de más justicia no han logrado, sin embargo, quebrar la voluntad de la mayoría por introducir correcciones en la búsqueda del camino al desarrollo.

En efecto, en medio de este proceso, el Parlamento y el Gobierno, desde sus distintas ópticas, están diseñando un camino institucional que incluye una nueva Constitución y una Agenda Social, indicativas de que más allá de las dificultades, el país es capaz de mantener la mirada en lo fundamental: la búsqueda de acuerdos, la preservación de la convivencia pacífica y el establecimiento de un nuevo orden que permita un mejor desenvolvimiento de la vida ciudadana. Nuestro país, a pesar de todas las críticas recibidas en estas semanas, había logrado importantes avances sociales en los últimos 30 años de vida democrática. Ahora necesita corregir sus errores y consolidar sus logros.

La propuesta elaborada, y que a continuación se presenta, está construida con una mirada optimista respecto del futuro. Ese optimismo se basa en que las tensiones, dolores y angustias sufridas por los chilenos y chilenas en este período, serán recompensadas si mantenemos la sana madurez que utilizamos para superar los enormes problemas vividos en el último tercio del siglo pasado y que nos permitió, en muchos aspectos, instalarnos a la vanguardia de nuestra región. Es la misma madurez que requiere nuestro país para enfrentar aquellos problemas donde no ha tenido éxito, y que están en la base de este inmenso remezón. Para ello, deberemos utilizar una sabia mezcla de concordia y cuidadosa elección de los mejores caminos disponibles, con trabajo, ahínco y perseverancia.

Confiamos en que el país superará esta coyuntura, tomando el camino que su gente decida, para el cual la CTCI será una parte fundamental de la estrategia de desarrollo requerida para transitar la senda de progreso que la ciudadanía anhela.

Diciembre 2019

PARTE I

**CIENCIA, TECNOLOGÍA, INNOVACIÓN Y
EMPRESARIADO:**

UNA ESTRATEGIA Y UN RELATO

RESUMEN

Para convertirse en un país plenamente desarrollado, Chile requerirá dar un crucial y decidido impulso a la ciencia, la tecnología y la innovación, procurando además interconectarlas entre sí y, adicionalmente, ligarlas con el emprendimiento. Es la única manera de participar de la sociedad del conocimiento y poder recibir la abundancia de sus frutos. Resignarse a ser solo un espectador nos relegará a una condición secundaria, como nos ocurrió cuando dejamos pasar la oportunidad de incorporarnos con fuerza a la revolución industrial, o más recientemente a la convergencia que ocurrió entre la física nuclear, la ingeniería y el desarrollo digital.

Desarrollar una estrategia para lograr lo anterior, precisa de la generación de un ecosistema que cuente con una estructura adecuada, con una bien diseñada institucionalidad que le confiera a ese propósito un horizonte de futuro, que fortalezca y conecte piezas claves en los espacios de ciencia, tecnología, conocimiento, innovación y emprendimiento. A su vez, es importante contar con una ciudadanía que tenga la convicción de ello, motivada por un relato atractivo, creíble y alcanzable, que muestre frutos tangibles, y ayude a visibilizar la virtuosa trama ecosistémica y su aporte al país. Así se logrará incorporar esa temática al debate social, y la clase política tendrá los incentivos necesarios para concentrar esfuerzos en esa dirección. En este documento se propone sustentar ese empeño en un relato que la acompañe, basado en una moderna imagen científico-tecnológica del país, que apoye la implementación exitosa de esa agenda.

Este documento, preparado por el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo, tiene dos partes. La primera de ellas está orientada a proponer las bases de una estrategia y un relato, fundamentales para insertar estas actividades en el país con la fuerza que la sociedad chilena requiere para alcanzar su desarrollo integral. Ello resulta especialmente necesario, en momentos en que el país se encuentra tensionado internamente y busca encontrar una nueva fórmula para continuar su desarrollo. La segunda parte, incorpora antecedentes y datos que enriquecen y complementan el planteamiento ofrecido en la primera, preparados por el grupo de trabajo de la Secretaría Ejecutiva del Consejo, constituyendo ambos un todo coherente que abra una conversación crucial para trazar un mejor camino para Chile.

CAPÍTULO 1

MARCO CONCEPTUAL Y ESTRATEGIA

1. Un Arpeggio Decisivo para el Desarrollo del País

La reciente creación del Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación hace pertinente reflexionar respecto del sentido que esas actividades tienen para el desarrollo del país, de discutir la manera en que deban organizarse para obtener los resultados esperados, y de proponer el relato que convoque a la ciudadanía en torno a su importancia.

La humanidad se dirige de manera inexorable hacia la **sociedad del conocimiento**. Un factor clave para mejorar las condiciones de vida de la población, satisfacer sus aspiraciones, y proveer de recursos al Estado para desarrollar de mejor manera su labor de integración e inclusión social, es la **creación de valor**, entendido en sus diversas acepciones. En la sociedad del conocimiento, la creación de valor se basa en la convergencia de ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento. La **ciencia crea conocimiento**¹, la **tecnología lo aplica**, la **innovación genera valor** a partir de ellas, y el **emprendimiento empaqueta e implementa productivamente todo lo anterior**, en una retroalimentación virtuosa que impulsa el progreso de la sociedad. Estas cuatro actividades actúan como un arpeggio, esas cuatro notas musicales que suenan armónicas en cualquier orden en que se toquen.

Así como la **ciencia** cuántica permitió la aparición de la **tecnología** de los chips de circuitos integrados, que dio lugar a la **innovación** de los smartphones, implementados en **emprendimientos** como el de Steve Jobs y Apple, siguiendo el orden canónico de ciencia-tecnología-innovación-emprendimiento, en 1962 el presidente de Estados

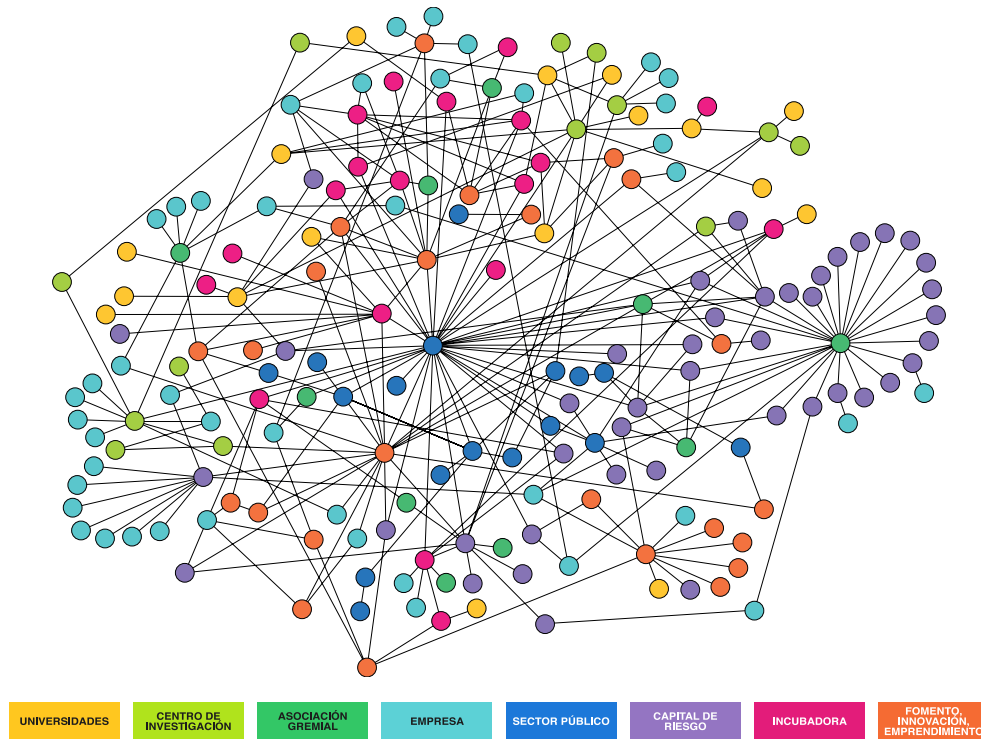
¹ En este documento, se debe entender por “ciencia” a las disciplinas que estudian las regularidades de los fenómenos que nos rodean, mediante un método, consistente en la formulación de hipótesis explicativas que se someten a la prueba de la evidencia empírica y a la posterior aprobación de los pares. Los fenómenos a considerar pueden ser naturales, biológicos y/o sociales, incluyendo entre estos últimos a las diversas manifestaciones del comportamiento humano.

Unidos J. F. Kennedy cambió este orden. Propuso a su país un **emprendimiento** —llevar una tripulación humana a la Luna antes que finalizara la década— lo que obligó a desarrollar la **tecnología** de cohetes fuera de la atmósfera, que indujo el desarrollo de la **ciencia** de los combustibles sólidos para lograrlo, todo lo cual se tradujo en las enormes **innovaciones** asociadas a la construcción del módulo que finalmente “alunizó” en ella. Lo interesante es notar que cualquiera de esos órdenes, el canónico y el modificado, puede dar buenos resultados, es decir, “suena” igualmente armónico.

Para que este arpegio rinda los frutos que de él se esperan, es necesario seguir la estrategia apropiada. Esta se basa en construir y desplegar un gran ecosistema, consistente en una gran diversidad de nodos que propicien la excelencia y estimulen la participación y creatividad de distintos actores, para desarrollar las cuatro notas del arpegio —ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento—. Asimismo, se requiere generar una vasta y creciente red compleja de conexiones e interdependencias entre ellos, que les permita interactuar entre sí con gran fluidez, ensayando de entre la explosión combinatoria de aquellas posibles conexiones, los intercambios que entrelacen y enriquezcan las actividades de unos con las de otros, de modo que el resultado final sea la creación de valor para la sociedad.

En Chile, estos nodos, entre muchos otros, están constituidos por las universidades e institutos técnico-profesionales, los institutos y centros de investigación, centros de I+D (centros científico-tecnológico de excelencia —basales, centros de investigación en áreas prioritarias— Fondap, centros regionales de desarrollo científico-tecnológico, Institutos Milenio y Núcleos y Centros de Excelencia Internacional), los *maker space*, los *FabLab*, el nuevo Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación, la Fundación Chile, los Institutos Tecnológicos Públicos, los programas de apoyo a la investigación de Conicyt (o la nueva Agencia Nacional de Investigación y Desarrollo), los programas de apoyo tecnológico y de emprendimiento de Innova de Corfo, las empresas productivas con requerimientos tecnológicos, los capitalistas de riesgo y los emprendedores, además de aquellos nodos internacionales con los cuales una sociedad moderna y abierta está siempre en contacto.

REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE UN ECOSISTEMA



Elaboración Fundación Chile.

Este ecosistema opera de manera no lineal, por lo que no resulta obvio anticipar la forma en que los insumos que alimentan un nodo se traducen posteriormente en algún producto en otro nodo, ni cómo esos productos se transforman luego en resultados tangibles, ni menos de qué manera todo ello impactará en la sociedad y viceversa. Esa dificultad de anticipar resultados e impactos se debe a que el ecosistema no funciona como un mercado tradicional de transacción competitiva de bienes y servicios.

Siguiendo la interpretación de Friedrich Hayek, los mercados competitivos tradicionales operan bajo un esquema con derechos de propiedad bien establecidos, en un ambiente sin (o con pocas) externalidades, en el que la información de las preferencias de consumo está dispersa entre muchos actores, sin que nadie las conozca completamente, y en el que el sistema de precios es el que aglutina esa información dispersa para encontrar los equilibrios y generar las transacciones que maximizan el beneficio social. Más aun, las partes realizan una transacción comercial de bienes o servicios porque advierten

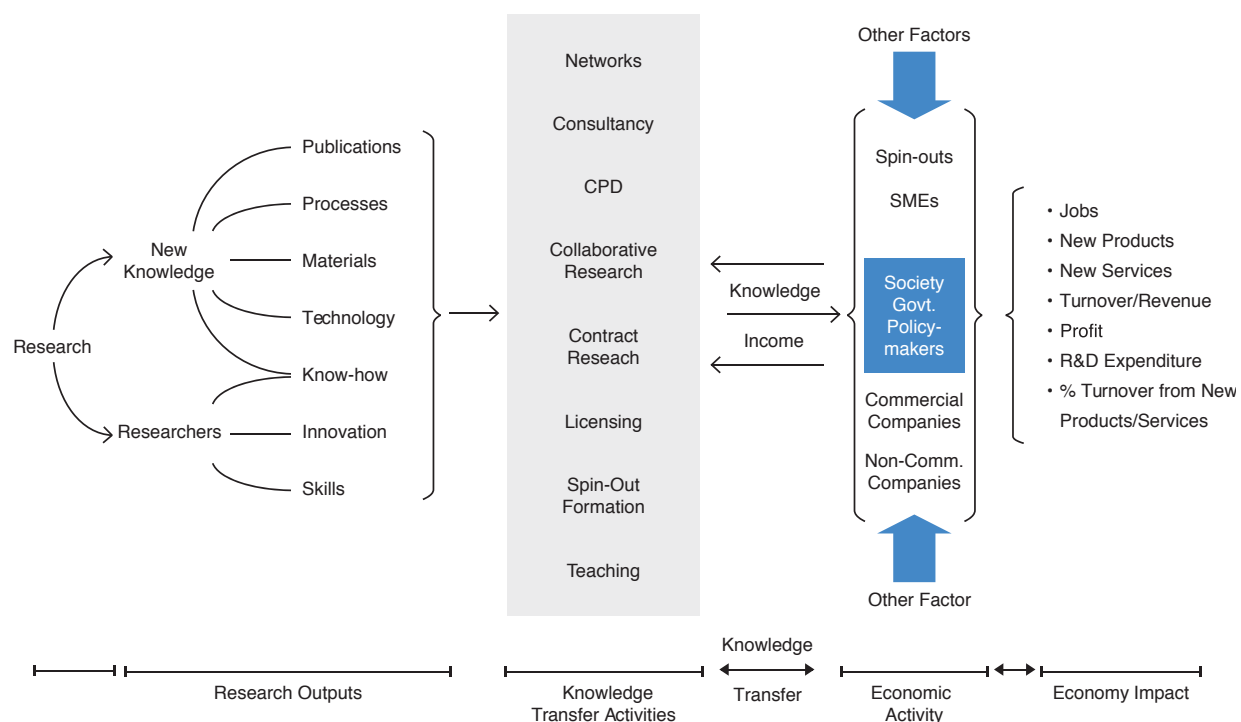
la ganancia que obtienen de ella: el comprador, porque recibe un bien con un valor subjetivo mayor que el precio pagado, y el vendedor porque recibe un precio mayor que el costo que le implicó producirlo. Ambas partes ganan, y cada transacción es analizada por los actores desde esa perspectiva.

El ecosistema CTCI opera de un modo sutilmente distinto, ya que lo que se transfiere, modifica o intercambia es **conocimiento**. Desde quienes lo crean hacia quienes lo aplican, o desde quienes transforman lo anterior en innovaciones que crean valor, hacia los emprendedores, o desde estos últimos hacia quienes lo crean, a partir de nuevas preguntas que ese emprendimiento plantea. Dicho de modo más general, lo que un ecosistema procura generar, son intercambios de conocimiento en las más diversas combinaciones posibles, entre el contenido de sus nodos y las diferentes intenciones de sus actores.

Pero, aunque al igual que en el mercado, la información del ecosistema está dispersa entre muchos actores, en este último, al revés de los mercados, no hay derechos de propiedad bien establecidos. Las patentes solo aparecen en las etapas más tardías del proceso, y eso está ocurriendo cada vez con menor frecuencia, amagada su conveniencia por la velocidad con que el conocimiento se genera. La gran cantidad de externalidades positivas que produce el ecosistema —una de las razones que justifica los subsidios que se le otorgan— impide que haya precios de transacción de ese conocimiento, ni formas de apropiarlo que den lugar a un sistema de precios. Por esa razón, el Estado tiene la misión de propiciar un ecosistema que dé fluidez a la transmisión de conocimiento, sin que aquellos que participen puedan anticipar el valor que surgirá de ella.

De ahí que el intercambio de conocimiento en el ecosistema consista, en definitiva, en apuestas riesgosas. Por eso, el Estado debe concentrarse en que sus aportes se entreguen a través de mecanismos que aseguren la asignación en base a mérito de forma transparente, para minimizar el eventual derroche que ocurriría si se procediera con laxitud. Con todo, no hay un camino claro a seguir para lograr los objetivos, ni es posible anticipar cuáles serán los resultados específicos que ello entregue, ni tampoco determinar cuándo, de qué manera, ni con qué impacto, ello ocurrirá². Solo se puede construir el sustrato más adecuado posible para este ecosistema, que permita maximizar su probabilidad de éxito.

2 UNICO COMMERCIALIZING UK RESEARCH, 2008. Metrics for the Evaluation of Knowledge Transfer Activities at Universities. S.l.



Fuente: UNICO COMMERCIALIZING UK RESEARCH, 2008. Metrics for the Evaluation of Knowledge Transfer Activities at Universities. S.I.

Más aun, ese esfuerzo del Estado —importante, en muchos casos anterior y distinto de aquel que le corresponde al sector privado en estas materias— debe ser persistente y efectuado con convicción, orientado a incentivar la creación de esos nodos, a financiarlos mediante diversos mecanismos que aseguren una sana competencia y calidad, y que faciliten las conexiones entre ellos. Para eso, el país necesita contar con capital humano, tanto científico como tecnológico, capaz de ubicarse en las distintas opciones que ofrece el ecosistema: investigadores y tecnólogos motivados por la curiosidad, otros por aplicaciones prácticas y otros por innovaciones, algunos trabajando en empresas productivas, otros en difusión social y otros en la interfase entre las distintas etapas. Cada uno impulsado por sus propias motivaciones y mejores capacidades, de modo que la interacción enriquecida por esa variedad de miradas cree el valor y el impacto que la sociedad espera de esa apuesta. No hay que escoger entre ciencia pura o aplicada, entre divulgadores o traductores, pues todos son imprescindibles al proceso. La combinación adecuada es una materia que debe estar bajo constante examen y constituye una variable política sometida a permanente mejoría.

Los estudios que se han hecho en los países desarrollados³ indican que estos procesos toman tiempo y que no son lineales. Requieren de perseverancia y operan por la acumulación de conocimiento, calidad de los mecanismos de asignación de recursos, densidad de los nodos, fluidez y riqueza en sus conexiones. Sus primeros resultados aparecen lentamente en el tiempo, y solo después de cruzar un cierto umbral crítico o “tipping point”, es que surgen los impactos esperados —de ahí que se insista en la persistencia y convicción que evite claudicar antes de tiempo—. No hay “varitas mágicas”, no hay “balas de plata”, solo hay trabajo, perseverancia, disposición y disciplina a invertir y orquestar de parte del Estado, además de buenas instituciones que otorguen libertad y flexibilidad de acción a distintos agentes privados para que se incorporen a ese intercambio y completen su parte del trabajo.

Pero incluso la participación del sector privado también está sujeta a un proceso de acumulación y “tipping points” similar al anterior. Por ello, en muchos casos no se puede esperar una explosión de inversión privada si antes el Estado no ha desarrollado el ecosistema recién descrito, de modo que el estatus científico-tecnológico del país tenga un nivel de maduración adecuado, y que sea eso lo que permita la aparición de una industria de base tecnológica más robusta, que es la que se verá en la necesidad de invertir en ciencia, tecnología e innovación de manera más intensiva, retroalimentado todo el sistema y llevándolo a nuevas alturas. Es lo que ha ocurrido en Israel, Holanda, o Singapur. En efecto, una masa crítica de empresas participantes y suficientes ejemplos exitosos son los que pueden impulsar el involucramiento privado en el ecosistema crezca de manera explosiva, y que los resultados e impactos se aprecien socialmente de manera más nítida.

En resumen, se trata de una estrategia de largo plazo, en la que el país debe embarcarse sin claudicaciones, como una gran política de Estado. No hacerlo es renunciar a ser parte de la sociedad del futuro y quedar rezagados respecto de los países que sí lo están haciendo.

3 STEVENS, J., A. y KATO, K., 2013. Technology Transfer’s Twenty-Five Percent Rule. *les Nouvelles-The journal of the Licensing Executives Society International*, vol. 3, pp. 44-51.

FRASER, J., 2009. Communicating the Full Value of Academic Technology Transfer: Some Lessons Learned. *Tomorrow’s Technology Transfer*, vol. 1, no. 1, pp. 9-20.

LORI, P., 2000. Measuring Product Development Outcomes of Patent Licensing at M.I.T. AAAS Annual Meeting, Session 4201. Power point. Washington DC

Eso requiere que no solo los gobiernos tengan la convicción de ese camino, sino también la población. Solo de esa forma el sector político sentirá la fuerza del impulso ciudadano, y estará dispuesto a destinar recursos, atención y la convicción intertemporal necesaria para que el proceso descrito ocurra y pueda ser exitoso.

Chile tiene los elementos necesarios para que ese discurso interpele a la ciudadanía. A continuación mencionaremos los más importantes.

CAPÍTULO 2

UN RELATO PARA LA ESTRATEGIA

1. Chile Atractor y Generador de Ciencia y Tecnología de Clase Mundial

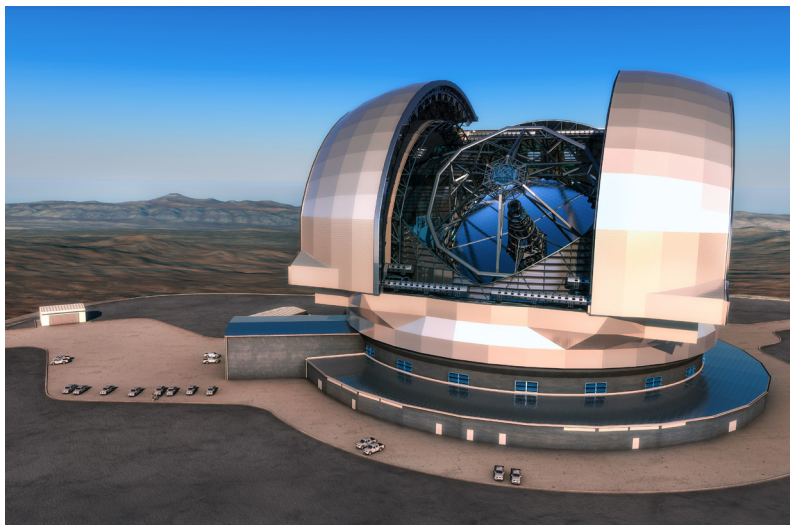
Contar con la convicción ciudadana necesaria para que el Ejecutivo y el Parlamento destinen recursos y esfuerzos a la tarea recién enunciada, requiere de un relato. A continuación se propone uno.

Chile es un territorio que se encuentra ubicado en un extremo del globo, y a su vez, los dos extremos de su territorio, el norte y el sur, son únicos e irrepetibles atractores naturales para desarrollar investigación científico-tecnológica de clase mundial, la que, obviamente, requiere realizarse en sintonía con las comunidades que los habitan.

El norte posee los mejores cielos del mundo para la exploración astronómica, el desierto de Atacama presenta condiciones extremas, ideales para estudiar la evolución y adaptación de organismos extremófilos y ese mismo desierto es, además, uno de los mejores lugares para generar energía a partir de la radiación solar, la más probable principal fuente de energía del siglo XXI.

El extremo sur, por su parte, posee ecosistemas marítimo-terrestres de carácter único, cruciales para la regulación de la temperatura del globo, gran parte de los cuales ya han sido protegidos por el Estado chileno para la investigación científica, ya sea de manera exclusiva o con opción para desarrollar su explotación productiva controlada. Posee un potencial de más de 14.000 MW solo en las corrientes que van y vienen dos veces por día en la Primera Angostura del Estrecho de Magallanes. Es, asimismo, la puerta de entrada a la Antártica, un continente de 14 millones de km² (19 veces la superficie de Chile continental), en el que la humanidad está desarrollando un experimento inédito, al destinarlo solo a la investigación científica y sin que nadie sea su dueño. Para ese singular experimento, Punta Arenas está llamada, de manera natural, a constituirse en su capital mundial, tanto por su cercanía como por la infraestructura portuaria, universitaria y científica que posee.

La posibilidad de transformar ambos extremos del territorio nacional en polos multinacionales de investigación científica de alto nivel no es solo una aspiración, sino un proyecto en que algunos de sus elementos constituyentes ya están en desarrollo y otros se encuentran en construcción o en etapa de planificación. Por ejemplo, el norte del país completará a comienzos de la próxima década dos tercios de la capacidad mundial de recolección de datos astronómicos desde telescopios ópticos, sin considerar los radiotelescopios que operan en espectros distintos al óptico, con una inversión acumulada que se aproximará a los US\$ 10.000 millones. La Corfo ha llamado a concurso para adjudicar US\$ 200 millones a ser aportados en 10 años, más otros US\$ 60 millones por quienes resulten adjudicados, que incluirá también a empresas privadas, para constituir un gran centro internacional de investigación científica, aplicaciones tecnológicas y desarrollo de start-ups, que irradie hacia el mundo el aprovechamiento de la energía solar y el litio como almacenador de energía en baterías, desde el desierto de Atacama. A su vez, en Puerto Williams se construye el Centro de Investigación Subantártico Cabo de Hornos, que concentrará el estudio de los ecosistemas marítimo-terrestres únicos de esa zona, lo que será complementado por la fibra óptica que unirá Puerto Montt con Puerto Williams, en proceso de instalación, y que podría ser extendida a la Antártica sin gran dificultad. Además, en Punta Arenas se inauguró el Centro de Biomedicina Austral CEBIMA y el Instituto Antártico Chileno INACH ya ha orientado todo su quehacer a la investigación científica.



E-ELT, el European Extremely Large Telescope, de la European Southern Observatory (ESO), con un espejo de 39 metros de diámetro, el más grande del mundo, en construcción en cerro Armazones, II Región de Chile.

Fuente: ESO/L. Calçada



El Centro Subantártico Cabo de Hornos en construcción en Puerto Williams. XII Región de Chile. Fuente: PRENSA ANTÁRTICA, 2018. Firman contrato para construir Centro Subantártico en Pto. Williams | La Prensa Austral. [en línea]. Disponible en: <https://laprensaaustral.cl/cronica/firman-contrato-para-construir-centro-subantartico-en-ptu-williams/>.

2. Turismo de Intereses Especiales

A las naturales condiciones que ambos extremos presentan para atraer investigación científica de clase mundial, sumado a los mencionados esfuerzos que Chile ya está haciendo para fomentar que ello ocurra, se adicionan otras características que complementan favorablemente lo anterior. Ambos se han constituido por sí solos en atractivos turísticos de primer nivel, apreciados por turistas de todas partes del mundo.

En el norte, San Pedro de Atacama está instalado en los circuitos turísticos del globo por el atractivo que tiene el desierto de Atacama, sus paisajes y su cordillera. Cerca de San Pedro, y a 5.000 metros de altura, se encuentra la llanura de Chajnantor, que alberga al complejo radiotelescópico ALMA, el más grande del mundo en su tipo, y al Parque Astronómico Atacama de Conicyt, que ya cuenta con una serie de proyectos astronómicos funcionando y otros por instalarse, complementando el interés de turistas por visitar la zona.

En el sur, el Parque Nacional Torres del Paine, el canal del Beagle, el seno del Almirantazgo y el Cabo de Hornos, entre muchos otros lugares, han capturado la imaginación de los turistas más sofisticados del planeta, por la incomparable y única belleza de sus paisajes, el glamour que le confiere su condición de “fin de mundo”, y la estrecha conexión que toda la zona tiene con la historia de la navegación, la historia de la ciencia (Darwin y el viaje del Beagle) y la de la antropología, dada la rica y trágica historia de las cuatro etnias que allí habitaron. Los nombres de sus hitos geográficos así lo indican: Estrecho de Magallanes, Cabo de Hornos, seno de Otway, seno de Skyring, canal del Beagle, estrecho de Murray, canal Fitz-Roy, cordillera Darwin, entre varios otros. Más aun, Punta Arenas es un punto de partida ideal para las excursiones antárticas, crecientemente apreciadas por los turistas dado lo bien conectada que ella se encuentra por aire y lo relativamente corto que resulta desde allí el vuelo al continente blanco, comparado con la navegación marítima.

Las aptitudes turísticas de ambos extremos de Chile se complementan armoniosamente con sus aptitudes científicas. La visita de turistas a esos lugares puede inducir una bien diseñada mejoría en su infraestructura, lo que le confiere más variedad y riqueza a la rutina diaria de los investigadores que deban pasar temporadas en ella. Inversamente, la actividad científica de clase mundial que en ellos se desarrolle, atrae, a su vez, a más turistas, pues esa actividad le otorga un atractivo adicional a su visita.

Hay pues, un círculo virtuoso científico-tecnológico-turístico que acrecienta el atractivo de ambos extremos y que facilita la imagen científico-tecnológica-innovativa que del país se puede construir.

3. Edificios Icónicos

Los seres humanos requerimos de instancias materiales tangibles para hacer converger nuestra imaginación colectiva hacia una idea abstracta. Con ese objeto, diversas ciudades han construido edificios icónicos, cuya belleza arquitectónica, privilegiada ubicación y atractiva oferta turística han logrado establecerlos como puntos singulares de ellas, y los han transformado en sus símbolos. Entre los ejemplos más conocidos están el Sidney Opera House, el Museo Guggenheim de Bilbao, el London Eye y el Millenium Memorial de Nueva York.

Con ese mismo propósito, Chile está en condiciones de instalar edificios icónicos en varios puntos de su “científico-tecnológica” geografía, que son centros de investigación que además sirven como espacios de difusión y puntos de encuentro ciudadano. Estos pueden ser símbolos que transmitan a los chilenos y extranjeros la idea de que Chile es un país que se ha volcado en el siglo XXI a los elementos que mejor caracterizan a esta época: **la investigación científica**, que busca resolver las preguntas que han acompañado a la humanidad desde siempre, y **la tecnología de punta**, con la que se busca resolver los problemas que ella enfrenta y promover el progreso de quienes la conforman. Asimismo, estos edificios tienen el valor de impulsar procesos de integración, colaboración e inserción local, conectando a las comunidades locales y nacionales con la ciencia y la tecnología.

Hay al menos cinco de estos edificios icónicos en proyecto o en construcción:

- el ya mencionado **Centro de Investigación Subantártico Cabo de Hornos** actualmente en construcción, cuyo diseño arquitectónico inicial fue donado por la prestigiosa oficina Ennead Architects de Nueva York, que proyectaron el Rose Pavillion del Museo de Historia Natural de esa ciudad.
- el **Centro Antártico Internacional** a construirse en la “Punta Arenosa” de Punta Arenas, sobre el estrecho de Magallanes, como símbolo que esa ciudad está destinada a transformarse en la puerta de entrada a la Antártica y en su capital científica.
- el futuro **Centro de Interpretación Astronómica Chajnantor**, ubicado a la entrada del Parque Astronómico Atacama, en la cercanía de San Pedro de Atacama, símbolo del gran despliegue de observación astronómica instalada y por instalarse en nuestro país, proyectado por los talentosos arquitectos nacionales Max Núñez y Matías Zegers.
- el futuro **Museo Antropológico Regional de Iquique**, en la playa de Huayquique, diseñado por el afamado arquitecto estadounidense nacido en Polonia, Daniel Libeskind.
- el futuro **Museo Paleontológico de Bahía Inglesa**, para destacar los fósiles de clase mundial que allí se acumulan, mudos testigos de sucesos ocurridos hace millones de años.



*Museo de Antropología de Iquique, proyectado por el arquitecto norteamericano Daniel Libeskind.
Fuente: Plataforma Arquitectura. 2019. Cortesía de I. Municipalidad de Iquique y autorías
©StudioLibeskind*

Todos estos edificios se caracterizan por lo espectacular de su arquitectura, por lo privilegiado de su ubicación, y porque procuran simbolizar la vocación científico-tecnológico-innovativa-emprendedora que Chile pretende establecer en el siglo XXI como su imagen ante sus ciudadanos y ante el mundo en general.

4. Imagen de Chile

La imagen de un país no puede ser sino el resultado de lo que sus ciudadanos realicen, orientado por un propósito común, que cristalice sus voluntades, basado en las instituciones que han construido.

Chile tiene una clara voluntad de progreso. Los últimos 30 años de su historia son un testimonio de los éxitos alcanzados y también de las debilidades acumuladas. Corregirlas es otra forma de ratificar esa voluntad de progreso. En ese período, apostamos por el fortalecimiento de la democracia y el respeto a los derechos humanos como forma de convivencia social, así como por la construcción de un conjunto de instituciones económico-sociales orientadas a incentivar las capacidades creativas y emprendedoras de su gente.

Para la siguiente etapa, el progreso requerirá de un impulso singular en ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento, que inserte al país de manera definitiva en la sociedad del conocimiento, pues esos elementos serán cruciales en la creación de valor en el siglo XXI, respetando los principios de inclusión y sustentabilidad.

Ello precisa de una política de Estado que apunte con convicción y perseverancia en esa dirección, y de una población comprometida con ello, única manera de que el sistema político sienta la presión ciudadana para destinar los recursos y la energía necesarias para la consecución de ese propósito.

Para ello, es posible presentar a Chile como un territorio “extremo”, cuyos dos extremos, norte y sur, tienen la capacidad, por sus características únicas e irrepetibles, de generar y atraer investigación científico-tecnológica de clase mundial. Asimismo, a esa imagen se pueden agregar la Cordillera de Los Andes por el este y el Océano Pacífico por el oeste, en temas como geociencia, biodiversidad, energía y alimentación, integrando así a gran parte el territorio. Chile podría constituirse en un país con vocación de protagonista en esa aventura y no tan solo ser un espectador de ella, en una época en que la ciencia y la tecnología de punta están en el centro del desarrollo sustentable e inclusivo que requiere la humanidad.

Presentarlo de esa manera a sus ciudadanos y a la comunidad internacional, y, además, entusiasmarla con ello, es la gran apuesta que el país puede impulsar. Eso permitirá persuadir a la clase política para destinar los recursos y el empeño necesarios que impulsen el ecosistema requerido, para así desplegar con fuerza el arpegio ciencia-tecnología-innovación-emprendimiento y generar todo el valor que este es capaz de proveer. Será con ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento —como condición necesaria, aunque ciertamente no suficiente— como se consiga que el país dé el gran salto al desarrollo que con tantas ansias está buscando. Será la autoimagen de un país volcado en esa dirección, tanto por sus condiciones naturales como por sus instituciones, el catalizador que ayude a lograrlo, siempre conservando, bajo una perspectiva sustentable, su patrimonio natural y social.

Se trata de una gran aventura que vale la pena acometer.

CAPÍTULO 3

DESAFÍOS PAÍS: SOLUCIONES PARA EL MUNDO

El país enfrenta una serie de desafíos, peculiares a nuestro territorio, pero cuyas soluciones pueden ser aplicables al resto del planeta. Esto brinda la oportunidad de orientar y combinar ciertas capacidades del ecosistema que se construye para enfrentar esos desafíos —capacidades científicas, tecnológicas, de innovación y emprendimiento—, encontrar soluciones a esos problemas, y, si son exitosas, adaptarlas o replicarlas luego en otras latitudes, impulsando así el desarrollo del país y la creación de valor que lo acompaña.

La idea de plantear desafíos país, ya expresada en la estrategia presentada por el CNID en 2017, pone el énfasis en problemas que el país exhibe, pero, a su vez, es agnóstica respecto del tipo de capacidades que deben promoverse para resolverlos. De esa manera, evita el estéril debate respecto de escoger o no escoger sectores a privilegiar en el ecosistema, que tanto paralizó el avance de estos temas. Por el contrario, plantear las cosas de esta manera permite concentrarse pragmáticamente en aquellas herramientas que sirvan para superar los desafíos que hayan sido identificados.

A modo de ejemplo, y sin pretender ser exhaustivos, ni menos coartar la imaginación y empeño de quienes piensen en otros, a continuación se presenta una lista de desafíos país cuyas soluciones pueden ser, también, soluciones para el mundo.

A pesar de que muchos de estos desafíos ya han sido detectados o están siendo abordados por grupos de investigadores del país, relevarlos en este documento puede servir para priorizar y profundizar los esfuerzos destinados a resolverlos.

1. La Astronomía y sus “Spillovers”

El desarrollo de la astronomía y las preguntas fundamentales respecto del origen, composición y evolución del Universo, requieren de una serie de elementos que pueden tener vastas repercusiones en otros ámbitos del ecosistema nacional. Entre ellos, generar capacidades para la fabricación de instrumentación de precisión, que

permita comenzar a participar en las cadenas de valor de esa especialidad. Asimismo, la gigantesca cantidad de datos que maneja la astronomía requiere el uso intensivo de computación de alto rendimiento, el almacenamiento de bases de datos compatibles con estos y el procesamiento algorítmico de todo aquello. El *cluster* de observación astronómica instalado en el país, el más importante del mundo, puede permitir desplegar capacidades en esas direcciones. A su vez, eso está estrechamente relacionado con el “Big Data”, de modo que la astronomía abre un rico campo donde desplegar ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento en esas variadas direcciones.

2. Energía Solar

El norte de Chile, en particular el desierto de Atacama, es una de las mejores regiones del globo para generar energía a partir de la radiación solar, y, como está en altura, se puede hacer con más eficiencia que en otros lugares de la Tierra. La energía solar será, probablemente, la fuente de energía más importante en el siglo XXI y hay un inmenso desafío por mejorar las tecnologías que hacen uso de ella. Además, la energía solar permite producir hidrógeno directamente de la atmósfera, que es otra fuente de energía que tendrá gran importancia en el futuro. También la energía solar puede proveer de energía limpia y barata para enfriar los cada vez más grandes *Data Centers* que se podrían construir en esa zona, y que constituirán el corazón de la economía del futuro. Asimismo, la abundancia de la energía solar en el desierto de Atacama requiere resolver el gran desafío de buscar las formas más eficientes para almacenarla, y parte de la búsqueda de las maneras de hacerlo, puede realizarse con más facilidad en la zona norte de nuestro país.

3. Energía del Mar

El Estrecho de Magallanes —que en 2020 concentrará la atención mundial cuando se cumplan 500 años de su descubrimiento—, alberga en los 28 kilómetros de su Primera Angostura, la capacidad para generar entre 14.000 y 18.000 MW de potencia, aprovechando las corrientes marinas que dos veces al día se dirigen desde el Atlántico al Pacífico y vuelta, con velocidades de hasta 7 nudos. Desarrollar esa tecnología con la eficiencia necesaria, constituye un desafío que podría, resuelto de manera sustentable, poner a nuestra país en la vanguardia de esta modalidad alternativa de generación mediante ERNC.

4. Santiago500 sin Smog

En 2041 la capital de nuestro país cumplirá 500 años desde que fue fundada por Pedro de Valdivia. El desafío de eliminar la contaminación del aire que se instala sobre la ciudad requiere resolver problemas no solo de ingeniería dura, con sus tecnologías asociadas, sino también de tecnologías sociales blandas y políticas públicas apropiadas. La condición geográfica de Santiago, rodeado de cerros por los cuatro costados, y cubierta por una capa de inversión térmica gran parte del año, impide la ventilación del aire de la ciudad, algo que también sufren otras capitales importantes del mundo, como México D.F. y Beijing. Aunar esfuerzos y recursos para enfrentar ese desafío, y, de ser exitosos, estar en condiciones de proveer metodologías de solución para múltiples otras ciudades, podría transformarse en un orgullo nacional, y mostrar a la población que importantes problemas globales pueden ser acometidos y resueltos desde nuestro país.



Crédito: Norberto Seebach. Gentileza de Claudio Seebach.

5. Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial

Este es un tema que estará en el centro del debate de la humanidad en las próximas décadas, dado su impacto en nuevas posibilidades, pero también en como cambia nuestra comprensión de lo humano, y los debates éticos que de ello derivan. Todo esto en el afán por mejorar las condiciones de vida de las personas y de enfrentar los grandes problemas que exhibe la biósfera, creando de paso la riqueza necesaria para acometerlos. Estar en condiciones de participar de su desarrollo puede hacer una enorme diferencia en la manera como el país aproveche sus beneficios. De ahí la necesidad de construir una Estrategia Nacional de Inteligencia Artificial, aprovechando las capacidades instaladas en el país, así como las estrechas relaciones que estas tienen con muchos otros centros mundiales que están haciendo lo mismo.

6. Interfase Oceánica-Terrestre

Chile debe ser de los países con mayor relación entre el área de su mar territorial y la de su territorio continental, además de tener de los mayores parques protegidos marino-terrestres del planeta. Esto es especialmente notorio en la zona subantártica, y permite desplegar monitoreos e investigaciones respecto de las características de los océanos y su relación con la tierra circundante, que entregarán una mejor comprensión de los fenómenos climáticos, así como los de aumento o disminución de la temperatura de ambos. Esta constituye una temática de reciente y creciente importancia en el mundo,



ROZZI, R., F. MASSARDO, BERGHOEFER A., ANDERSON C., MANSILLA A., MANSILLA M., PLANA J., BERGHOEFER U., BARROS E., ARAYA P., 2006. *The Cape Horn Biosphere Reserve: Base Document for the Incorporation of the Archipelagic region of Cape Horn into the World Network of Biosphere Reserves MaB-UNESCO Program*. Ediciones U. de Magallanes, Punta Arenas, Chile.

7. Mitigación de Desastres Naturales

La propensión de nuestro territorio a ser sometido a grandes amenazas naturales —terremotos, tsunamis, aluviones, erupciones, entre otros— se ha instalado en nuestra cultura y le ha permitido desarrollar esfuerzos de resiliencia frente a dichos fenómenos, así como de tecnologías y procesos para mitigarlos. Como por ejemplo, el comportamiento de la infraestructura construida en Chile a lo largo de su historia y ante grandes terremotos ha sido notable, y las tecnologías impulsadas en el país para absorber y disipar la energía inducida por esos grandes sismos, es una oportunidad dentro de muchas en resiliencia que puede ser profundizada y cuyas soluciones pueden ser transferidas a muchos y distintos lugares del planeta.

8. Agua y Cambio Climático

El cambio climático está modificando la pluviometría y la disponibilidad del recurso hídrico de las distintas cuencas hidrográficas del país, así como su capacidad para almacenar agua en la forma de nieve o glaciares, lo que ha acentuado la asimétrica distribución del agua a lo largo de territorio nacional. Incluso es incierta la forma en que esas distribuciones se manifiesten en el futuro. Esto plantea inmensos desafíos para la habitabilidad humana, para los que la CTCI puede cumplir un rol fundamental en la búsqueda de soluciones, más allá de las ya conocidas desalación o captura de agua con atrapanieblas, que podrían también contribuir a solucionar problemas similares en otras partes del planeta. La enorme diversidad, tanto de cuencas hidrográficas de Chile, como de valoración y simbolismo en las distintas comunidades y lógicas de gestión del recurso, son una ventaja natural que el país posee en este ámbito.

9. Computación y Software Cuántico

La reciente noticia de que un computador cuántico fabricado por Google fue capaz de resolver en un poco más de tres minutos un problema que hubiese tomado 10 mil años al actual computador clásico más poderoso del mundo —lo que equivale a nueve órdenes de magnitud más rápido— marca el inicio de una nueva era en las capacidades de cálculo computacional y de resolución de ciertas familias de problemas. Es posible que los avances que otros países han alcanzado en el diseño y fabricación de computadores cuánticos —algo que requiere manejar conjuntamente las sutilezas de los fenómenos de “superposición”, “entrelazamiento” y “amplitud” de probabilidad cuántica— dificulte el que nuestro país pueda incorporarse a esa parte de la carrera. Sin embargo, la codificación de programas para dichos computadores se funda en una lógica distinta a la de los computadores clásicos, una especialidad virgen a la exploración, lo que abre una opción para que Chile participe de su desarrollo.

Esta corta lista de Desafíos País, a la que podrían agregarse varios otros y cuya solución tiene aplicaciones globales, permite pensar en grande con una mirada planetaria. Así, Chile puede ser un protagonista y no tan solo un espectador de la sociedad del conocimiento, participando en el esfuerzo por mantener la viabilidad de la especie sobre el planeta, y, al mismo tiempo, por mejorar las condiciones de vida de quienes lo habitan.

Ello requiere potenciar su ecosistema de ciencia, tecnología, innovación y emprendimiento, y seguir una estrategia apoyada en un relato como los que aquí se han presentado.

Se trata, como ya dijimos, de una tarea que vale la pena acometer, y constituirse en el gobierno que dé el puntapié inicial a su agenda, será un gran legado bicentenario para las nuevas generaciones.

Además, ahora a fines del año 2019, un gran Desafío País que requiere de la multiplicidad de áreas del conocimiento, se ha agregado a esa lista: enfrentar las demandas sociales expresadas por la ciudadanía en las movilizaciones en sus ámbitos institucionales, de política pública y de justicia. Si el país lo consigue hacer exitosamente, este proceso de convergencia puede ser una experiencia valiosa para el resto del mundo.

PARTE II
CONTEXTO PARA LA REFLEXIÓN

CAPÍTULO 1

DE LA COMPETITIVIDAD AL DESARROLLO: 12 AÑOS DE TRAYECTORIA DEL CONSEJO

1. Introducción

La trayectoria de este Consejo, creado en 2005, ha seguido de cerca el desarrollo de la ciencia, tecnología e innovación en nuestro país. Cada período —sin duda fuertemente influenciado por sus Presidentes— ha sido también reflejo de los supuestos y formas de entender estos fenómenos en Chile y el mundo. Recorrerlas hoy es un ejercicio que busca mirar hacia el futuro, reconociendo y aprendiendo de nuestro pasado.

Este Consejo ha sido un espacio privilegiado de nuestra institucionalidad, que ha reunido miradas diversas que se retroalimentan con una visión de largo plazo, para generar propuestas que aporten desde el conocimiento a la creación de valor para el país.

Su historia no ha estado exenta de tensiones y rumbos a ratos serpenteantes. Nació asociado al *royalty*¹ minero, bajo la idea visionaria de que la riqueza pudiese ser transformada en conocimiento. Para ello, se crearía un Consejo que diera orientaciones al uso de esos fondos. Sin embargo, cuando se quiso institucionalizar su existencia a través de un proyecto de ley, la discusión se entrampó, ya que las regiones que generaban el *royalty* minero reclamaron que parte de los fondos fueran directamente para ellas. Esto obligó a que fuera ratificado en cada período por los respectivos Presidentes de la República, dejando un espacio amplio de interpretación a cada Consejo nombrado sobre cómo cumplir con el amplio mandato encomendado.

1 Este consiste en un impuesto específico que se aplica a ciertas empresas mineras, de los recursos recaudados un porcentaje se destinaría al fomento de la innovación y el desarrollo tecnológico en Chile, creando para ello el denominado Fondo de Innovación para la Competitividad (FIC).

De esta forma, los distintos Presidentes y Consejos de cada período asumieron diversos enfoques y maneras de actuar, los que —con aciertos y errores— han permitido explorar distintas miradas y propuestas. En los orígenes, las orientaciones estratégicas respondieron a la premisa dominante de la innovación como elemento clave del crecimiento económico y la competitividad. Desde ahí se sentaron las bases para la institucionalidad y las políticas en la materia. Bajo esta misma premisa se avanzó, a continuación, en identificar y promover elementos catalizadores del sistema que permitieran materializar esta visión y sumar nuevos actores. Luego, hubo una inflexión en el enfoque, entendiendo la innovación como un fenómeno socio histórico que impacta —además de la economía— los distintos ámbitos de la vida en común y desde allí genera transformaciones que incluyen nuevos servicios, mercados e industrias. El último período buscó integrar los marcos anteriores a través de un conjunto de propuestas que combinaban el desarrollo productivo, con la convivencia social y el cuidado del medioambiente, que invitaran a un nuevo pacto con la sociedad.

Uno de los ejemplos que más caracteriza esta diversidad de miradas, ha sido cómo se ha abordado la priorización de recursos para la CTCI. Desde la identificación de sectores económicos con potencial de *cluster*, pasando por los laboratorios naturales y llegando a los grandes desafíos transversales del país, se han revelado posturas y fundamentos que hablan de nuestras formas distintas de comprender y también que han permitido avanzar en acuerdos en torno al rol de la CTCI y su vínculo con el Estado y los privados.

Los distintos períodos también han tenido su efecto en las formas de generar las orientaciones del Consejo. Las primeras estuvieron fuertemente basadas en la evidencia técnica, fundada en reportes de expertos, bajo la forma de consultorías internacionales y nacionales que buscaban aprender de otros y adaptar a la realidad nacional. Luego se abrió espacio para la experimentación y el pilotaje de proyectos, buscando recoger lecciones de estas nuevas maneras de abordar el desafío. Finalmente, en los últimos años, se incorporó el diálogo con actores diversos que aportaran distintas perspectivas y saberes a la generación de orientaciones generales y específicas.

Mirando en perspectiva, se reconocen períodos de mayor y menor influencia, de tensión y de acuerdo y evidentemente también de aciertos y errores. En todo ello, quizás lo más valioso es que las dos premisas que estuvieron en su génesis se han mantenido como columna vertebral de toda su historia. La primera se refiere al afán genuino de responder a la gran pregunta ¿dónde y cómo tenemos más posibilidades de que el conocimiento y la innovación se multipliquen y generen mayor valor para Chile? Y la segunda, es ser

un espacio permanente de reflexión y encuentro entre diversos actores comprometidos con construir un mejor futuro para Chile, de la mano de la ciencia, la tecnología, el conocimiento y la innovación.

2. Primer período: el acuerdo político para una apuesta de futuro basada en la innovación (2005-2006)

Hacia fines del gobierno del Presidente Ricardo Lagos, surge el Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad (CNIC) como respuesta a la preocupación de gestar una mejor opción de futuro, ante la fragilidad de un modelo económico fuertemente basado en la explotación de los recursos naturales. Varios líderes de la época, muchos de ellos economistas, acuerdan —más allá de las diferencias de representar distintos sectores políticos— que Chile tiene la posibilidad de un crecimiento de largo plazo basado en la innovación.

En ese período ya dominaba a nivel internacional y nacional el convencimiento de que la CTI era clave para el crecimiento y la competitividad de los países, y de que estas eran la base de mayores niveles de bienestar social.

Así, por primera vez desde la política pública, la CTI se introduce expresamente en el proceso de transición al desarrollo, y, también por vez, primera se sientan en una misma mesa actores del mundo de la investigación, el sector productivo y el sector público. Este primer Consejo público privado de catorce miembros presidido por Edgardo Boeninger, genera los lineamientos estratégicos que permitirían avanzar hacia una economía que se diversifica y crece apostando por la innovación, y que orientaría los primeros recursos del Fondo de Innovación para la Competitividad, que se crea en forma paralela al Consejo a partir del denominado *royalty* minero. De estas propuestas surge la recomendación de crear un Consejo permanente, la necesidad de selectividad para parte de los recursos públicos para la CTI y propuestas para alinear y crear programas en Corfo, Conicyt y Educación Superior. Esto, con el fin de contar con más capacidades, promover la innovación, abrir espacios para conectar la ciencia y la empresa, entre otros objetivos. Lo anterior, junto a la visión y enfoque propuesto, se sintetiza en el Informe Final del Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad, conocido también como “Libro verde” y publicado en noviembre de 2005.

3. Segundo período: el fundamento económico y la instalación de la política y la institucionalidad de innovación (2008-2010)

Este período corresponde a la instalación del CNIC como una entidad permanente con la tarea de proponer y actualizar la Estrategia Nacional de Innovación, durante el primer gobierno de la Presidenta Michelle Bachelet.

La preocupación fundamental durante los primeros años de este período fue comprender, fundamentar y concitar el apoyo transversal para definir el rol del Estado en materia de innovación, reconociendo que esta —a diferencia de la ciencia y la tecnología—, descansa en la acción del sector empresarial como motor fundamental. El argumento de las fallas de mercado, fallas de Estado y —aún más allá— las fallas sistémicas, fue el marco conceptual desde el cual se sentaron las bases de las orientaciones del CNIC para fundar la institucionalidad y las políticas en CTI. Estos eran los enfoques dominantes a nivel internacional para comprender el rol y diseñar políticas en la materia.

Así, los principales referentes del momento fueron los organismos internacionales, tales como el BID, el Banco Mundial y la OCDE. El gran desafío fue adaptar estos enfoques —basados en realidades propias del primer mundo— al contexto nacional, en tanto eran la principal fuente de análisis para generar las orientaciones estratégicas. Fue la consideración del contexto local la que permitió, por ejemplo, incorporar la educación terciaria y la capacitación como parte del eje capital humano, lo que posteriormente fue adoptado por la OCDE en su guía para la innovación para países en vías de desarrollo.

La apuesta fue avanzar “[...]en la ruta de la Economía del Conocimiento, por la vía de combinar las ventajas del modelo exportador de recursos naturales, donde el país ha logrado ya grandes avances, con las habilidades creadas por un esfuerzo creciente en la generación de capital humano y conocimiento que, aplicados al proceso productivo, posibiliten dar el salto a sectores basados en ventajas competitivas adquiridas, como el desarrollo de negocios de servicios o la externalización (*outsourcing*) de funciones altamente especializadas”. La opción del Consejo fue la de “[...]una estrategia mixta, que si bien descansa fuertemente en el desarrollo de *clusters* de recursos naturales (donde el país es competitivo hoy), también busca potenciar actividades intensivas en ventajas comparativas adquiridas”².

2 CONSEJO NACIONAL DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD, 2007. Capítulo 1. Hacia una Estrategia Nacional de Innovación para la Competitividad. Vol. 1, pp. 35.

El conocimiento y la innovación se planteaban así como los nuevos grandes activos de la economía, dimensiones que —por su naturaleza— permitían una mayor inclusión que la propiedad del capital económico. Es por ello que nuevos temas, como el de la educación, se alzaban como habilitantes para las oportunidades de participación de una nueva economía.

Desde esta visión, la estrategia se estructuró sobre la base de tres grandes pilares: el desarrollo de capital humano, considerando asimismo más investigadores e ingenieros, más y mejores técnicos y profesionales apostando por el aprendizaje a lo largo de la vida; el apoyo a la ciencia y tecnología, buscando fortalecerlas y promoviendo un equilibrio entre aquella motivada por la curiosidad y aquella orientada por misión; y, finalmente, el pilar de innovación y emprendimiento innovador, fomentando el acceso a apoyo y capital público y privado que multiplique la oferta de productos y servicios a partir de la incorporación de conocimiento.

Estos pilares temáticos descansaban en dos ejes transversales: selectividad e institucionalidad. La apuesta por la selectividad de una parte de los recursos se basó en la identificación de sectores económicos con potencial de *cluster*, bajo la premisa de que la incorporación de conocimiento permitiría diversificar y sofisticar la oferta de valor económico de Chile sobre la base de nuestras ventajas naturales. Y el eje de institucionalidad se estructuró en base a un modelo llamado “de dos pilares”: educación superior y ciencia por un lado e innovación y emprendimiento por otro, apostando (fallidamente en algunos períodos) por mecanismos de articulación entre ellos, tales como el Comité de Ministros para la Innovación, que permitieran políticas sistémicas y de largo plazo para la CTI.

Este marco se plasmó en los llamados libros blancos del CNIC, “Hacia una estrategia nacional de innovación para la competitividad, volúmenes I y II”, generados en 2007 y 2008 respectivamente, por un consejo de 11 miembros privados y 10 del sector público, que presidió Nicolás Eyzaguirre.

Luego, el mismo Consejo fue presidido por Eduardo Bitrán, siendo el sello de esta segunda fase activar a los distintos actores para materializar la estrategia propuesta. Esto sumó a participantes relevantes del ecosistema, como las universidades y el mundo empresarial. Permitió también enriquecer la estrategia, al profundizar sobre el rol de las universidades, la identificación de plataformas tecnológicas habilitantes, y supuso el trabajo directo con grupos empresariales de los sectores priorizados. La síntesis de este

segundo período se plasmó en el documento “Agenda de Innovación y Competitividad 2010-2020” de marzo de 2010, que da cuenta de los avances y desafíos pendientes de la estrategia de 2008, integrando los nuevos contenidos y los resultados del reporte de evaluación internacional.

En resumen, en este período se logró validar la pertinencia del rol público en materia de CTCI en el país, se avanzó en articular esfuerzos de distintas agencias y programas públicos en torno a un marco común, abriéndose espacio para nuevos programas e instrumentos. La conversación sobre innovación pasó de las publicaciones académicas a las declaraciones de distintos organismos públicos y privados como un atributo de valor que fue ganando fuerza. Las principales tensiones fueron en torno al rol y valor del conocimiento científico, entre científicos y economistas. Para los primeros, estaba el peligro de reducirlo a criterios puramente económicos, y, para los segundos, el de que no sirviera a intereses nacionales como la creación de valor económico. También en esta etapa, se gestó la disputa en torno a la selectividad de sectores económicos dada la apuesta explícita por algunos sectores con potencial de *cluster*. Esta suscitó, por una parte, la alerta desde algunos científicos de descuidar otras áreas de interés nacional tales como océanos y la Antártica, por ejemplo, y, por otra, la de economistas más liberales, del riesgo de que fuese el Estado en lugar de los privados el que definiera dichos sectores.

4. Tercer período: la innovación como un fenómeno socio histórico (2010-2014)

El tercer período se enmarca en un cambio de gobierno que, además, es un cambio de la coalición gobernante. Se trata del primer período del Presidente Sebastián Piñera, momento en que se renovó alrededor de dos tercios de los consejeros, siendo el Consejo presidido por Fernando Flores. Este da un giro respecto del marco conceptual precedente, planteando la innovación como un fenómeno humano permanente de adaptación al cambio, que se hace evidente dado el acelerado avance científico tecnológico. En este período, más que sectores económicos, se busca entender cómo dicho avance impacta las preocupaciones sociales permanentes, cerrando y abriendo posibilidades no solo a nuevos servicios, mercados e industrias, sino a casi todas las dimensiones de la vida, abordando como ejemplos los impactos en educación y energía, así como las posibilidades que abría la nueva biología.

Se planteaba que, más que tendencias de mercado, se requería identificar fenómenos de cambio global y explorar las posibilidades que se abren para Chile de crear valor en esos contextos emergentes que modifican contextos, preferencias y prácticas. Se destacó también la relevancia de cultivar una actitud innovadora y desafiar la cultura nacional para participar de las oportunidades que se abren desde la CTCI.

No se definieron sectores o áreas a priorizar sino más bien una nueva interpretación para observar la historia, el contexto y las tendencias para avizorar posibles futuros sobre cuya base generar orientaciones estratégicas. Sin embargo, se sugieren cuatro grandes focos de preocupación a los cuales se recomendaba apuntar: la viabilidad planetaria, redefinición de la vida y la muerte, ser humano en un mundo cambiante, hiperconectado y diverso, y una nueva educación.

Es en este período que los pilotos y las experiencias demostrativas se integraron como la fuente principal de nuevas orientaciones. Es también aquí cuando se relevó la investigación en artes y humanidades, además del conocimiento científico, como clave en la comprensión de los mundos que emergen y se transforman.

Este nuevo enfoque y las pistas que contiene se plasmaron en el libro “Surfeando hacia el futuro” publicado el 2013. Sus planeamientos, menos aplicables para el gobierno que esperaba propuestas concretas, generaron una fuerte tensión que puso en cuestionamiento el rol y la continuidad del Consejo. Los últimos meses de este período fueron presididos por Fernando Lefort, quien se hizo cargo de su transición hasta la llegada del nuevo gobierno.

5. Cuarto período: un nuevo pacto para el desarrollo sostenible e inclusivo y la instalación de la nueva institucionalidad para la CTCI (2014-2018)

Este período correspondió al segundo gobierno de la Presidenta Michelle Bachelet, cuando se conforma un nuevo Consejo, que, una vez más, conserva un tercio de sus miembros anteriores, siendo presidido por Gonzalo Rivas.

Una de las características de este período es que se avanzó en la convergencia de los enfoques precedentes. Un primer hito fue el cambio de nombre del Consejo en 2014, desde Consejo de Innovación para la Competitividad a Consejo de Innovación para el Desarrollo, lo que dejó refrendada una apuesta más allá de lo económico, de apertura hacia lo social y ambiental que busca hacerse cargo de la complejidad de los desafíos contemporáneos.

En la generación de orientaciones toma especial protagonismo la dinámica de diálogos multiactor que permiten la convergencia de las diferentes comunidades y miradas en torno a preocupaciones comunes, consolidándose así como una práctica para abordar las necesidades de transformación. Se entiende como parte de un enfoque donde las ciencias, las tecnologías y la innovación —en su sentido más amplio— contribuyen a “aportar a la comprensión de estos tiempos y los efectos de los cambios en curso, a disminuir la tensión entre crecimiento, inclusión y sostenibilidad, a mejorar nuestro bienestar, a abrir nuevos espacios de oportunidad a nivel individual y colectivo, a enfrentar retos propios y desde allí generar valor para el mundo”³. De esta forma, y al mismo tiempo, se fortalece y se amplía la comunidad misma del ecosistema.

Es en este período que se consolidó la selectividad en la lógica de grandes desafíos país y también el concepto de laboratorios naturales —como singularidades del país cuyo potencial de creación de valor radica en desarrollar la CTCI—, iniciados en el período anterior.

Surgieron así orientaciones estratégicas asociadas a ámbitos específicos —minería sustentable (2014), logística de puertos (2015), ciencia para el desarrollo (2015), sostenibilidad de recursos hídricos (2016) y resiliencia frente a desastres (2016)—, previas a las orientaciones generales de 2017. Tal como su nombre lo dice “Un nuevo pacto para el desarrollo inclusivo y sostenible”, esta estrategia buscó articular actores de la CTCI en torno a propuestas que permitiesen abordar el desafío del desarrollo, concepto que “está en un proceso de transformación. Como humanidad —y Chile no es ajeno a ello— vivimos un tránsito desde una equivalencia unívoca entre desarrollo

3 CONSEJO NACIONAL DE INNOVACIÓN PARA EL DESARROLLO, 2017. Estrategia Nacional de Innovación. Ciencias, Tecnología e Innovación para un Nuevo Pacto de Desarrollo Sostenible e Inclusivo. Orientaciones estratégicas de cara a 2030 tras diez años de trayectoria [en línea]. Santiago de Chile: s.n. Disponible en: <http://www.cnid.cl/wp-content/uploads/2017/05/CTI-para-un-nuevo-pacto-de-desarrollo-CNID-2a-edicion.pdf>, pp. 17.

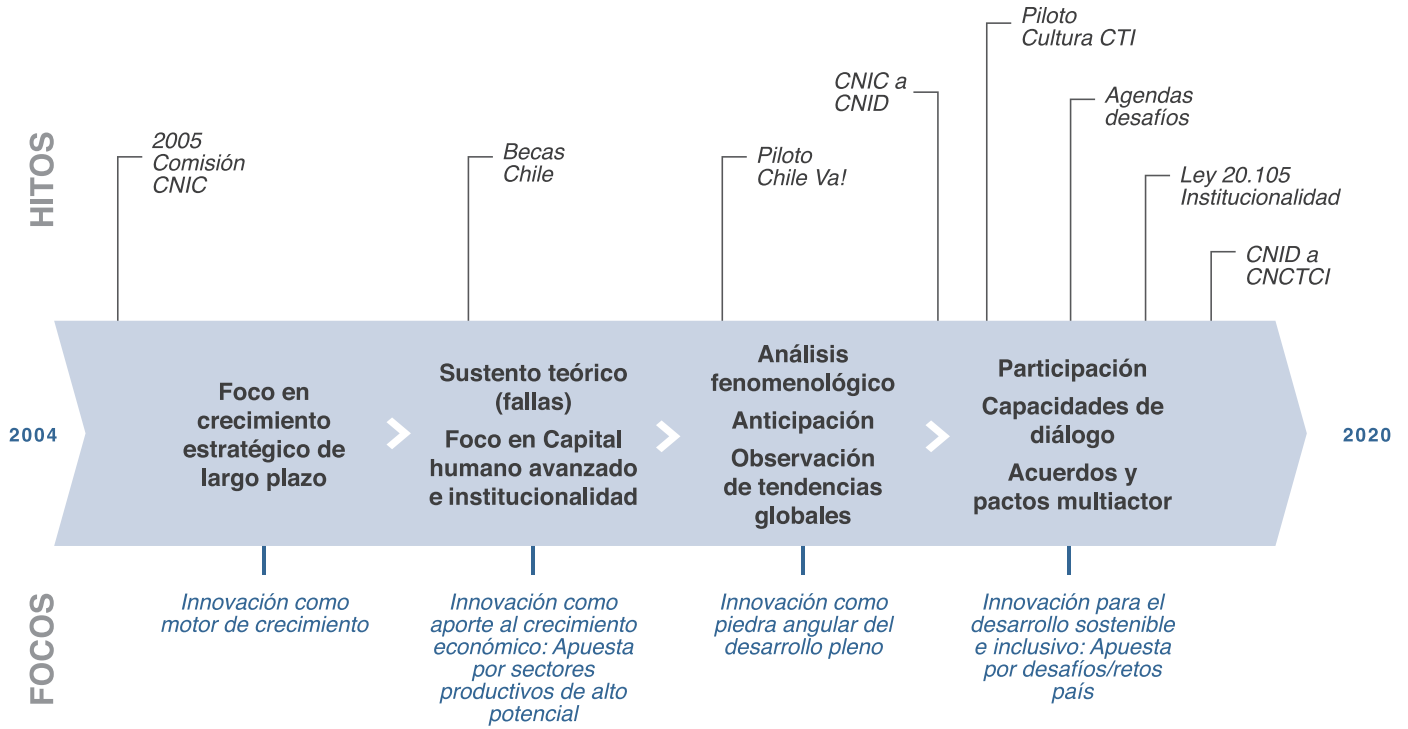
y crecimiento económico, a una concepción donde el primero se ve como un proceso donde sostenibilidad, inclusión y crecimiento avanzan en un equilibrio que —debemos reconocer— siempre es precario y conflictivo”.

Con este propósito, estas orientaciones propusieron alianzas y rutas para abordar retos nacionales, instalar la CTCI en distintas entidades del Estado, enfrentar desafíos sectoriales de manera conjunta entre privados, invertir en banda ancha en tanto infraestructura habilitante, y desarrollar una cultura científica e innovadora desde el sistema educacional.

Estas mismas propuestas fueron impulsadas por Margarita D’Etigny como Presidenta hacia el final de ese período, al tiempo que se organizaron las áreas de trabajo de la Secretaría Ejecutiva que aportaría a la instalación del futuro Consejo, en el marco de la Ley 21.105.

Luego, en espera del nuevo nombramiento, la Secretaría Ejecutiva continuó la labor del CNID en esta senda, hasta el reciente nombramiento del Consejo de transición, conformado por cinco de los consejeros antiguos y presidido por Álvaro Fischer.

PERÍODOS CONSEJO 2004 AL 2020



Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 2

ROL DE LA CIENCIA, TECNOLOGÍA, CONOCIMIENTO E INNOVACIÓN EN LA SOCIEDAD: POLÍTICAS, EDUCACIÓN Y CIUDADANÍA

1. Introducción

La curiosidad innata del ser humano ha permitido a las civilizaciones avanzar hacia una mayor comprensión del universo, de la naturaleza y de la vida. Ello ha generado una acumulación de conocimiento —y diversas maneras de aplicarlo—, lo cual, ha permitido que se desarrollen diversas innovaciones, que agregan valor a la vida de las personas. Es así como la historia de la humanidad también puede ser caracterizada por la permanente destrucción y creación de nuevo valor que los seres humanos han procurado generar para la mejora de sus condiciones de vida.

Un sin fin de descubrimientos e invenciones han nacido gracias al desarrollo de la investigación, inspirada por el asombro y la necesidad de búsqueda sincera de hombres y mujeres que han perseguido su deseo de entender el mundo que los rodea¹. Es así como la historia ha demostrado que, sin esta búsqueda, no existirían distintas tecnologías y formas de convivir en la sociedad de hoy. Seguramente, Einstein nunca imaginó que, de su descripción del efecto fotoeléctrico en 1917 se derivaría la invención del rayo láser 40 años después; o que de sus estudios sobre la relatividad nacería una de las tecnologías más usada cotidianamente, como es la del GPS. Así como también el desarrollo de nuevas tecnologías como el microscopio, abrirían nuevas posibilidades de exploración del mundo.

1 VEGA, M.A., 2012. Aspectos y avances en ciencia, tecnología e innovación. Polis (Santiago) [en línea], vol. 11, no. 33, pp. 451-470. ISSN 0718-6568. DOI 10.4067/S0718-65682012000300022. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-65682012000300022&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

A lo largo de los años, el rol que han tenido la ciencia, la tecnología y la innovación (CTI) en el desarrollo de las sociedades, ha variado según los diferentes contextos sociales, económicos y ambientales. Ellos pueden apreciarse en las políticas de CTCI, las formas de vinculación entre el mundo del conocimiento y la sociedad, y el rol que juegan en la educación.

1.1 Marcos de política de Ciencia, Tecnología e Innovación

Distintos contextos históricos han dado diversos roles al conocimiento que, a su vez, han dado origen a diversos marcos de política CTI, construidos bajo el alero público y de instituciones multilaterales, para analizar, orientar acciones e identificar sus potencialidades para el desarrollo de los países, en una sociedad dinámica, que debe adaptarse constantemente a cambios a nivel global. Dichos marcos han influenciado, no solo el diseño y la implementación de políticas públicas, sino que también el quehacer de organizaciones no gubernamentales, del sector privado y hasta el imaginario de la ciudadanía².

En la actualidad, se pueden analizar las políticas CTI bajo 3 marcos que se sobreponen —dada la vigencia de elementos de cada uno—, pero difieren principalmente en sus objetivos, modelos de innovación, actores y formas de creación de conocimiento, entre otros aspectos.

El primero tiene su origen a fines de la Segunda Guerra Mundial. El Presidente de Estados Unidos Franklin D. Roosevelt le encargó a Vannevar Bush, —director de la oficina de investigación científica—, que diseñara una política científica en tiempos de paz, lo cual definiría el futuro de los fondos públicos que habían sido dedicados al desarrollo de la ciencia y tecnología en tiempos de guerra³. Fue así como comenzó a establecerse el primer marco de política de Ciencias, Tecnología e Innovación, definido como **Innovación para el Desarrollo**, y que tenía como objetivo aportar al crecimiento económico de las naciones, bajo la premisa de que el conocimiento científico y tecnológico eran un bien

2 SCHOT, J. y STEINMUELLER, W.E., 2018. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy* [en línea], vol. 47, no. 9, pp. 1554–1567. ISSN 00487333. DOI 10.1016/j.respol.2018.08.011. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733318301987>.

3 BUSH, V., 1945. *Science The Endless Frontier: A Report to the President by Vannevar Bush*, Director of the Office of Scientific Research and Development. S.I.

público global. Este marco se basó principalmente, en incentivar la inversión en I+D, en el fortalecimiento de la industria con base científica y en el aumento del factor de productividad, incentivando la producción masiva y el consumo.

Enmarcado en una generación de conocimiento exclusivamente académica, disciplinar y homogénea (Modo 1 según Gibbons⁴), este marco de política operaba bajo un modelo de innovación lineal, donde los descubrimientos científicos lideraban el desarrollo, esperando que contribuyan de forma sustancial al crecimiento económico, generando numerosas oportunidades de negocio.

Los actores relevantes en este marco presentaban roles definidos, siendo el de los investigadores, el avanzar el conocimiento científico de manera que este quedara disponible a nivel global, asumiendo que podía ser usado por otros de forma responsable. El sector público, en tanto, era el encargado de financiar la investigación, asegurar el uso de buenas prácticas, su disponibilidad a nivel global y de identificar problemas que surgieran de su aplicación. Por último, el sector privado era el responsable de transformar algunos de los descubrimientos científicos en innovaciones que apoyaran el crecimiento económico continuo y a largo plazo⁵.

Bajo este marco, las políticas públicas consideraban instrumentos para financiar I+D por misión o curiosidad, y herramientas tales como incentivos tributarios para estimular esta actividad en el sector privado. Se fortalecían las políticas de protección a la propiedad intelectual para diferenciar la investigación científica como bien público y la apropiación de los privados, a través del patentamiento y la comercialización, y se promovían las carreras científicas y tecnológicas para asegurar una cantidad crítica de investigadores y lograr así caminar hacia el crecimiento basado en el avance científico.

4 GIBBONS, M., LIMOGES, C., NOWOTNY, H., SCHWARTZMAN, S., SCOTT, P. y TROW, M., 1994. The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies [en línea]. S.l.: SAGE Publications. Disponible en: <http://www.schwartzman.org.br/simon/gibbons.pdf>.

5 SCHOT, J. y STEINMUELLER, W.E., 2018. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy* [en línea], vol. 47, no. 9, pp. 1554–1567. ISSN 00487333. DOI 10.1016/j.respol.2018.08.011. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733318301987>.

Implícito en este marco, dado el carácter de bien público del conocimiento, estaba la idea de la convergencia tecnológica y económica de países menos desarrollados⁶. La ausencia de dicha convergencia constituyó la principal crítica a este modelo.

Durante la década de los 80', surge el segundo marco CTI, **Sistemas Nacionales de Innovación**, como respuesta al aumento de la competencia entre países y las diferencias evidentes de estos en niveles de desarrollo en innovación industrial y desempeño productivo. Esto debido a diversas razones, tales como el freno del flujo del conocimiento que los países más desarrollados —generadores de conocimiento—, ejercían hacia países menos avanzados, o ya sea por distancias geográficas, diferencias culturales o falta de experiencia previa en temas relacionados a la aplicación científico-tecnológica. Se evidenciaba que para utilizar el conocimiento se requería desarrollar capacidades, pues existía conocimiento tácito que no era fácilmente transferible.

El principal objetivo de este marco de política es, entonces, incentivar la competitividad de carácter nacional, donde el modelo de innovación asume que existen divergencias importantes en las capacidades de innovar de los países, en sus instituciones y políticas, considerando que existen unas configuraciones más exitosas que otras.

Esto produce cambios en el modelo de generación de conocimiento, asumiendo que se amplía y complejiza el grupo de actores², y que se fomenta un contexto de transdisciplina entre diversos especialistas que trabajan en equipo, en torno a problemas en ambientes complejos. Esta manera de producir conocimiento es denominado “Modo 2”⁷.

Los actores relevantes en este marco son similares a los del marco 1, pero se asume que los investigadores deben hacer avanzar el conocimiento en colaboración con otros no necesariamente académicos. Al sistema se suman las universidades como promotoras del emprendimiento y la creación de *spinoffs* y el aporte de los usuarios como *input* para el proceso de I+D. Así como la universidad adopta una postura proactiva en la utilización del conocimiento, las empresas participan cada vez más en el intercambio de conocimiento, y el Estado actúa como emprendedor público y capitalista de riesgo,

6 Por ejemplo, el trabajo seminal de Barro y Sala-i-Martin (1992) muestra que la convergencia económica no se da en términos absolutos, y que es condicional a cumplir ciertas condiciones comunes.

7 GIBBONS, M., LIMOGES, C., NOWOTNY, H., SCHWARTZMAN, S., SCOTT, P. y TROW, M., 1994. The new production of knowledge: The dynamics of science and research in contemporary societies [en línea]. S.I.: SAGE Publications. Disponible en: <http://www.schwartzman.org.br/simon/gibbons.pdf>.

además de asumir su papel regulador, transformándose en un sistema complejo interconectado entre las diferentes esferas institucionales³. Surge el concepto de triple hélice para referirse a la naturaleza compleja e interrelacionada de gobierno-industria-universidad, centrándose en las interacciones y comunicación entre las instituciones y los diversos actores que las conforman, asumiendo que la innovación nace de estas interacciones^{8,9}. Todo esto lleva a un modelo de innovación interactivo y sistémico, que desafía el lineal propuesto en el marco 1.

El tercer marco es uno emergente, denominado **Innovación Transformativa**¹⁰, y se basa en la necesidad de realizar grandes cambios de largo plazo, que transformen los modelos actuales de producción y consumo, teniendo como objetivo principal el desarrollo sustentable a nivel mundial. Este marco explora maneras de utilizar la ciencia y la tecnología para satisfacer necesidades sociales y ambientales (por ejemplo aquellos planteados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU), y asume que los sistemas de innovación pueden ser direccionados para generar externalidades positivas, utilizando un enfoque social, participativo e inclusivo. Este tipo de enfoques requiere cambios globales y profundos, tanto en estilos de vida de usuarios individuales, como de la industria y el mercado¹¹. El modelo de innovación que lo caracteriza es uno sistémico y experimental, liderado por interacciones continuas entre actores, redes, instituciones y tecnologías, en constante retroalimentación entre la innovación y los usuarios. Los actores relevantes en este marco son los gobiernos, la industria, la sociedad

-
- 8 GONZÁLEZ DE LA FE, T., 2009. El modelo de Triple Hélice de relaciones universidad, industria y gobierno: un análisis crítico. *Arbor* [en línea], vol. CLXXXV, no. 738, pp. 739–755. ISSN 1988-303X. DOI 10.3989/arbor.2009.738n1049. Disponible en: <http://arbor.revistas.csic.es/index.php/arbor/article/view/327/328>.
 - 9 ETZKOWITZ, H., 2003. Innovation in Innovation: The Triple Helix of University-Industry-Government Relations. *Social Science Information* [en línea], vol. 42, no. 3, pp. 293–337. ISSN 0539-0184. DOI 10.1177/05390184030423002. Disponible en: <http://journals.sagepub.com/doi/10.1177/05390184030423002>.
 - 10 SCHOT, J. y STEINMUELLER, W.E., 2018. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy* [en línea], vol. 47, no. 9, pp. 1554–1567. ISSN 00487333. DOI 10.1016/j.respol.2018.08.011. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733318301987>.
 - 11 WEBER, K.M. y ROHRACHER, H., 2012. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. *Research Policy* [en línea], vol. 41, no. 6, pp. 1037–1047. ISSN 00487333. DOI 10.1016/j.respol.2011.10.015. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733312000613>.

civil, y, en particular, usuarios directos e indirectos que se vean afectados y puedan contribuir y retroalimentar el proceso de innovación¹². Se plantea en este modelo que las comunidades e individuos deben tener espacios para desplegar su talento y conocimiento en proyectos de pequeña escala (nichos o *testbeds*) que promuevan transformaciones en los sistemas sociotécnicos y que puedan ser posteriormente escalados.

Para cumplir con las ambiciosas metas propuestas por diversas iniciativas internacionales (Horizon 2020 EU¹³, Paris Climate Change Agreement, Metas para el desarrollo sustentable¹⁴, entre otros), las transiciones a nivel global y de largo plazo —tales como el cambio del sistema energético desde combustibles fósiles a energías renovables—, pueden requerir de sistemas de innovación que consideren nuevas configuraciones de actores, instituciones y prácticas. Asumir que los Estados están en condiciones de proveer lo necesario para que la generación de nuevas tecnologías generen alzas en productividad, crecimiento económico y competencia, asegurando un desarrollo ambientalmente sustentable, es tema de debate¹⁵.

2. Vinculación Ciencia, Tecnología y Sociedad

A lo largo de la historia, la ciencia, la tecnología y la innovación han avanzado el desarrollo de las civilizaciones a través de invenciones, descubrimientos y corrientes de pensamiento que han influenciado de manera profunda el comportamiento humano¹⁶. En la década de los 60, estudios sobre la influencia que ejercía el desarrollo científico tecnológico sobre las sociedades en el contexto de la post guerra, comenzaron a sistematizarse, definiéndose el campo académico conocido como Ciencia, Tecnología

12 SCIENCE POLICY RESEARCH UNIT, UNIVERSITY OF SUSSEX, & T., 2018. The Three Frames of Innovation. S.I.

13 European Commission, KI-31-12-921-EN-C

14 UNITED NATIONS, 2015. Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development. [en línea]. S.I.: s.n., Disponible en: https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030_Agenda_for_Sustainable_Development_web.pdf.

15 WEBER, K.M. y ROHRACHER, H., 2012. Legitimizing research, technology and innovation policies for transformative change. *Research Policy* [en línea], vol. 41, no. 6, pp. 1037–1047. ISSN 00487333. DOI 10.1016/j.respol.2011.10.015. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733312000613>.

16 UNESCO, 1999. Declaración sobre la ciencia y el uso del saber científico. S.I.

y Sociedad (CTS)¹⁷. Se hacía cada vez más evidente que, a medida que el progreso económico asociado a los avances científicos y tecnológicos generaba externalidades negativas en temas como el medioambiente, la ciencia dejaba de ser una disciplina aislada, e influía directamente en la vida de las personas. Esto incentivó la creación de corrientes sociales, como fue, por ejemplo, la del movimiento ambientalista que surgió luego de la publicación del libro *Silent Spring* de la científica Rachel Carson, el cual exponía las influencias negativas que tenía en el uso del DTT como pesticida. Este caso tuvo tal relevancia a nivel político y social, que impulsó la creación de la Agencia de Protección Ambiental Norteamericana (EPA) en 1970¹⁸ y la erradicación del DTT como pesticida a nivel mundial¹⁹.

En cuanto al rol social de los investigadores, este fue variando a lo largo del tiempo, pasando de ser, luego de la Segunda Guerra Mundial, de uno estrictamente académico y disciplinar, a uno caracterizado por una mayor predisposición a vincularse de manera más heterogénea con diferentes actores de la sociedad. Esta nueva manera de relacionarse era coherente con el segundo marco de política que demarcaba el rumbo de la CTI en los años 80', donde principalmente se estimulaban las relaciones entre investigadores y la industria, para fomentar los procesos innovadores²⁰. Más tarde, el rol del investigador pasó a ser uno de mayor responsabilidad social, donde asumiría su deber de difundir sus conocimientos, ser parte del debate público y de participar en la formación de nuevas generaciones de profesionales.

17 JIMENEZ BECERRA, J., 2010. Origen, desarrollo de los estudios de Ciencia, Tecnología y Sociedad y su perspectiva en América Latina. Ciencia , política y poder Debates contemporáneos desde Ecuador, pp. 413.

18 The Origins of EPA | EPA History | US EPA. [en línea], [sin fecha]. Disponible en: <https://www.epa.gov/history/origins-epa>.

19 CARSON, R., 1962. *Silent spring*. Greenwich, Connecticut: Fawcett Publications.

20 CASTRO-MARTÍNEZ, E., OLMOS-PEÑUELA, J. y FERNANDEZ-DE-LUCIO, I., 2016. La Vinculación Ciencia-Sociedad: Estereotipos y Nuevos Enfoques. *Journal of technology management & innovation* [en línea], vol. 11, no. 2, pp. 121–129. ISSN 0718-2724. DOI 10.4067/S0718-27242016000200012. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-27242016000200012&lng=en&nrm=iso&tlng=en.

Existe por otro lado el concepto de “Cultura Científica”, cuya definición puede variar según autores^{21 22}, pero que se refiere mayormente a las percepciones, capacidades, actitudes, representaciones y conocimiento que los ciudadanos tienen sobre la ciencia y la tecnología. Se ha descrito cómo este concepto puede agruparse en dos grandes momentos: una primera concepción de alfabetización, actitudes y percepción social de la ciencia y la tecnología, con énfasis en la educación de contenido relativamente paternalista desde un experto a un lego, y un segundo momento definido por la valoración, apropiación y participación social de ciencia y tecnología, enfocado en el uso del conocimiento por parte de la ciudadanía. En este último momento se asume que los resultados de la ciencia y la tecnología son un bien social y público, donde se espera que la actividad científica y la innovación aporten a la resolución de problemas cotidianos de las personas²³.

Por otra parte, el rápido desarrollo de las tecnologías de la información y comunicaciones (TICs) ha permitido ampliar el acceso al conocimiento hacia diferentes sectores de la sociedad, tanto públicos como privados, considerado como herramienta clave para la consolidación de la paz, el desarrollo económico sostenible y el dialogo intercultural²⁴. La utilización del conocimiento por parte de los diferentes actores puede ser categorizado como uso directo o instrumental, enfocado en la solución a problemas específicos, o usos indirectos como los derivados de la reflexión el pensamiento crítico.

21 TAPIA, P., ARANCIBIA GUTIERREZ, M., GARRETÓN, M.A., MACKENZIE, N., MUÑOZ, C., SAAVEDRA, C. y ZAÑARTU, P., 2014. Consideraciones para la definición y medición de la Cultura Científica en Chile. S.l.

22 SEBASTIÁN, J., 2006. La Cooperación Universitaria para el fomento de la cultura científica. *Pensar Iberoamérica: Revista de cultura* [en línea], no. 8, pp. 4. Disponible en: <https://www.oei.es/historico/pensariberoamerica/rico8a04.htm>.

23 TAPIA, P., ARANCIBIA GUTIERREZ, M., GARRETÓN, M.A., MACKENZIE, N., MUÑOZ, C., SAAVEDRA, C. y ZAÑARTU, P., 2014. Consideraciones para la definición y medición de la Cultura Científica en Chile. S.l.

24 Construir sociedades del conocimiento. [en línea], [sin fecha]. Disponible en: <https://es.unesco.org/themes/construir-sociedades-del-conocimiento>.

3. Influencia de la CTCI en la Educación

Una de las funciones sociales más importantes de la educación es la de dotar a las generaciones jóvenes del repertorio de capacidades y habilidades que les permitan desempeñarse con propiedad en la sociedad, tanto en lo económico, como en lo cultural, social y personal²⁵. Sin embargo, los cambios que han experimentado las sociedades desde la Revolución Industrial hasta la actualidad, han desafiado la manera en que se proyectan las políticas educativas en el mundo, debido al crecimiento masivo en la producción de conocimiento, en el desarrollo de nuevas tecnologías de información y comunicación, y en los desafíos ambientales que amenazan el planeta, entre otros²⁶.

En la década de los 60's, surgió en las universidades de Norteamérica, el movimiento educativo Ciencia, Tecnología y Sociedad (CTS), como respuesta a la crisis que se hacía evidente entre la relación que tenían la ciencia y la tecnología con los diferentes actores sociales. Entre sus estrategias educativas, el CTS buscaba centrar la educación en los estudiantes, haciéndolos partícipes de su proceso de aprendizaje a través de la cooperación con pares, el debate y el pensamiento crítico. Arraigándose en el sistema escolar en la década de los 80', el movimiento promovía fuertemente la alfabetización científica y tecnológica en la ciudadanía, incentivando su integración en los procesos de toma de decisiones y resolución de problemas cotidianos, para democratizar así, la apropiación social del conocimiento²⁷. Para promover una educación científico tecnológica contextualizada, nace el enfoque Ciencia, Tecnología, Sociedad, Ambiente (CTSA), el cual considera al Ambiente como un aspecto esencial en las discusiones sobre sostenibilidad del planeta y la calidad de vida.

El desarrollo de competencias científicas, matemáticas y digitales, comienza a tomar gran relevancia en el mundo globalizado, donde la capacidad de resolver problemas, aceptar la diversidad y tener una actitud emprendedora, empiezan a ser fundamentales

25 ROBINSON, K., 2013. How to escape education's death valley | TED Talk [en línea]. Disponible en: https://www.ted.com/talks/sir_ken_robinson_how_to_escape_education_s_death_valley.

26 CHALKIADAKI, A., 2018. A Systematic Literature Review of 21st Century Skills and Competencies in Primary Education. *International Journal of Instruction* [en línea], vol. 11, no. 3, pp. 1-16. ISSN 1694609X. DOI 10.12973/iji.2018.1131a. Disponible en: http://www.e-iji.net/dosyalar/iji_2018_3_1.pdf.

27 IGLESIA, M., 1997. Una revisión del movimiento educativo ciencia-tecnología-sociedad. *Enseñanza de Las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, vol. 15, no. 1, pp. 51-57.

para el éxito de las nuevas generaciones. En cuanto al mundo de los negocios, habilidades como la creatividad comienzan a ser altamente valoradas²⁸, incentivando la generación de soluciones innovadoras a desafíos de la vida cotidiana. Es así como, a lo largo de los años, se fue definiendo el conjunto de habilidades necesarias para que las nuevas generaciones se desenvuelvan de forma exitosa en la sociedad actual y futura; las hoy conocidas como “Habilidades del Siglo XXI”²⁹.

El nuevo enfoque de la Educación 2030, expuesto en la declaración adoptada en el Foro Mundial sobre la Educación (Incheon, República de Corea, 2015), define como pilares principales la educación inclusiva, equitativa, de calidad, y, además, un aprendizaje a lo largo de la vida para todos³⁰. A través de la declaración de Qingdao³¹, líderes mundiales y representantes de diversos sectores de la sociedad, reconocieron que la utilización de las Tecnologías de la Información y Comunicaciones (TICs) en los procesos de aprendizaje, era una herramienta fundamental para desenvolverse con éxito en la sociedad actual, integrando la investigación, la creación y la comunicación de una manera eficaz, colaborativa y dinámica en los salones de clases.

4. Tendencias y proyecciones del sistema CTCI en el mundo

La agenda 2030 para el desarrollo sustentable de la Naciones Unidas, reconoce a la ciencia, la tecnología y a la innovación como herramientas esenciales para acelerar la reconfiguración necesaria que permita a las sociedades alcanzar un desarrollo inclusivo, prospero y ambientalmente sustentable³². A pesar de cierta vigencia que puedan tener

28 IBM, [sin fecha]. IBM News room - 2010-05-18 IBM 2010 Global CEO Study: Creativity Selected as Most Crucial Factor for Future Success - United States. [en línea]. Disponible en: <https://www-03.ibm.com/press/us/en/pressrelease/31670.wss>.

29 UNESCO, 2017. Declaración de Buenos Aires. [en línea]. Buenos Aires: Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247286>.

30 Incheon Declaration and Framework for Action for the implementation of Sustainable Development Goal 4. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000245656>

31 UNESCO, 2015. Qingdao Declaration, 2015: Seize Digital Opportunities, Lead Education Transformation - UNESCO Digital Library. [en línea]. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000233352>.

32 UNCTAD, 2019. A Framework for Science, Technology and Innovation Policy Reviews: Harnessing Innovation for Sustainable Development. S.I.: s.n. ISBN 9789210039697.

los marcos de política CTI que existen desde la Segunda Guerra Mundial, estos no han sido suficientes para guiar el manejo de las crecientes consecuencias negativas que el desarrollo actual acarrea para el planeta³³. Es así como se vuelve imprescindible enfocar las actuales y futuras políticas públicas de las CTI, en cambios que consideren a los sistemas tecnológicos, sociales, económicos y ambientales con un enfoque integral, teniendo en consideración las normas, regulaciones, infraestructura y prácticas que los rigen y definen —los denominados sistemas sociotécnicos—.

En la actualidad, el tercer marco de política CTI continúa construyéndose sobre la base de la experimentación y prácticas de una diversidad de actores, con motivaciones y prioridades distintas. Es así como la innovación se convierte en un proceso de búsqueda a nivel sistémico, guiado por objetos sociales y ambientales, informado por la experiencia y el aprendizaje que permiten, de forma dinámica, enfrentar los desafíos actuales. Hoy, existen cada vez más espacios donde la exploración y el encuentro transdisciplinario prospera, avanzando ideas transformadoras bajo la cooperación y la creatividad. Un ejemplo de la aplicación de este enfoque es la Política de Ciencia e Innovación para el Desarrollo Sostenible en Colombia (Libro Verde 2030), que busca un aporte decidido de la CTI a los Objetivos de Desarrollo Sostenible. EIT Climate-KIC, una comunidad de conocimiento e innovación, la iniciativa Europea de mayor envergadura que busca enfrentar el cambio climático a través de la CTI es otro ejemplo a analizar. Ella se sustenta en aportes públicos y privados y busca crecientemente un enfoque más sistémico y transformador. Esto se manifiesta, por ejemplo, en su nuevo sistema de asignación de recursos mediante portafolio de proyectos (a diferencia de la tradicional asignación a proyectos individuales), enfocándose en la complementariedad y articulación de distintas propuestas y comunidades en función de este gran desafío. Ambas experiencias son interesantes de analizar si se busca un aporte de la CTI al desarrollo sostenible.

Otra tendencia es la aparición de iniciativas que apuestan a multiplicar las posibilidades de que emerjan nuevas e impredecibles posibilidades de creación de valor, vinculando al mundo de la CTI con los demás actores de la sociedad, en particular, el sector empresarial, y que no necesariamente responden a un marco en particular. Un ejemplo de esto es la creación de Estación F, una incubadora de negocios ubicada en París, donde un espacio

33 SCHOT, J. y STEINMUELLER, W.E., 2018. Three frames for innovation policy: R&D, systems of innovation and transformative change. *Research Policy* [en línea], vol. 47, no. 9, pp. 1554–1567. ISSN 00487333. DOI 10.1016/j.respol.2018.08.011. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048733318301987>.

de 34 mil metros cuadrados alberga a mil compañías pequeñas de tecnología de todo el mundo, desarrollando sus ideas y emprendiendo bajo condiciones excepcionales. Con 30 programas de *startups*, Estación F permite que marcas como Adidas —bajo el lema “Creando lo Nuevo”— impartan capacitaciones a emprendedores líderes en innovación digital deportiva; o Microsoft, bajo su programa de Inteligencia Artificial (IA), busque ofrecer asesoría a emprendedores de todo el mundo en ciencia, tecnología y negocios, para avanzar en investigación y aplicación de IA. Estos ejemplos se suman a otros programas relacionados con innovación en construcción, ingeniería, comunicaciones, cosmética, diseño y moda, entre otros.

Espacios como este ya están llegando a Chile. El Centro Tecnológico de Cataluña Eurecat, es un organismo de cooperación público privada con sede central en Barcelona, enfocado en vincular la investigación generada por organismos públicos y universidades con empresas del sistema productivo en tres grandes áreas del conocimiento: industrial, digital, biotecnología y economía circular. Incentivando la investigación aplicada y el desarrollo tecnológico, el centro está compuesto por representantes de empresas e instituciones de referencia en sectores estratégicos de la economía, generando redes nacionales e internacionales, desarrollando proyectos de I+D y reuniendo a más de 600 profesionales con empresas, clientes, posibilidades de patentamiento y *spin-offs*. Se espera que en marzo de 2020, comience a operar la sede en Chile de Eurecat, la cual busca proveer, en conjunto a socios locales, al sector industrial y empresarial de tecnología diferencial y conocimiento avanzado, dando respuesta a las necesidades de innovación de las empresas, impulsando su competitividad.

Sumado al nacimiento de estos espacios de creación transdisciplinaria, se integra con fuerza al escenario global de la CTI el avance del modelo de ciencia por convergencia, el cual entiende que la investigación debe inspirarse en la necesidad de abordar un desafío específico —el que puede surgir de preguntas científicas profundas o de necesidades sociales apremiantes— integrando diversas disciplinas de manera profunda. Este modelo supone que, a medida que expertos con diversas aproximaciones y provenientes de ámbitos públicos o privados persigan desafíos de investigación comunes, sus conocimientos, teorías, métodos, datos, comunidades de investigación e idiomas se entremezclarán o integrarán cada vez más. Los nuevos marcos, paradigmas o incluso disciplinas pueden formar interacciones sostenidas en múltiples comunidades³⁴.

34 BOARD ON LIFE SCIENCES y COMMITTEE ON KEY CHALLENGE AREAS FOR CONVERGENCE AND HEALTH, 2014. *Convergence: Facilitating Transdisciplinary Integration of Life Sciences, Physical Sciences, Engineering, and Beyond*. S.l.: s.n.

En cuanto a la creación de herramientas de financiamiento de ciencia de convergencia, existen programas como el “Convergence Accelerator” de la National Science Foundation, el cual adjudicó por primera vez en septiembre 2019, US\$39 millones en proyectos de ciencia de convergencia enfocados en temas de importancia nacional, que buscaban desarrollar investigación y generar asociaciones público-privadas en dos grandes temas: “La Revolución de los Datos” y “La Fuerza Laboral del Futuro en la Frontera Humano-Tecnológica”.

Por otra parte, la integración de tecnologías en el mundo de la educación forma parte de una transformación inminente que permite acercar, a través de un lenguaje conocido y propio, a las nuevas generaciones hacia temas relevantes y contingentes como son el desarrollo sustentable y el cuidado del medio ambiente. Es reconocido a nivel mundial que hacia el 2030, las TICs acortarán las brechas de aprendizaje existentes, ya sea por discapacidad, condición social, económica o ubicación geográfica³⁵. Un ejemplo de esto es el trabajo realizado por la Fundación JAAGO en Bangladesh, la cual permite que docentes altamente calificados de la capital, dicten cursos online en escuelas rurales y de escasos recursos utilizando la tecnología³⁶.

Sin embargo, para lograr integrar con éxito las TICs en la enseñanza, es necesario replantear el papel docente, reformar su formación y perfeccionamiento profesional, y asegurar que las instituciones de formación y perfeccionamiento profesional se encuentren equipados para utilizarlas³⁷. Otro gran desafío de la educación es el desarrollo de habilidades que preparen a las futuras generaciones para la era de la Inteligencia Artificial (IA), donde no solo debe privilegiarse el desarrollo de carreras STEM, si no que también, el desarrollo de competencias en humanidades, filosofía y ética, para guiar los avances de forma responsable y contextualizada³⁸.

35 JAAGO FOUNDATION, [sin fecha]. JAAGO Foundation | Sponsor A Child Online Education Program. [en línea]. Disponible en: <https://jaago.com.bd/>.

36 Ídem

37 UNESCO, 2015. World Education Forum 2015. Final Report [en línea]. S.l.: s.n. Disponible en: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000243724>.

38 UNESCO, [sin fecha]. Audrey Azoulay: Making the most of artificial intelligence. [en línea]. Disponible en: <https://en.unesco.org/courier/2018-3/audrey-azoulay-making-most-artificial-intelligence>.

CAPÍTULO 3

ANTICIPÁNDOSE AL FUTURO: MEGATENDENCIAS Y DISRUPCIONES TECNOLÓGICAS

1. Introducción

Una de las diferencias más marcadas de este siglo con el anterior la constituye el creciente escepticismo que la ciudadanía, en diversas partes del mundo, tiene respecto a la idea de “progreso”. Las dificultades que están encontrando las sociedades para sostener ese progreso, entendido como un camino hacia mayor prosperidad, salud e igualdad, forman parte de ese fenómeno.

A pesar de que los avances tecnológicos parecen ilimitados, tanto la dificultad de las políticas públicas para capitalizarlos como el fortalecimiento de “narrativas alternativas”, tipo *fake news*¹ y otras, han socavado la facultad de sumar voluntades y justificar cursos de acción. Esto plantea inmensos desafíos a los países que pretenden impulsar la innovación para el desarrollo.

En este contexto, el CNID ha procurado conectarse con problemas globales que aquejan al planeta y al país, en particular, desde la mirada científica. Por ejemplo, el Consejo ha coordinado el trabajo efectuado por las comisiones de “Resiliencia frente a Desastres de Origen Natural” y de “Sostenibilidad de los Recursos Hídricos”, orientadas a revisar aspectos relevantes del cambio climático en nuestro territorio. Asimismo, en los reportes “El futuro del trabajo. Revisión de Literatura” y “Reportes de Futuro. Tres Preocupaciones Urgentes para Chile”, se examinó la evidencia respecto del impacto de las tecnologías en el empleo.

¹ Las *fake news* son notas publicaciones viralizadas en redes sociales cuyas fuentes no son validades que tienen la capacidad de posicionar noticias falsas como verdaderas al punto que no permiten a las audiencias diferenciar entre un hecho y una opinión.

En esta oportunidad, y con una visión prospectiva, se identifican tres mega tendencias que, impulsadas por la tecnología y el desarrollo, darán forma al futuro de la humanidad:

- i. La sustentabilidad planetaria y el cambio climático, cuyos efectos son cada vez más visibles y palpables.
- ii. La revolución digital de tecnologías que están siendo integradas a aspectos de la vida cotidiana.
- iii. La reconfiguración de la vida que permite la manipulación molecular con repercusiones en salud.

A continuación se presenta cada tendencia en mayor detalle, acompañada de datos que ayudan a caracterizar los fenómenos que la componen. Asimismo, se introducen algunas tecnologías que forman parte relevante de las tendencias, considerando sus posibles desafíos y efectos, que pueden gatillar cambios tanto profundos como inesperados.

Aquí conviene hacer una breve digresión respecto del concepto de complejidad, que aparece con frecuencia. Por una parte, la complejidad de un sistema está dada por la gran cantidad de elementos que lo componen, lo que dificulta caracterizar su operación y anticipar su evolución. Por otra parte, esta se caracteriza por la aparición de fenómenos emergentes, resultado de la interacción de esos componentes, no anticipables a partir de las características de cada uno analizado individualmente. Los fenómenos sociales, entre otros, son eminentemente complejos. Por lo tanto, la dificultad para entender la complejidad social contemporánea, la instala como un subproducto crucial de las mega tendencias antes identificadas.

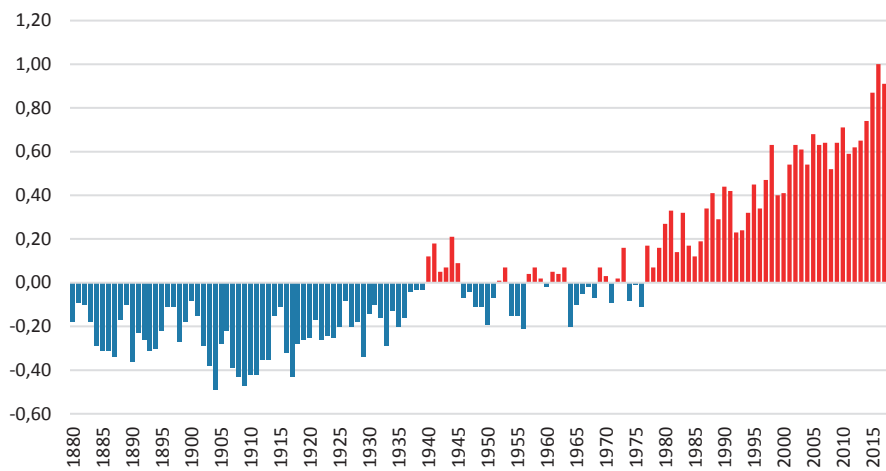
2. Tendencias

2.1. *Sustentabilidad planetaria y cambio climático*

Uno de los temas globales de mayor calado en este siglo es la sustentabilidad de la vida humana —y de otras especies— sobre el planeta. Esta se ve amenazada por el cambio climático resultado de la intervención humana sobre el medio ambiente, la cual ha tenido un impacto a gran escala. En 2019, se volvió a batir un récord de la concentración de los principales gases de efecto invernadero. Hay indicios que muestran que el aumento de CO₂ acumulado es causado por la quema de combustibles fósiles empleados por el ser humano —el carbón, el gas natural y el petróleo—.

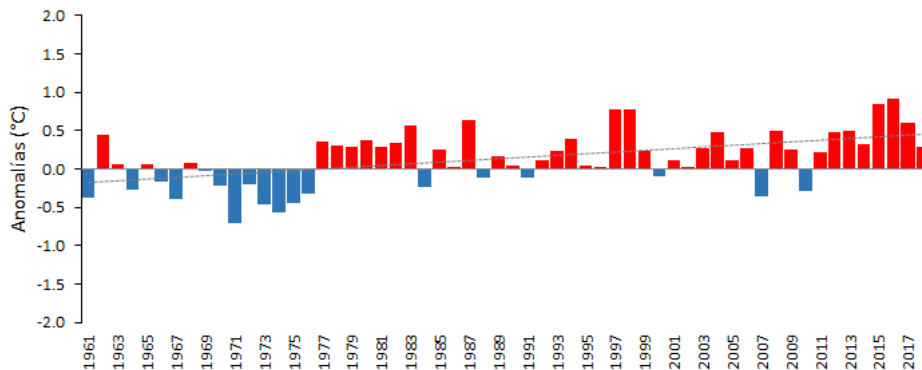
Por ello, el equilibrio térmico que permite el desarrollo de vida humana sobre la Tierra se ha visto alterado. Esto ha provocado cambios sistémicos que dificultan la capacidad del planeta para sostener la civilización y la vida como la conocemos. Estos cambios son ilustrados en fenómenos tales como las anomalías de temperatura (Gráfico 1 y Gráfico 2); la contaminación del aire, la tierra y los océanos; la desertificación; la sobreexplotación de los recursos naturales; la biodiversidad amenazada, las alteraciones en los ciclos biogeoquímicos, entre otros.

GRÁFICO 1. ANOMALÍA DE TEMPERATURA MEDIA GLOBAL (°C) RELATIVO A MEDIA 1951-1980



Fuente: Elaborado por DGAC 2019 con base datos de NASA-GISS.

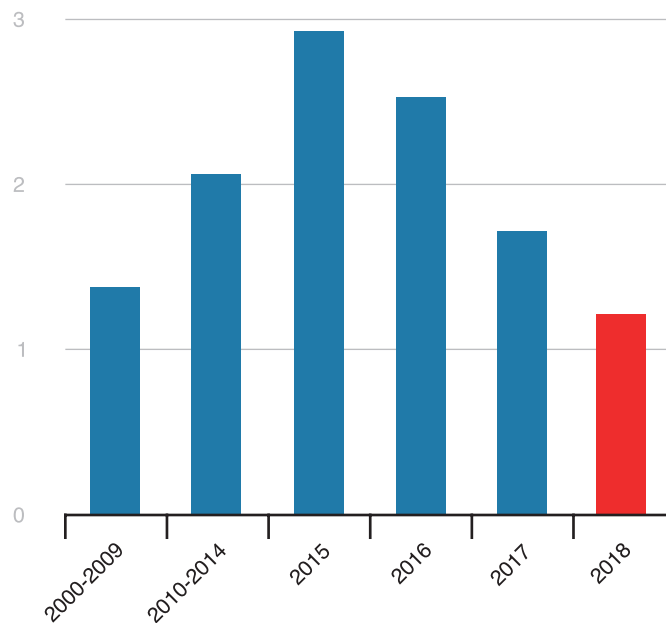
GRÁFICO 2. ANOMALÍA DE TEMPERATURA MEDIA EN CHILE RELATIVO A MEDIA 1961 - 1990



Fuente: Elaborado por DGAC 2019 con base datos de NASA-GISS.

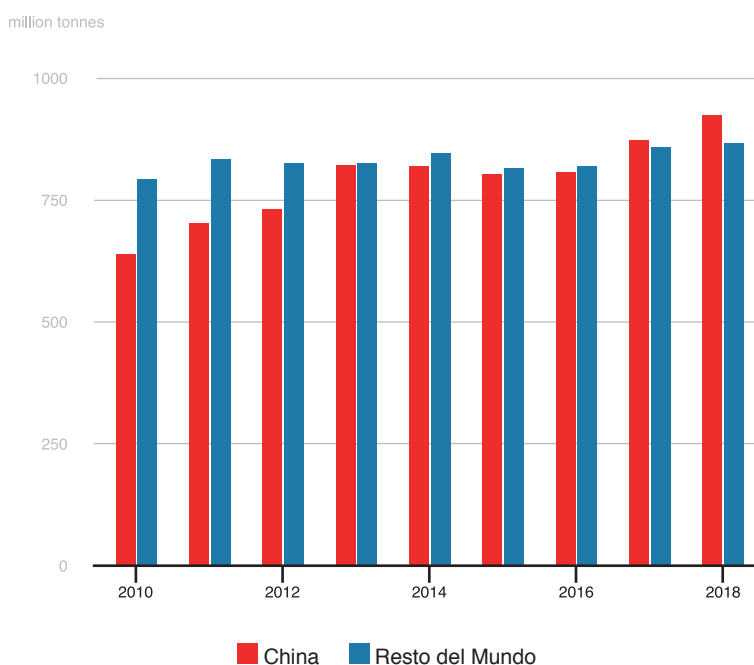
Dicha realidad ha llamado a cuestionarse ¿puede la humanidad sobrevivir en una Tierra diferente? ¿Qué debemos hacer para revertir esta amenaza? Las propuestas que surgen apuntan a una transformación de nuestra relación con el planeta. Esta transformación puede manifestarse en el desarrollo de nuevas formas de generación de energía así como de producción de ciertos bienes y servicios, que ayuden a mitigar las amenazas y enfrentar las consecuencias. Si bien lo anterior es relevante, no es suficiente. Mejoras en la eficiencia global de energía están decreciendo (Gráfico 3) en parte porque las industrias intensivas en el uso de energía fósil como acero (Gráfico 4) crecieron como proporción de la producción industrial en UE y China.

GRÁFICO 3. MEJORAS EN LA INTENSIDAD DE ENERGÍA PRIMARIA



Fuente: International Energy Association (IEA). 2019. *Energy Efficiency 2019. Market Report Series*. Paris, France: IEA <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>

GRÁFICO 4. PRODUCCIÓN GLOBAL DE ACERO CRUDO (2010 - 2018)



Fuente: International Energy Association (IEA). 2019. *Energy Efficiency 2019. Market Report Series*. Paris, France: IEA <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2019>

En muchos países ya se trabaja considerando el cambio climático como una realidad que afecta de forma permanente las condiciones de vida y productivas. Por lo tanto, buscan medidas para mitigar y adaptarse a la nueva normalidad. Sin embargo, a diferencia de la mitigación —donde parece haber claridad respecto de qué y cómo se mide— el desafío de la adaptación es más incierto y complejo. No hay definiciones precisas al respecto. El criterio más aceptado, la vulnerabilidad, presenta grandes dificultades de medición. Lo anterior no es una excusa para concentrar la mirada en lo que podemos hacer de manera más fácil.

A la luz de esos antecedentes, se hace cada vez más necesario integrar la investigación científica natural con la aplicación y desarrollo de las ciencias sociales y las humanidades que permitan arrojar luz a este gran desafío. Eso, sin perjuicio de los avances en ciencia y tecnología que faciliten la adaptación de las economías a un mundo sin emisiones de gases de efecto invernadero. O a uno en el cual esas emisiones puedan ser capturadas y reutilizadas, impidiendo que lleguen a la atmósfera (Recuadro 1).

Recuadro 1

Tecnología relevante - Captura y almacenamiento de carbono

Tecnologías que permiten retirar dióxido de carbono de la atmósfera o, más comúnmente, evitar que llegue a ella. Consiste en separar el CO₂ emitido por la industria y la generación de energía en los procesos de combustión, y transportarlo a un lugar de almacenamiento geológico. También puede ser usado como insumo en un proceso productivo para aislarlo de la atmósfera en el largo plazo. Su impacto directo apunta a evitar el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera y así aminorar el calentamiento global.

A pesar de la falta de un marco internacional de adaptación, no se han frenado los avances prácticos que se desarrollan en diferentes lugares y en distintas disciplinas. La agricultura y la ganadería ya están experimentando cambios sobre, por ejemplo, qué animales y cultivos pueden producirse. Asimismo, a partir de la conciencia colectiva del calentamiento global, se aprecian cambios incipientes en las preferencias alimentarias a nivel planetario que hasta hace muy poco eran considerados imposibles. Recientemente grandes empresas a nivel mundial han anunciado productos que reemplazan la proteína animal por proteínas vegetales, sintéticas o artificiales.

2.2. *Revolución digital*

El acelerado desarrollo tecnológico que ha marcado las últimas décadas y, en especial, el uso intensivo de las tecnologías digitales, se han constituido en uno de los motores de transformación social. La digitalización se ha instalado en todas las sociedades. No solo permite la movilidad de información en tiempo real a distintas partes del mundo, sino que hace posible reconfigurar los procesos productivos y los objetos físicos mediante simulaciones digitales. Dicha revolución está creando universos digitales paralelos denominados “realidad virtual” y “realidad aumentada” (Recuadro 2).

Recuadro 2: Tecnología relevante - Realidad aumentada

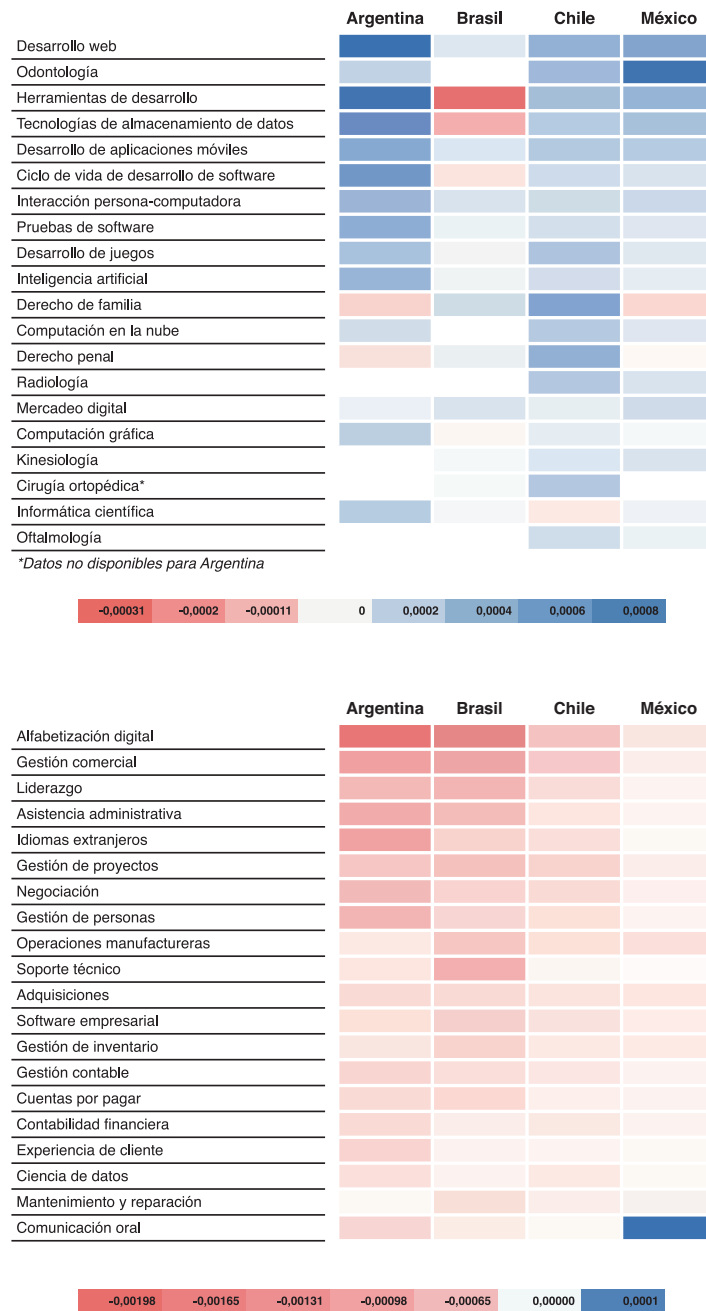
Conjunto de tecnologías que permiten que un usuario visualice parte del mundo real a través de un dispositivo tecnológico con información gráfica añadida por este dispositivo. Este dispositivo o conjunto de dispositivos superpone información virtual digitalizada a la información física ya existente. Tiene muy diversas aplicaciones, como por ejemplo en educación, arqueología y búsqueda de personas en situaciones de emergencia.

La digitalización está generando miedo a perder el empleo a manos de un robot o de un algoritmo. No obstante, lo que se observa en realidad es que aquellas ocupaciones que demandan habilidades cognitivas no rutinarias, como especialista en ciencias de la computación, han crecido en proporción de trabajadores contratados en los últimos 15 años. Sin embargo, ocupaciones que requieren habilidades rutinarias o manuales, como apoyo administrativo u operadores, han decrecido².

Esto no quiere decir que los empleos estén siendo automatizados o robotizados tan fácilmente. Sino que el perfil de los mismos, o las habilidades que sus ocupaciones demandan, están siendo reconfiguradas. Habilidades como desarrollo de web y aplicaciones móviles están en crecimiento, mientras que la alfabetización digital y asistencia administrativa están en declive (Gráfico 5).

2 Banco Interamericano de Desarrollo (BID). 2019. ¿Cuáles son las ocupaciones y las habilidades emergentes más demandadas en la región? Washington, DC: BID. <https://publications.iadb.org/es/el-futuro-del-trabajo-en-america-latina-y-el-caribe-cuales-son-las-ocupaciones-y-las-habilidades>

GRÁFICO 5. HABILIDADES EMERGENTES Y EN DECLIVE, 2018



Fuente: Amaral, Nicole, Nick Eng, Carlos Ospino, Carmen Pagés, Graciana Rucci y Nate Williams. 2018. ¿Hasta dónde pueden llevarte tus habilidades?: Cómo utilizar los datos masivos para entender los cambios en el mercado laboral. Washington, DC: BID. <https://publications.iadb.org/es/hasta-donde-pueden-llevarte-tus-habilidades-como-utilizar-los-datos-masivos-para-entender-lo>

Por otro lado, nuestra manera de relacionarnos en la vida diaria está siendo moldeada por tecnologías digitales que podrían modificar nuestro autorretrato. Si se desarrollan algoritmos capaces de interpretar con más precisión que nuestro propio cerebro cuáles son nuestros deseos, la noción de agente individual que cada persona tiene de sí misma puede quedar en entredicho.

De ahí que el tema más presente en las esferas públicas y privadas sea el de la Inteligencia Artificial (IA). La IA es la posibilidad de albergar, en máquinas construidas por humanos, la capacidad de emular la inteligencia humana. Algunas de las aplicaciones actuales muestran lo impresionante que puede ser su desempeño en áreas que eran hasta hace poco dominio exclusivo de los seres humanos. Algunas incluyen la traducción de idiomas o el diagnóstico de enfermedades por imágenes o artículos escritos por “arañas digitales”.

Complementado con otras herramientas como la realidad aumentada, la realidad virtual, *big data* y la Internet de las Cosas, la IA abrirá futuros que hoy pertenecen a la ficción. Por ejemplo, para hacer realidad la medicina personalizada en el sector salud. De acuerdo a Susan Hockley, ex presidenta de MIT, estas tecnologías son fundamentales para poder comprender mejor fenómenos complejos de la biología del cuerpo humano, desarrollar herramientas de diagnóstico e identificación de patologías, para así elaborar intervenciones innovadoras.

Algo similar se vislumbra en la arquitectura, construcción y planificación urbana. En el rubro energético, en noviembre de 2019, la empresa Heliogen, que cuenta entre sus financistas a Bill Gates, anunció que ha descubierto una forma de utilizar la inteligencia artificial y un conjunto de espejos para concentrar la luz solar. Dicha tecnología podrá generar un calor extremo por encima de los 1000 grados centígrados con potencia suficiente para producir acero, cemento y vidrio³.

3 EGAN, M. y CNN BUSINESS, 2019. Secretive energy startup backed by Bill Gates achieves solar breakthrough - CNN. [en línea]. 2019. Disponible en: <https://edition.cnn.com/2019/11/19/business/heliogen-solar-energy-bill-gates/index.html>.

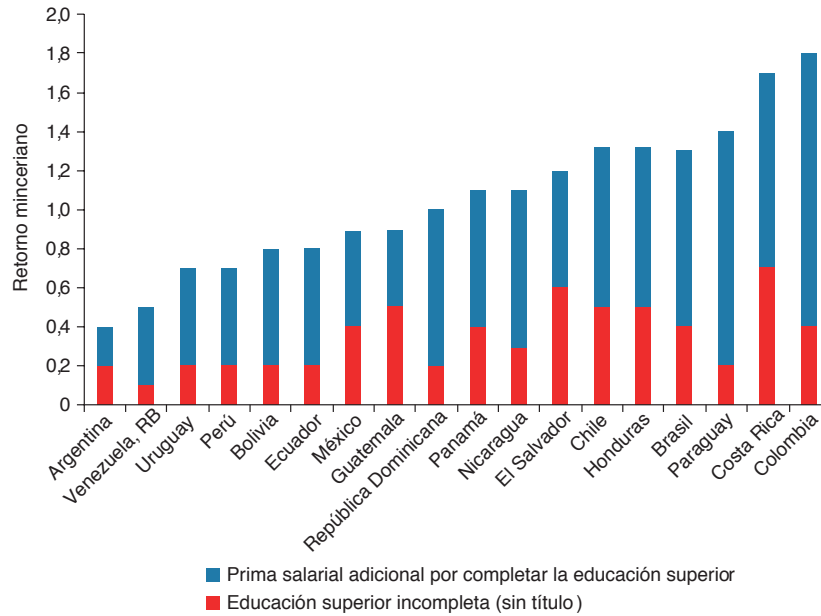
Más aún, las capacidades emergentes a partir de la IA no se limitan a lo efectivo y eficiente. También significan cambios en la forma en que las personas se conectan emocionalmente. Por ejemplo, los adultos mayores que usan los dispositivos Alexa de Amazon reportan sentirse más acompañados. En este contexto, el uso de interacciones verbales lleva los sistemas informáticos a otro nivel de accesibilidad, y plantea otras posibilidades para un mundo con más adultos mayores.

Para capitalizar sus frutos, reportes consultados coinciden en que los países deben disponer de mecanismos permanentes de formación, de modo que puedan alinear sus capacidades cognitivas con los requerimientos tecnológicos. Cómo Chile puede surfear esta ola digital es una gran incógnita. Lo que sí parece es estar bien posicionado para poder hacerlo. Los años de educación continúan siendo una garantía de mayores ingresos: las tasas de retorno de educación superior incompleta son 1/3 menores a las tasas de retorno de educación superior completa (Gráfico 6).

También, estudiantes de 6 y 15 años continúan liderando el primer lugar de Latinoamérica en pruebas de lectura y ciencias entre 2015 y 2018, y el segundo en matemáticas después de Uruguay. Sin embargo, en un mundo donde los trabajos más simples se hacen en línea, la capacidad de lectura de estudiantes puede estar siendo comprometida. Uno de cada cuatro estudiantes chilenos es incapaz de completar tareas básicas de lectura como encontrar la idea principal en textos largos y conectar información de diferentes fuentes, habilidad básica para comenzar a demostrar capacidad en adquirir conocimientos y resolver problemas prácticos⁴.

4 AYUSO, S., 2019. Solo siete de 79 países mejoran sus resultados en el informe PISA | Sociedad | EL PAÍS. [en línea]. París, 2019. Disponible en: https://elpais.com/sociedad/2019/12/03/actualidad/1575330418_629805.html.

GRÁFICO 6. RETORNOS MINCERIANOS A LA EDUCACIÓN SUPERIOR (MEDIADOS DE 2010)



Fuente: Banco Mundial (BM). 2017. *Momento decisivo - La educación superior en América Latina y el Caribe*. Washington, DC: Banco Mundial. <https://openknowledge.worldbank.org/bitstream/handle/10986/26489/2110140vSP.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

La posibilidad de remodelar los sistemas educativos, tanto escolares, de educación superior y de educación continua, depende de una visión más clara de qué significan estos cambios. La (re)configuración de habilidades puede verse acelerada cuando casos como la supremacía cuántica⁵ se haga realidad. Quienes sean capaces de dar sentido práctico a esta y otras tecnologías, tanto para producirlas como para explorar y explotar su potencial, serán cada vez más requeridos.

Chile tiene el desafío de aprovechar las posibilidades que la revolución digital ofrece para favorecer un desarrollo más integral (en las comunicaciones, la productividad, la automatización, la educación, los servicios públicos, el comercio y la medicina). A la vez, debe procurar evitar pagar (o al menos reducir) los aspectos más negativos de estas tecnologías como las *fake news*, la pérdida de privacidad y de empleos. La revolución digital continuará siendo, sin duda, un protagonista fundamental del siglo XXI.

⁵ Implica que procesadores nuevos pueden, para una cierta familia de problemas, completar en 200 segundos lo que las computadoras más potentes del mundo le tomarían 10,000 años.

2.3. Reconfiguración de la vida o nueva biología

Desde el descubrimiento del ADN se ha generado un cambio en la manera de entender la vida y su funcionamiento, así como un vasto campo de posibilidades tecnológicas para mejorar la salud de la población. Esto ha permitido el desarrollo de la biología sintética para concebir y fabricar organismos con cromosomas artificiales. Estos avances están provocando una revolución tecnológica de vastas proporciones, cuyos alcances estamos recién comenzando a delinear.

Este desarrollo de las ciencias biológicas, sumado al avance de la medicina, las ingenierías y las tecnologías aplicadas a la salud, permitirá que la esperanza de vida siga aumentando. El envejecimiento de la población^{6 7} por extensión de la esperanza de vida augura un conjunto de implicancias, desde transformaciones en la vida familiar, en los lazos intergeneracionales y en el mercado laboral, hasta la vivienda, el transporte, y el financiamiento de la seguridad social.

Proyectar una vida futura con más salud, trabajo estable, ingresos económicos suficientes y tiempo libre para el ocio, sería un error, pues también se abren inquietudes. Si extrapolamos las tendencias actuales⁸, las enfermedades crónicas, que van al alza, demandarían un gasto significativamente mayor por parte de los países. Y, al mismo tiempo, la proporción de personas en edad de trabajar disminuiría fuertemente, reduciendo los recursos para hacer frente a dichos gastos.

El desafío del envejecimiento de la población supone cuestionarse: ¿Podremos seguir hablando de adultos mayores a los 65 años cuando la esperanza de vida supere los 90, 100 o 120 años? ¿Cómo será lo que hoy conocemos como “vejez” si la medicina y las tecnologías logran cumplir al menos parte de las promesas que surgen hoy?

Esta tendencia es mucho más amplia que el fenómeno demográfico. Sus impactos en salud serán múltiples. Estos incluyen el desarrollo de servicios médicos, de cuidado, de entretención, de capacitación y de educación; el surgimiento de una medicina

6 Según datos de la revisión de 2017 del informe “Perspectivas de la Población Mundial”, se espera que el número de personas de 60 años o más se duplique para 2050 y triplique para 2100.

7 CONSEJO NACIONAL DE INNOVACIÓN PARA LA COMPETITIVIDAD, 2013. Surfeando hacia el futuro. Chile en el horizonte 2025. Santiago de Chile: Consejo Nacional de Innovación para la Competitividad.

8 Un ejercicio útil para explorar y relevar algunas consecuencias, pero sin la pretensión de ser predictivo.

personalizada basada en datos genéticos y otros tipos de evaluaciones; una revolución de la biología que posibilita la medicina regenerativa, enfocada en reparar o reemplazar órganos, tejidos y células dañadas. Cabe notar que estas transformaciones acarrearán grandes cuestionamientos éticos por las posibles consecuencias de la edición génica⁹ (Recuadro 3).

Recuadro 3: Tecnología relevante - CRISPr/Cas9

La tecnología CRISPR es una herramienta simple pero poderosa para editar genomas. Permite a los investigadores alterar fácilmente las secuencias de ADN y modificar la función de los genes. Sus muchas aplicaciones potenciales incluyen corregir defectos genéticos, tratar y prevenir la propagación de enfermedades y mejorar los cultivos. En uso popular, “CRISPR” es la abreviatura de “CRISPR-Cas9”. Los CRISPR son tramos especializados de ADN. La proteína Cas9 (o “asociada a CRISPR”) es la enzima que actúa como un par de tijeras moleculares, capaz de cortar hebras de ADN.

Quizás lo anterior refleja lo difícil que es poner un marco alrededor de la reconfiguración de la vida. Al adentrarnos en las posibilidades, los bordes de lo que consideramos humano se desdibujan, lo que nos lleva a plantearnos preguntas existenciales individuales y colectivas. Y la interacción cada vez más imbricada de las tecnologías de la vida con lo digital, a través del concepto de información, no hace sino complejizar los contextos en los que buscamos respuestas a dichas preguntas de sentido humano.

Poder avanzar en el desarrollo de tecnologías que abran más posibilidades en salud y vida implica aceptar que necesitamos de capacidades digitales para procesar información, en una especie de expansión ontológica¹⁰ asistida digitalmente. En los últimos años hemos visto crecer el estudio del comportamiento humano a través de la colección masiva de datos relacionados con la evolución de sus genes, la estructuración de su ADN y la interacción del cerebro con el cuerpo humano.

9 Sin ir más lejos, en mayo de este año, la FDA en Estados Unidos aprobó una terapia génica para la atrofia muscular espinal, una rara enfermedad que desgasta los músculos y que, en su forma más grave, mata a muchos bebés antes de que cumplan 2 años. ¿Su costo? 2 millones de dólares.

10 Ver TUOMI, I., 2018. Ontological Expansion. Handbook of Anticipation [en línea]. Cham: Springer International Publishing, pp. 1-35. Disponible en: http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-31737-3_4-1.

Los humanos modernos son producto de una historia extensa de interacciones, resultado de desplazamientos y dispersiones, separaciones y encuentros. Estas interacciones han sido caracterizadas en las últimas décadas por ser más diversas y de mayor frecuencia, inimaginables décadas atrás. La frecuencia y diversidad de las mismas han permitido el enriquecimiento de datos masivos, que junto con el poder computacional, permiten hacer mejores inferencias sobre patrones de comportamientos sistemáticos, ya sea racional o irracional.

Hoy, estudios de biología molecular, genómica y matemáticas permiten crear algoritmos para analizar mapas de genes en minutos en vez de meses. Los datos masivos ayudan a ensamblar una foto de los componentes moleculares de la vida, lo que facilita el mapeo y cura de enfermedades. Por ejemplo, se puede reconstruir el circuito que está por debajo de las respuestas de las células para desenterrar la mutación de diferentes tipos de cáncer.

No es coincidencia que llamemos virus a cierto tipo de programas computacionales que se propagan en red y utilizan los recursos de los computadores para reproducirse y propagarse. La analogía de la biología es lo suficientemente directa como para que haya pocas dudas de la pertinencia de usar el mismo término. Sin embargo, es sorprendente que en estos dos dominios tan diferentes puedan producirse paquetes informacionales con efectos similares como los virus. ¿Será que son más similares de lo que aparentan? Ya existen intersecciones fundamentales entre, por ejemplo, capacidad de proceso y algoritmos con el análisis del código genético, intersecciones que habilitan una comprensión que de otra manera no sería posible.

El creciente entendimiento de la operación y composición de lo vivo, y su relación con las construcciones tecnológicas y culturales humanas, servirá de telón de fondo para lo que ocurra en las sociedades humanas en lo que queda de este siglo.

3. Anticipación en un mundo en constante cambio

El impacto que las tecnologías han tenido a lo largo de la historia no ha sido siempre apreciado con la claridad que se da en los tiempos actuales. Sobre todo se ha hecho más patente desde la revolución industrial en adelante, a partir de la máquina a vapor creada por James Watt.

Analizados desde esa perspectiva, muchos cambios sociales relativamente recientes tienen en su génesis o evolución un elemento tecnológico relevante. Por ejemplo, lo que hoy llamamos escolarización obligatoria, y nos parece completamente natural, surgió luego de la Revolución Industrial. El cambio en la productividad que trajo consigo abrió posibilidades para grandes transformaciones —como la educación obligatoria— que no eran predecibles algunas décadas antes.

Esa pareciera ser la nueva norma con los cambios socio-tecnológicos. Porque —salvo para los fundamentos biológicos y sociales que nos definen como especie humana— para cada una de las cosas que damos por sentado en nuestro día a día, hubo un instante en la historia previo al cual ni siquiera existía el esquema de pensamiento que hacía posible imaginarlas. Un ejemplo más reciente es el de las redes sociales y su efecto, aún inconmensurable, sobre la vida diaria, gracias a la aparición de los teléfonos móviles inteligentes.

El factor común de estas tecnologías emergentes es lo que denominamos “cambio acelerado”. Eso ocurre cuando el avance en una o más tecnologías posibilita que ellas interactúen entre sí y con la sociedad de una manera distinta, de modo que llegan a alterar de manera radical las prácticas sobre otras disciplinas, o sobre la cultura misma. Este nuevo tipo de interacción es lo que se manifiesta (y se interpreta *ex post*) como una **convergencia** y se materializa en nuevos mercados o productos y en cambios profundos en sectores económicos. Es relevante notar acá —para evitar interpretaciones “predictivistas”— que la naturaleza de estos momentos de convergencia es eminentemente cualitativa y, por lo tanto, rara vez puedan predecirse.

Sumado a lo anterior, por más que poseamos una comprensión profunda de las megatendencias descritas anteriormente, posiblemente erraremos en las predicciones acerca de los grandes cambios que estas traerán. Sucesos no previstos se tomarán el escenario, mientras que algunos muy esperados no aparecerán. Esto tiene sentido si advertimos que las descripciones de fenómenos (como las megatendencias) se basan en modelos construidos para explicar lo ya observado para luego proyectar lo esperado. Lo nuevo y emergente —que incluye las consecuencias de las convergencias tecnológicas— no tiene historia y, por lo tanto, no tiene cabida en esos esquemas.

En este contexto es que nos aventuramos a anticipar posibilidades emergentes de forma no predictiva. En esta dirección hemos identificado tres esquemas que están siendo planteados en otros países:

3.1. Convergencia en un área o sector específico

Susan Hockfield, plantea las posibilidades de la convergencia que se produce como resultado del trabajo conjunto de diversas disciplinas en múltiples campos e industrias. En su reporte “Convergence: The Future of Health”, explora nuevos caminos para abordar patologías tan complejas y diversas como el cáncer, la diabetes y los trastornos cerebrales. En ese documento presenta ejemplos de posibilidades específicas que se abren en algunas convergencias que podrían tener un amplio impacto en los diagnósticos y terapias de próxima generación. Describe cuatro enfoques específicos, que son especialmente promisorios y se presentan a continuación:

- i. **Imágenes:** La visualización de estructuras y procesos dentro del cuerpo se ha convertido en una de las tecnologías más fundamentales en la práctica médica. Un mejor diagnóstico requiere una resolución más alta para ver células individuales o componentes celulares y también para una mayor profundidad de visualización a través de los tejidos del cuerpo. Varias técnicas nuevas permiten imágenes de alto rendimiento a nivel molecular. Distintos métodos de imágenes de todo el cuerpo que se basan en la química, la ciencia de los materiales, la física aplicada, la ingeniería y la ciencia computacional permiten crear nuevas ventanas hacia nuestros cuerpos.
- ii. **Nanotecnología:** La nanotecnología se trata fundamentalmente de fabricar cosas tan pequeñas que miles podrían caber en el punto al final de esta oración. Su tamaño requiere ser lo suficientemente diminuto como para ser transportadas alrededor del cuerpo en el torrente sanguíneo. La ingeniería sofisticada y la ciencia de los materiales pueden crear pequeños y complejos paquetes “nano” para llevar medicamentos u otras terapias a objetivos específicos en el cuerpo. Dichos paquetes pueden detectar enfermedades o incluso matar directamente las células cancerosas con efectos secundarios mínimos. Ya se están realizando ensayos clínicos para su uso en el hígado y el cerebro con un enorme potencial.

- iii. **Ingeniería regenerativa y medicina:** combina bioingeniería avanzada con el desarrollo de materiales avanzados compatibles con el cuerpo. Biorreactores portátiles podrían diseñarse para permitir la regeneración de tejidos. La impresión 3D de células vivas podría usarse para producir nuevos tejidos. El objetivo es mejorar drásticamente la calidad de vida de las personas heridas, los adultos mayores y todos aquellos con partes del cuerpo dañadas o disfuncionales. En ensayos clínicos, ya existen técnicas para volver a hacer crecer los ligamentos y tendones desgarrados. La promesa última es generar tejidos más complejos, como una extremidad o una rodilla entera.
- iv. **Big Data y TICs de salud:** La salud humana depende tanto de nuestros genes como de factores ambientales y de comportamiento, tales como, a qué estamos expuestos, qué comemos y cuáles son nuestras elecciones de estilo de vida. En comparación con la gran cantidad de datos sobre nuestros genes que ahora están disponibles, no existen bases de datos de referencia a nivel molecular sobre exposiciones ambientales o influencias conductuales en la salud y el bienestar. La prevalencia de los dispositivos inteligentes permite comenzar a recopilar dichos datos, ya sea a través de la entrada voluntaria de datos del consumidor o mediante la recopilación de sensores portátiles o implantables. La convergencia de dispositivos móviles inteligentes, sensores cada vez más potentes, que pueden detectar síndromes genéticos a partir de software de reconocimiento facial o detectar la enfermedad de Parkinson a partir de patrones vocales, y los algoritmos de aprendizaje automático tienen el potencial de mejorar el diagnóstico médico y la toma de decisiones.

3.2. *Análisis de trayectorias tecnológicas convergentes*

Tony Seba, profesor de Stanford, plantea un enfoque estructurado para detectar convergencias disruptivas. Se basa en una mirada en varias dimensiones, cada una con elementos que, al ser analizados y proyectados en conjunto, permite identificar eventuales puntos de inflexión en grandes sectores industriales. En ocasiones, esas disrupciones terminan desplazando a los incumbentes en los mercados establecidos o generan mercados completamente nuevos. Entre las dimensiones planteadas por Seba están:

- i. **Tecnologías convergentes:** varias tecnologías, cada una de las cuales mejora a un ritmo diferente, convergen en un determinado momento para permitir el desarrollo de nuevos productos o servicios. Apple y Google lanzaron los productos iPhone y Android con meses de diferencia en 2007. Esto se debe a la convergencia de las tecnologías que hicieron posible el teléfono inteligente, en términos de ancho de banda, imagen digital, pantalla táctil, informática, almacenamiento de datos, la nube, iones de litio y baterías y sensores. Al combinar esta mirada con las curvas de costos tecnológicos y las innovaciones de modelos de negocios, se puede anticipar cuándo convergerá un conjunto de tecnologías y crearán oportunidades para productos y servicios disruptivos.
- ii. **Curvas de costos de tecnologías:** las tecnologías tienen curvas de mejora de costos, que muestran la velocidad a la que una tecnología mejorará con el tiempo. La curva de costos tecnológicos más conocida es la Ley de Moore. Dicha ley postula que la potencia informática se duplica cada dos años aproximadamente. El esquema de Seba estudia el lado económico de estas curvas de mejora tecnológica; es decir, analiza cómo mejora una unidad determinada por dólar. Por ejemplo, para las baterías de litio, el costo por kilowatt-hora (USD / kWh) mejoró a una tasa del 14% entre 1995 y 2009. En otro ejemplo, la energía solar fotovoltaica, cuando se mide en dólares por watt (USD/W), ha mejorado de aproximadamente USD 100 por watt en 1970 a aproximadamente 33 centavos por watt en 2017. Esta es una tasa de mejora de aproximadamente 11.4% por año.
- iii. **Innovación en el modelo de negocio:** la innovación en el modelo de negocio es tan disruptiva como la innovación tecnológica. Una innovación de modelo de negocio es una forma novedosa de crear valor y capturar valor dentro de una nueva red de valor que es posible gracias a una convergencia tecnológica. Los modelos de negocio disruptivos pueden tener una lógica totalmente nueva y un nuevo conjunto de métricas que cambian las bases de la competencia y hacen que sea extremadamente difícil (o incluso imposible) que los titulares se adapten o ganen. Por ejemplo, el servicio de transporte (Uber, Lyft, Didi) es una innovación de modelo de negocio habilitada por la convergencia de teléfonos inteligentes y la nube. Esta convergencia permitió conexiones instantáneas y coincidencia geográfica entre pasajeros individuales y conductores con capacidad adicional de una manera altamente eficiente, conveniente y rentable. Las compañías de transporte (también llamadas viajes compartidos) aplicaron un modelo de corretaje al tomar una tajada de cada transacción.

- iv. **Innovación en productos:** la convergencia tecnológica permite diseñar productos y servicios que resuelvan los problemas de los clientes de nuevas maneras. Estos productos pueden tener capacidades que crean valor en formas completamente nuevas y hasta ahora inimaginables, y pueden hacer que sea imposible que los productos existentes compitan. El termostato NEST es un ejemplo. La convergencia de sensores, comunicaciones móviles, informática, inteligencia artificial y la nube hicieron posible el producto. El NEST aprende los patrones y comportamientos de los usuarios y ajusta las temperaturas automáticamente para que coincidan con sus niveles de comodidad. Para minimizar el uso de energía, el termostato ajusta la temperatura cuando el usuario se va a trabajar. Una aplicación que se ejecuta en teléfonos inteligentes hace posible que el usuario le diga al termostato que encienda o apague el calentador o el aire acondicionado de forma remota. Usando sensores, el NEST sabe cuándo un usuario está en casa y usa inteligencia artificial para ajustar las temperaturas en consecuencia. También tiene la capacidad de comunicarse con la empresa de energía para conocer los precios de la electricidad así como encender y apagar el calentador y el aire acondicionado para ahorrar dinero. Los termostatos tradicionales no podrían hacer esto.

3.3. *Detección de futuros emergentes y convergentes:*

Riel Miller, jefe de Anticipación de UNESCO, plantea que requerimos una nueva ontología del futuro que nos permita hacernos cargo simultáneamente de la planificación predictiva y de la detección de lo emergente. La disciplina liderada por Miller, *Futures Literacy*, plantea un esquema conceptual y metodologías elaboradas para desarrollar la capacidad de explorar rigurosamente futuros en los que ocurren convergencias entre elementos tecnológicos y fenómenos sociales. Dicha capacidad no pretende tener una función predictiva sino que prepararnos para detectar y dar sentido a elementos emergentes en el presente.

Futures Literacy parte de la premisa que los seres humanos tenemos que aprender a mirar hacia el futuro de manera rigurosa para poder hacer sentido de las posibilidades emergentes. Por lo tanto, es vital para tomar mejores decisiones en el presente. La forma en que hoy se considera al futuro es como si fuera un solo futuro hegemónico, que viene inevitablemente en camino. Por ello, culturalmente estamos enfocados en predecir lo que viene para llegar primeros a ese futuro, colonizarlo y ganar. Para *Futures Literacy* el futuro propiamente tal no existe. Si existiera entonces sería el presente. Lo

que existe es una ficción imaginativa, una historia que nos contamos acerca de lo que va a suceder, que nos retroalimenta e influye en nuestras decisiones en el presente. A esa capacidad de imaginar el futuro se le llama **Anticipación**. Su ventaja principal es que no está atrapada en el paradigma de la predicción, sino que es capaz de imaginar el impacto de fenómenos emergentes. En este contexto, *Futures Literacy* distingue dos tipos de Anticipación, ambos necesarios y complementarios:

Anticipación para el futuro: es una manera de abordar la mirada de futuro desde la perspectiva de la planificación, en la que hay que ser efectivos y responsables en visualizar, a partir de los modelos causales, los futuros posibles a partir de los elementos que tenemos ahora a la mano. Acá el futuro es como un objetivo. Un futuro planificado / deseado al que la gente apuesta. Hay muchas acciones basadas en este tipo de futuro, que van desde cuando tomas un paraguas para estar preparado si llueve hasta la planificación para escalar el Monte Everest.

Anticipación para lo emergente: En contraste con el anterior, lo que viene es un “no futuro”. Esto quiere decir que el futuro acá no es una meta u objetivo destinado a estructurar el diseño de apuestas preparatorias y de planificación, sino que es un constructo desechable que no necesita estar limitado por la probabilidad o la conveniencia. Por el contrario, se usa el futuro para detectar y dar sentido a aspectos del presente, particularmente a la novedad, que tiende a ser oscurecida por la Anticipación para el Futuro.

La clave de *Futures Literacy* radica en el desarrollo de la capacidad de comprender, manejar e integrar ambos tipos de **Anticipación**, para hacer sentido de un mundo en constante evolución y tomar decisiones acorde a ello.

CAPÍTULO 4

RADIOGRAFÍA DE LA CTCI EN ALGUNAS CIFRAS

1. Introducción

Esta sección presenta cifras que describen el estado actual del ecosistema de CTCI en Chile. Esta primera versión exhibe datos generales, los cuales son los más empleados a nivel global, y no busca ser una presentación exhaustiva de los datos, sino más bien ampliar la mirada en su diversidad y abundancia.

2. Ecosistema de CTCI

A continuación, se presentan los indicadores que describen el ecosistema en CTCI propiamente tal. La descripción se estructura en torno a los principales indicadores del estado actual del sistema, primero se presentan datos sobre los montos invertidos, a través del gasto de I+D y del presupuesto destinado a CTCI, luego se presentan datos sobre los principales actores del ecosistema (personas e instituciones) y sobre el conocimiento empaquetado (como patentes y publicaciones).

Considerando la información recopilada se puede ver que:

- Chile tiene un bajo gasto en I+D, y este gasto ha crecido en volumen desde el año 2010; sin embargo, esto no se refleja al observarlo como porcentaje del PIB, donde incluso se ve una disminución en el 2017.
- En comparación con los países de las OCDE Chile tiene el menor gasto en I+D como porcentaje del PIB.
- El presupuesto público en CTI ha crecido desde el 2008 hasta el 2017, sus grandes aumentos ocurrieron en el 2009 (31%) y 2010 (21%), con la creación de Becas Chile, y la expansión del FIC.

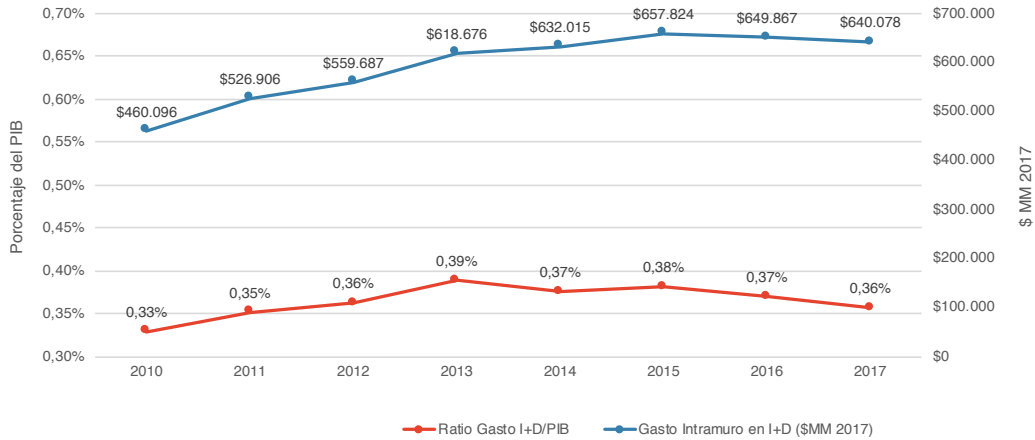
- Analizando el presupuesto en CTI como proporción del PIB, se ve que este alcanza solo un 0,36% en el año 2017.
- En el 2017 el número de investigadores llegó a 9.111 (Jornada Completa Equivalente, JCE). El número total de investigadores en I+D ha crecido en un 39% desde el 2010 al 2017, sus mayores alzas son el sector estado, con un 75% y en las empresas con un crecimiento de un 51%.
- De los investigadores, un 35% corresponde a investigadoras (3.166). El número de investigadoras (JCE) se ha duplicado desde 2010, y la participación femenina ha aumentado de un 31% a un 35%.
- En comparación con los países de la OCDE, Chile se encuentra al final de la lista del número de investigadores, con solo 1,04 investigadores cada 1.000 trabajadores. La diferencia con Dinamarca, el país con más investigadores, es 13,5 veces menor.
- Considerando el número de investigadores cada 1000 trabajadores y el gasto en I+D, Chile tiene recursos humanos escasos y recursos financieros escasos para el desarrollo de la CTI.
- Desagregando el gasto en I+D según el tipo de investigación, se observa que el gasto en investigación aplicada aumentó en 10% el año 2017, en comparación al año 2016, el gasto en investigación básica cayó 3% y el gasto en desarrollo experimental disminuyó 5%.
- En comparación con los países de la OCDE, Chile se encuentra al final de la lista con un 0,15% de doctorados en edad de trabajar, como porcentaje del total de la población.
- Aunque el número de doctores sigue siendo bajo, se observa que ha sido un número en crecimiento. En el área de ciencias naturales y exactas, este crecimiento ha sido mayor, pasando de 68 en el 2000 a 301 en el 2015 y 281 en el 2016.
- Considerando la información de Conicyt sobre los becarios graduados de doctorados, se ve también su evolución positiva a través de los años. Donde los mayores números de becarios se encuentran en ciencias naturales (10.581) y ciencias sociales (9.698).
- El 59,5% de los doctores que viven en Chile tiene menos de 45 años. Proporcionalmente, el grupo que más creció entre 2011 y 2014 de doctores fue el de menores de 35 años.

- El 75,6% de los doctores declara que su empleo principal es en una institución universitaria, solo el 3,8% de los doctores señala que su principal fuente de empleo es en el sector empresarial.
- En Chile han disminuido las universidades sin acreditación y en el año 2019 existen 77 universidades con al menos 2 y 3 años de acreditación, además 5 universidades de Chile están presentes en el Ranking de Shanghái.
- Las empresas innovadoras muestran una disminución en su tasa de innovación general en los años 2009 y 2016, alcanzando un 15,1 % entre los años 2015-2016, versus el 16,6 % alcanzado en los años 2013-2014. El tipo de innovación que más desarrollan es de proceso, y las empresas grandes son las que más innovan.
- El número de patentes solicitadas y adjudicadas por residentes en Chile ha crecido desde el año 2000, llegando a 406 solicitadas y 172 adjudicadas.
- Los indicadores en publicaciones de Scopus y SCImago han crecido en número, además, en relación con otros países de Latinoamérica, Chile en el ranking de SCImago del año 2018 se encuentra en el cuarto lugar.

Evolución gasto en I+D como porcentaje del PIB

El gasto en I+D el año 2017 fue de 640.078 MM de pesos, lo que representa un 0,36% del PIB de 2017. Respecto al año 2016, se evidencia una caída de 1,5%. Esta baja, desde la perspectiva de la fuente de financiamiento, se explica por la disminución en el financiamiento de las empresas, que cayó un 12% el año 2017. La financiación por parte del Estado a I+D aumentó en 2% y los recursos provenientes de IES aumentó en un 8%.

GRÁFICO 1. EVOLUCIÓN DEL GASTO EN I+D Y PORCENTAJE RESPECTO AL PIB AÑOS 2010 – 2017
PORCENTAJE Y MM DE 2017

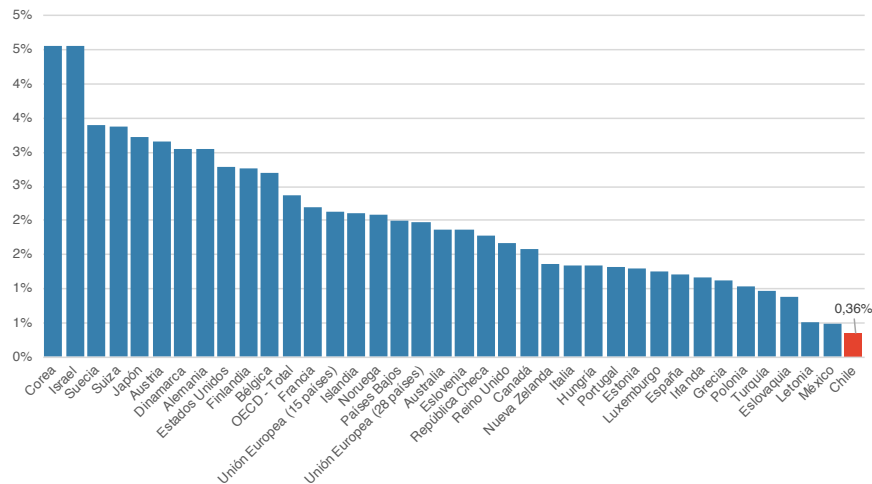


Fuente: MINISTERIO DE ECONOMÍA, FOMENTO y TURISMO (MINECON), 2018. Encuesta sobre Gasto y Personal en I+D año 2017, Resultados preliminares. Santiago.

Comparación gasto en I+D países OCDE

En relación a los países de la OCDE, seguimos siendo el país que menos invierte en I+D.

GRÁFICO 2. INVERSIÓN EN I+D COMPARADO CON EL RESTO DE LOS MIEMBROS DE LA OCDE AÑO 2017
(% RESPECTO AL PIB)

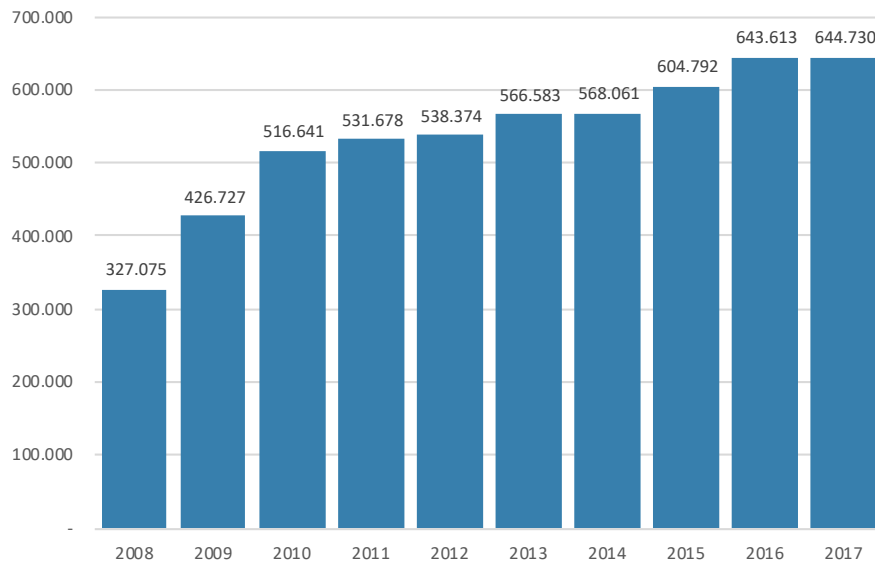


Fuente: MINECON, 2018. Encuesta sobre Gasto y Personal en I+D año 2017, Resultados preliminares. Santiago.

Presupuesto del Gobierno Central en CTI

Considerando el presupuesto del sector público en CTI se observa que entre los años 2008 y 2017 ha aumentado, totalizando una variación de un 97% real. Los principales aumentos se observan entre los años 2009 (31%) y 2010 (21%), que se explican en mayor parte por la creación de Becas Chile y la expansión del FIC. Además, ha habido aumentos importantes en 2013 (5%) explicados por incrementos presupuestarios a Fondecyt, y en 2015 (6%) asociados a aumentos en programas focalizados en emprendimiento (Zahler & Balbontin, 2018).

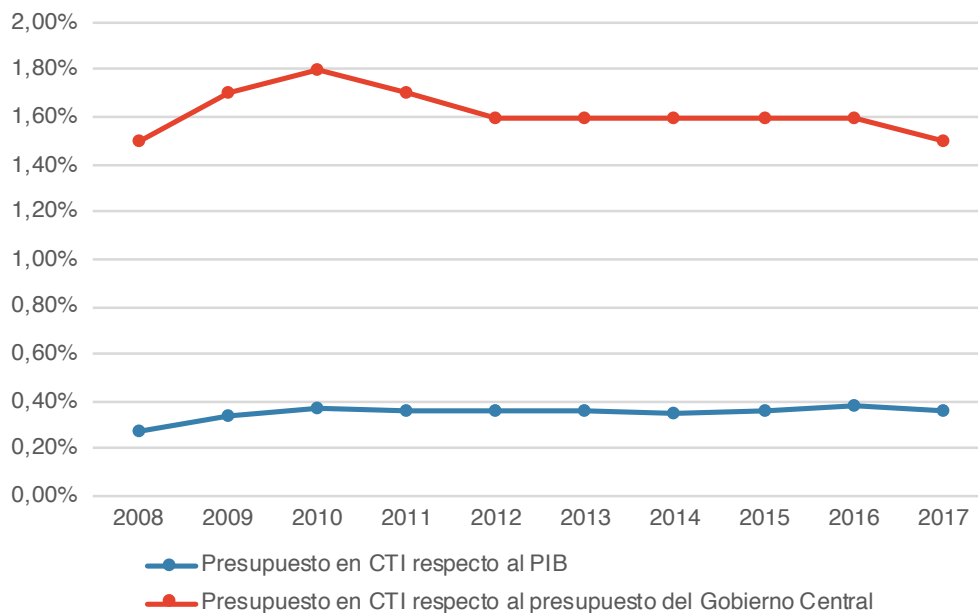
GRÁFICO 3. EVOLUCIÓN DEL PRESUPUESTO EN CTI



Fuente: BALBONTÍN, R., ROESCHMANN, J. y ZAhLER, A., 2018. *Ciencia, Tecnología e Innovación en Chile: Un Análisis Presupuestario*. Santiago: DIPRES.

Luego, analizando el presupuesto en CTI respecto al presupuesto del gobierno central se ve que este representa un 0,36% del PIB para el año 2017. Esta proporción ha estado relativamente estable y la única variación significativa ocurrió entre los años 2008 y 2009, cuando pasó de un 0,27% a 0,35%, dado que el año 2009 se aumentó el presupuesto del Fondo de Innova Chile en un 20% y de Conicyt en un 53%. Observando esta proporción con respecto al PIB se ve que mantiene esta estabilidad, que fluctúa entre 1,5% y un máximo de 1,8% en el año 2010.

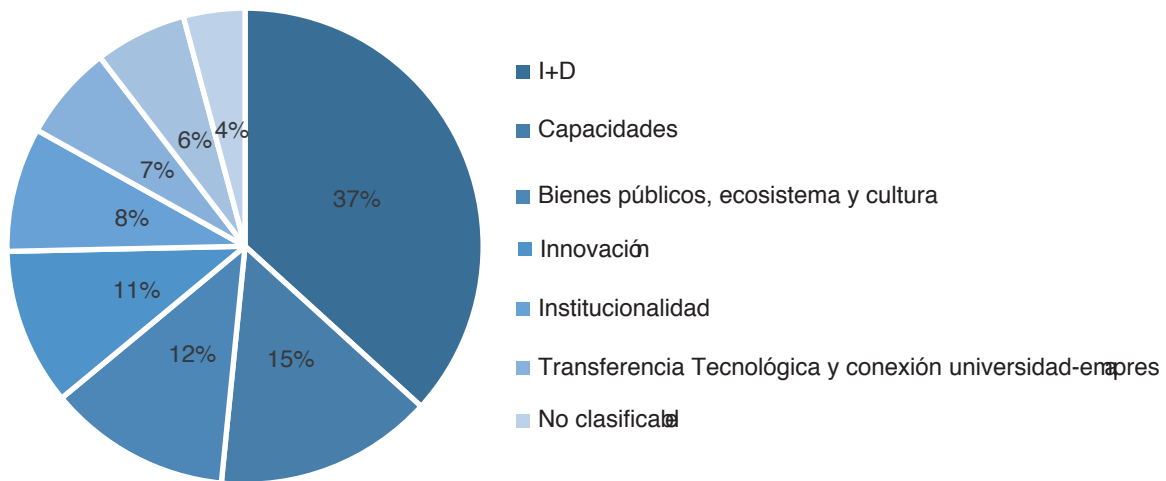
GRÁFICO 4. PRESUPUESTO DEL GOBIERNO CENTRAL EN CTI RESPECTO AL PIB Y RESPECTO AL PRESUPUESTO DEL GOBIERNO CENTRAL EN MONEDA NACIONAL (2008-2017)



Fuente: BALBONTÍN, R., ROESCHMANN, J. y ZAHLER, A., 2018. *Ciencia, Tecnología e Innovación en Chile: Un Análisis Presupuestario*. Santiago: DIPRES.

De acuerdo a la categorización propuesta por Zahler y Balbontin el gasto está compuesto en un 37% de programas cuyo objetivo es la I+D; 15% se destina a programas de fomento a las capacidades; 12% en programas cuya finalidad es el gasto en bienes públicos, ecosistema y cultura; un 11% en innovación; 8% en institucionalidad; 7% para programas de Transferencia Tecnológica y conexión universidad-empresa; 8% del total no se pudo clasificar (principalmente el FIC regional) y un 4% en emprendimiento.

GRÁFICO 5. PRESUPUESTO EN PROGRAMAS DE CTI SEGÚN SU OBJETIVO O PROPÓSITO COMO PORCENTAJE DEL PRESUPUESTO TOTAL EN CTI DEL AÑO 2018

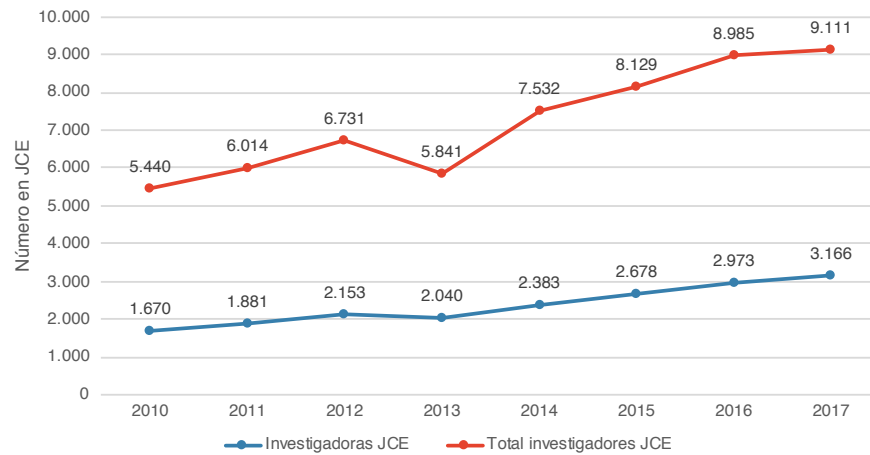


Fuente: BALBONTÍN, R., ROESCHMANN, J. y ZAHLER, A., 2018. *Ciencia, Tecnología e Innovación en Chile: Un Análisis Presupuestario*. Santiago: DIPRES.

Evolución cantidad de investigadores (JCE)

En el año 2017, de acuerdo a la encuesta sobre gasto y personal en I+D el número de investigadores llegó a 9.111 (JCE), de los cuales un 35% corresponden a investigadoras (3.166). El número de investigadoras (JCE) se ha duplicado desde 2010, y la participación femenina ha aumentado de un 31% a un 35%.

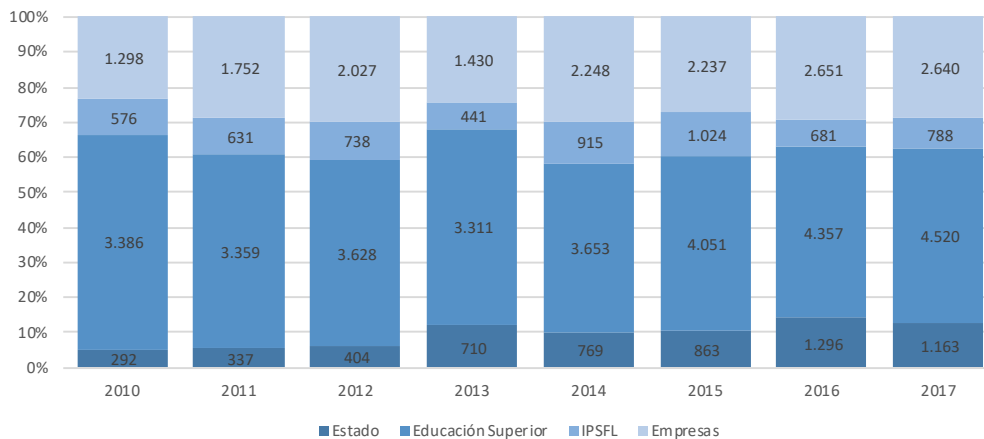
GRÁFICO 6. EVOLUCIÓN DE LA CANTIDAD DE INVESTIGADORES E INVESTIGADORAS (JCE)



Fuente: MINECON, 2018. Encuesta sobre Gasto y Personal en I+D año 2017, Resultados preliminares. Santiago.

El número total de investigadores ha crecido en un 39% desde 2010 a 2017, sus mayores alzas por sector, donde se desempeñan, son el sector estado, con un 75% y en las empresas con un crecimiento de un 51%.

GRÁFICO 7. PORCENTAJE DE INVESTIGADORES (JCE) POR SECTOR DE EMPLEO, POR AÑO

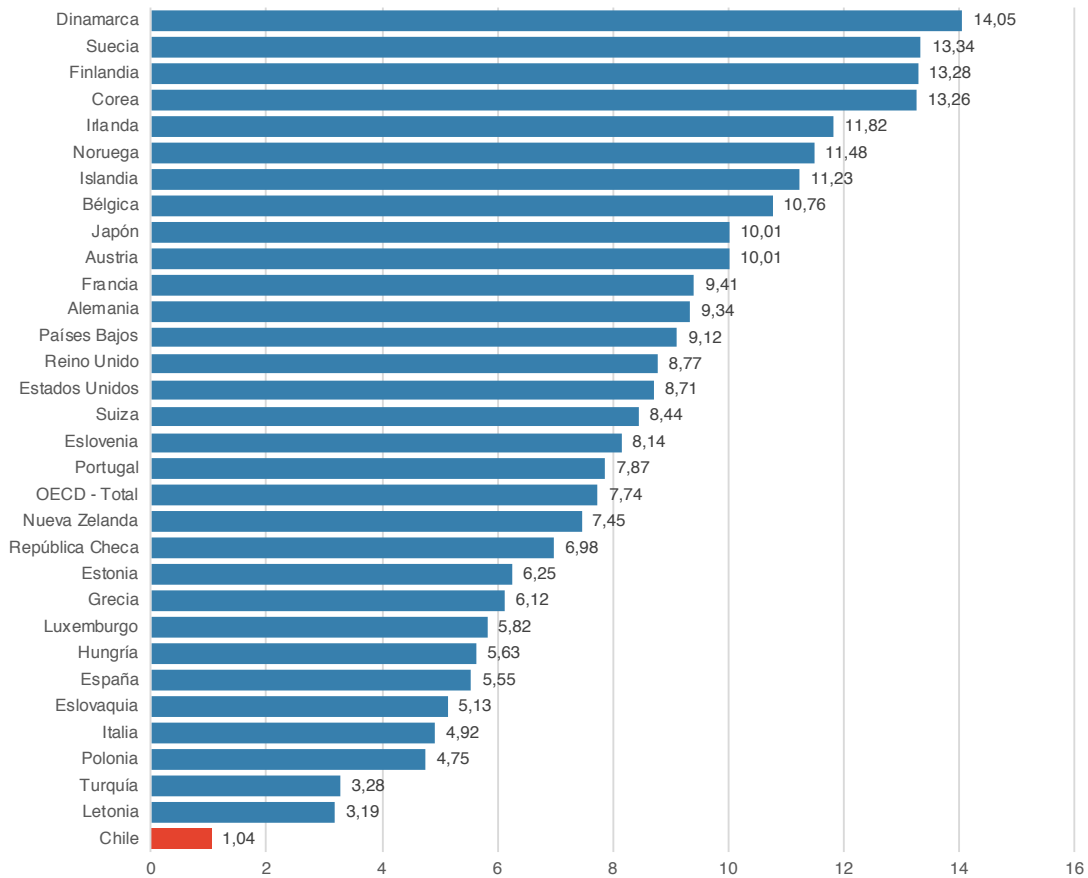


Fuente: MINECON, 2018. Encuesta sobre Gasto y Personal en I+D año 2017, Resultados preliminares. Santiago.

Comparación número de investigadores por cada 1000 trabajadores con los países OCDE

Ahora, en comparación con los países de la OCDE Chile se encuentra al final de la lista, con solo 1,04 investigadores cada 1.000 trabajadores. El país con más investigadores de I+D es Dinamarca con 14,05.

GRÁFICO 8. INVESTIGADORES I+D CADA 1000 TRABAJADORES, AÑO 2017 – MIEMBROS OCDE

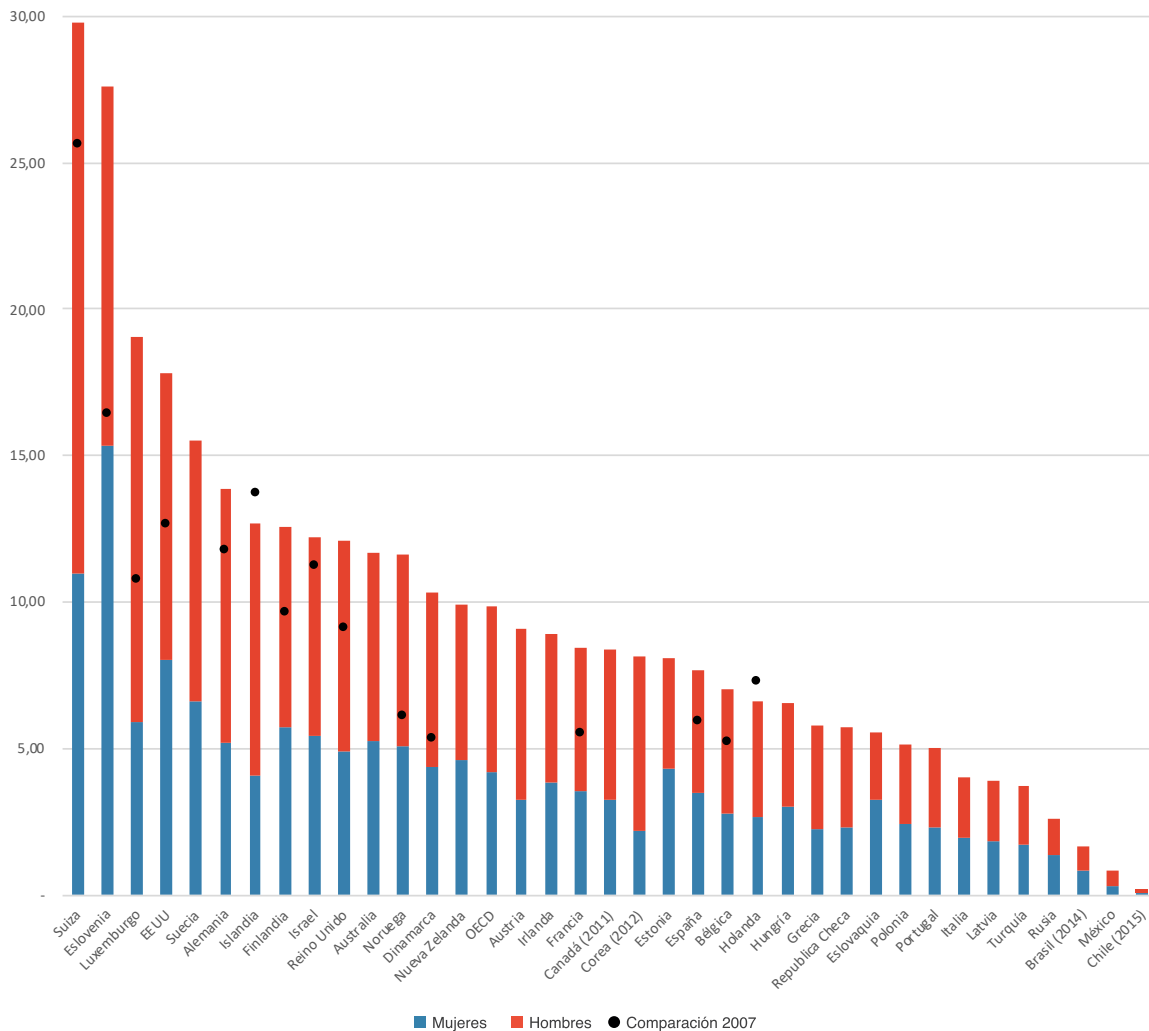


Fuente: MINECON, 2018. Encuesta sobre Gasto y Personal en I+D año 2017, Resultados preliminares. Santiago.

Doctorados:

En comparación con los países de la OCDE (con datos de 2016), Chile está en el último lugar con un 0,15% de doctorados en edad de trabajar, como porcentaje del total de la población. Le sigue México con un 0,8%. En el primer lugar está Suiza con casi un 30%, el promedio de la OCDE es 10% (OCDE, 2018).

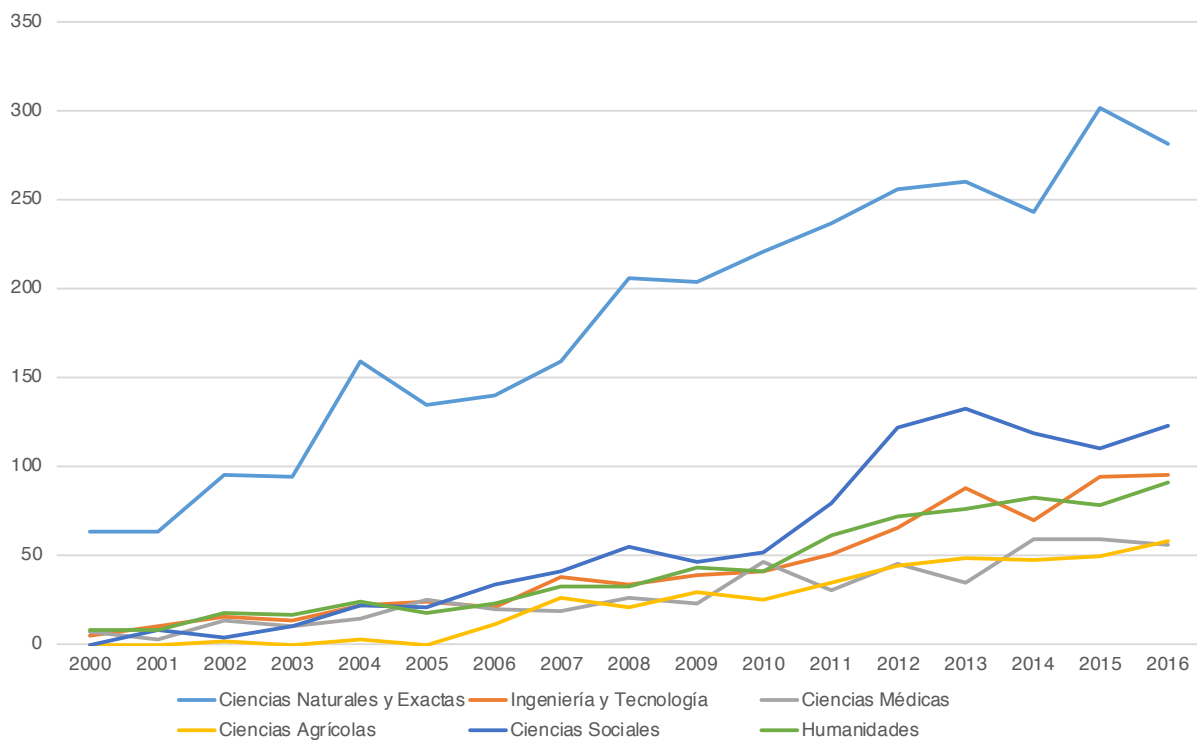
GRÁFICO 11. DOCTORADOS EN EDAD DE TRABAJAR (% DEL TOTAL DE LA POBLACIÓN), 2016



Fuente: OCDE, 2017. OECD Science, Technology and Industry Scoreboard 2017 [en línea]. París: OCDE. OECD Science, Technology and Industry Scoreboard. ISBN 9789264268807. Disponible en: https://www.oecd-ilibrary.org/science-and-technology/oecd-science-technology-and-industry-scoreboard-2017_9789264268821-en.

Aunque el número de doctores sigue siendo bajo, en comparación con otros países, al ver la evolución de los doctorados por área de conocimiento, de acuerdo a datos históricos de la Ricyt, se observa que ha sido un número en crecimiento. En el área de ciencias naturales y exactas, este crecimiento ha sido mayor, pasando de 68 en el 2000 a 301 en 2015 y 281 en 2016.

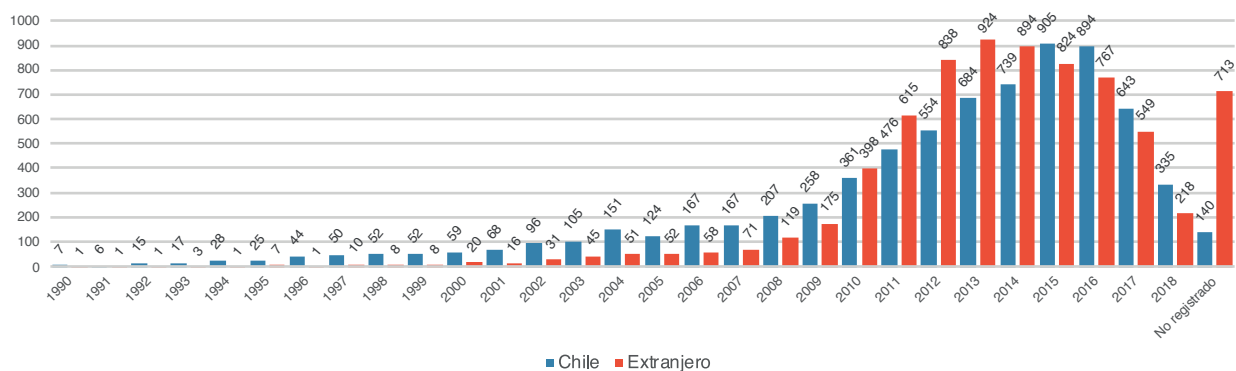
GRÁFICO 12. DOCTORADOS GRADUADOS POR ÁREA



Fuente: RED DE INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, 2019. Web Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: http://dev.ricyt.org/ui/v3/bycountry.html?country=CL&subfamily=CTI_GRD.

Ahora, considerando información de Conicyt sobre los becarios graduados de doctorados, se ve también su evolución positiva a través de los años, en constante crecimiento, tanto para los que estudiaron en Chile como en el extranjero.

GRÁFICO 13. TOTAL GRADUADOS POR AÑO DE OBTENCIÓN DEL GRADO



Fuente: CONICYT, 2019. *Becas para estudios de postgrado en Chile y en el extranjero. Programa Formación de Capital Humano Avanzado [en línea].* [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.conicyt.cl/becasconicyt/estadisticas/informacion-general/>.

Según área de formación, la mayoría de los becarios estudian ciencias naturales y ciencias sociales, para los doctorados las ciencias naturales son más elegidas y en magíster son las ciencias sociales.

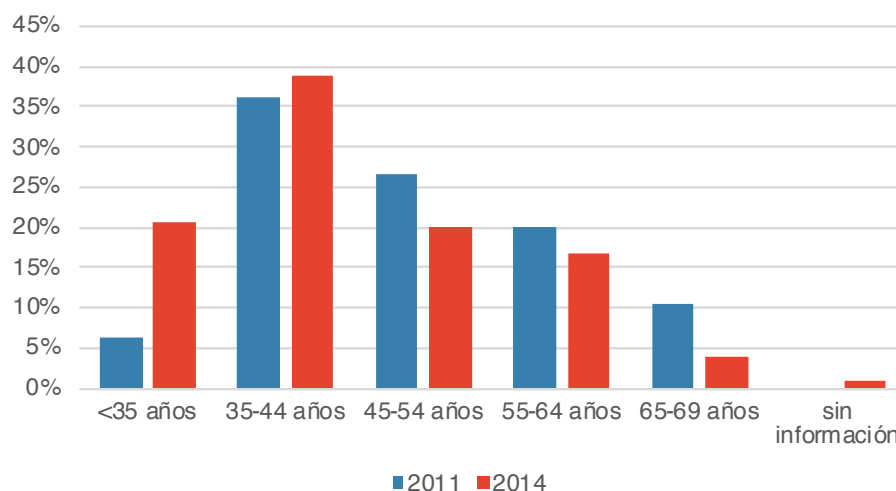
TABLA 1. NÚMERO TOTAL DE BECARIOS CONICYT SEGÚN ÁREA DE FORMACIÓN OCDE DESDE 1990 A 2019

Área OCDE	Número de becarios	Doctorados	Magíster	Apoyo complementario	Otros
Ciencias naturales	10.581	5.852	1.471	2.705	553
Ciencias sociales	9.698	3.654	5.784	117	143
Humanidades	3.765	1.911	1.521	206	127
Ingeniería y tecnología	3.629	1.830	1.170	506	123
Ciencias médicas y de la salud	2.347	901	599	280	567
Ciencias de la agricultura	1.508	921	336	191	60
Sin información	1.121	124	754	219	24

Fuente: CONICYT, 2019. *Becas para estudios de postgrado en Chile y en el extranjero. Programa Formación de Capital Humano Avanzado [en línea].* [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.conicyt.cl/becasconicyt/estadisticas/informacion-general/>.

De acuerdo a la Encuesta trayectoria de profesionales con grado de doctor residentes en Chile (*Careers for Doctorate Holders*) realizado por la División de Innovación (año de referencia 2014) el 59,5% de los doctores tiene menos de 45 años. Proporcionalmente, el grupo que más creció entre 2011 y 2014 fue el de menores de 35 años. Mientras la proporción de los grupos de menor edad creció desde 2011 a 2014, los grupos de mayor edad han ido disminuyendo.

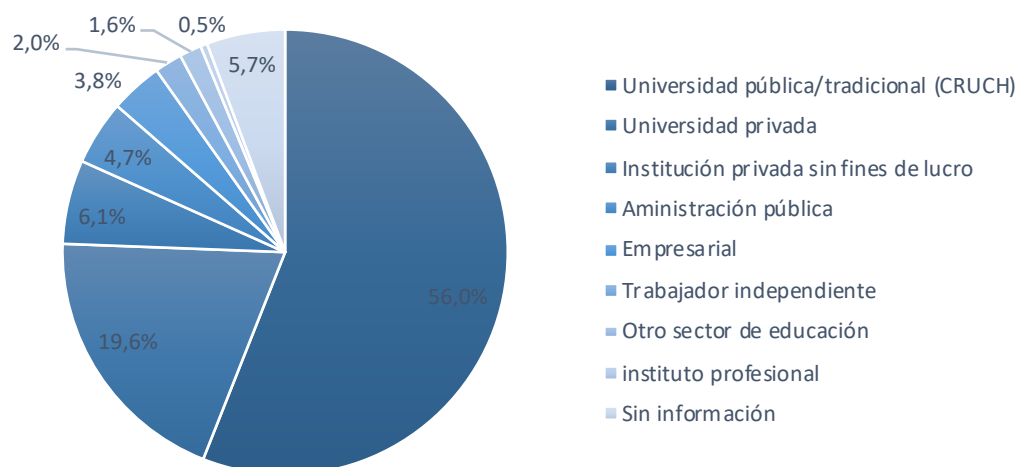
GRÁFICO 14. DISTRIBUCIÓN DOCTORES SEGÚN GRUPO ETARIO



Fuente: MINECON, 2006. Principales resultados proyecto CDH año de referencia 2014. Encuesta trayectoria de profesionales con grado de doctor residentes en Chile. S.l.: s.n.

El 75,6% de los doctores declara que su empleo principal es en una institución universitaria, solo el 3,8% de los doctores señala que su principal fuente de empleo es en el sector empresarial.

GRÁFICO 15. DISTRIBUCIÓN DOCTORES SEGÚN SECTOR DE EMPLEO PRINCIPAL



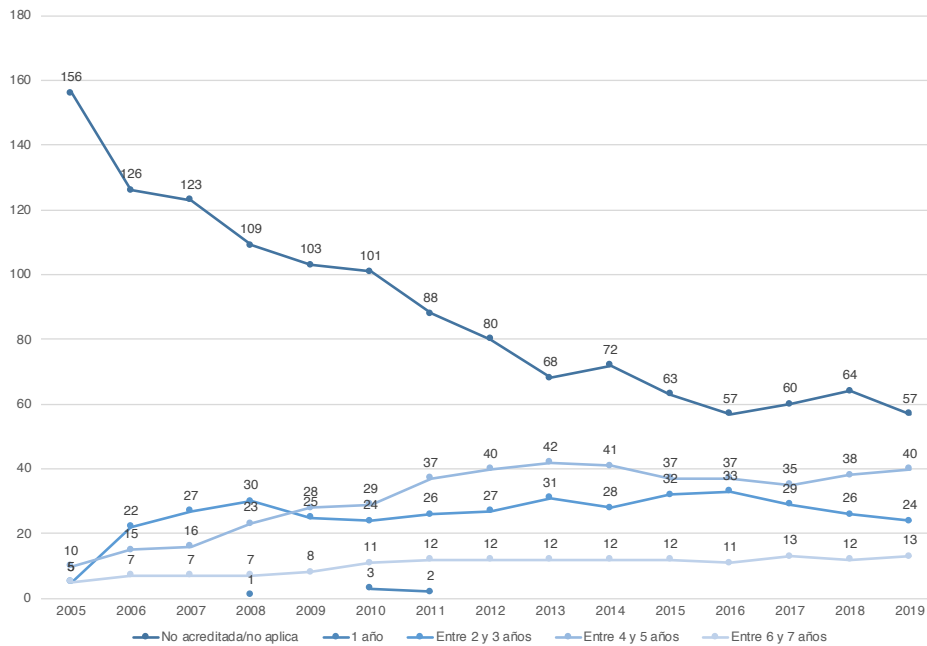
Fuente: MINECON, 2006. Principales resultados proyecto CDH año de referencia 2014. Encuesta trayectoria de profesionales con grado de doctor residentes en Chile. S.l.: s.n.

Universidades

En Chile existen en el año 2019 13 universidades acreditadas entre 6 y 7 años, 40 universidades acreditadas entre 4 y 5 años, 24 universidades acreditadas entre 2 y 3 años, y 57 universidades que no están acreditadas. De acuerdo al *Academic Ranking of World Universities 2019*¹, o Ranking de Shanghai, cinco universidades chilenas están dentro del ranking, una en el rango de las 401-500 a nivel global, y que se encuentra en el noveno lugar en América latina.

¹ ACADEMIC RANKING OF WORLD UNIVERSITIES, [sin fecha]. Academic Ranking of World Universities 2019. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <http://www.shanghairanking.com/ARWU2019.html>.

GRÁFICO 16. NÚMERO DE UNIVERSIDADES SEGÚN RANGO DE AÑOS DE ACREDITACIÓN

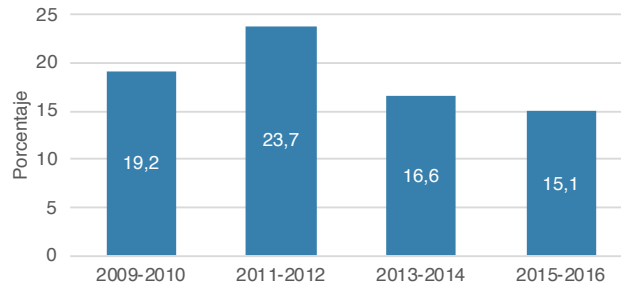


Fuente: CONSEJO NACIONAL DE EDUCACIÓN, 2019. INDICES Educación Superior. [en línea].
 [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <http://cned.cl/indices-educación-superior..>

Empresas innovadoras

La tasa de innovación general (en porcentaje) durante el año 2009 y 2016 muestra una disminución, alcanzando un 15.1 % entre los años 2015-2016, versus el 16.6 % alcanzado en los años 2013-2014.

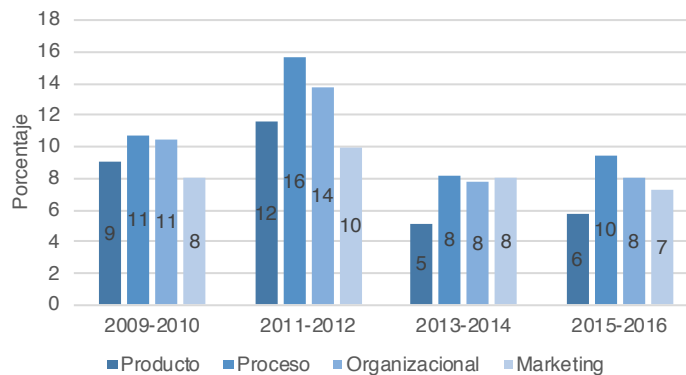
GRÁFICO 17. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE INNOVACIÓN EN EMPRESAS EN CHILE



Fuente: MINECON, 2018. 10ma. Encuesta innovación en empresas (2015-2016) [en línea]. Santiago: MINECON. Disponible en: https://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Beamer_Innova_2015_2016-3.pdf.

Apesar del aumento en las tasas de innovación según Producto, Proceso y Organizacional, esta caída se explica principalmente por el aumento de empresas que hacen más de un tipo de innovación. Sin embargo, al igual que en los años 2013-2014, la innovación de proceso fue la que tuvo la mayor tasa (10 %), seguida por organizacional (8 %) y marketing (7 %).

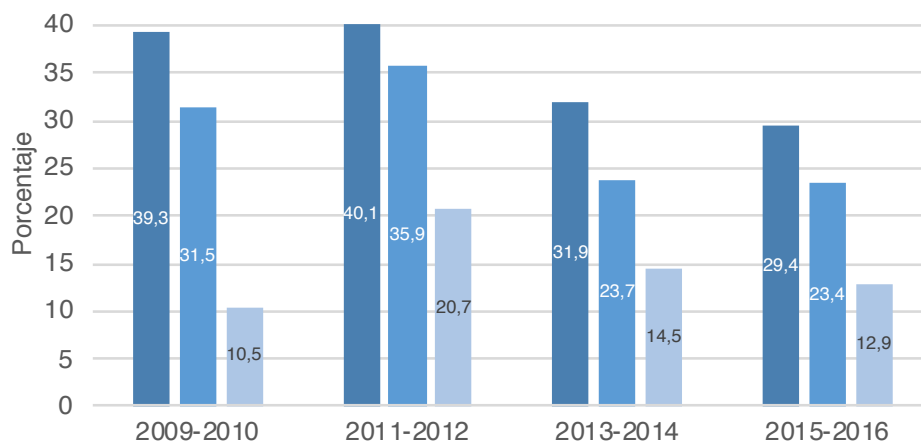
GRÁFICO 18. EVOLUCIÓN TASAS DE INNOVACIÓN SEGÚN EL TIPO DE INNOVACIÓN DE EMPRESAS



Fuente: MINECON, 2018. 10ma. Encuesta innovación en empresas (2015-2016) [en línea]. Santiago: MINECON. Disponible en: https://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Beamer_Innova_2015_2016-3.pdf.

Al observar la evolución por el tamaño de empresa, se ve que los tres tipos de empresas disminuyeron su tasa de innovación.

GRÁFICO 19. EVOLUCIÓN DE LA TASA DE INNOVACIÓN POR TAMAÑO DE EMPRESA (%)

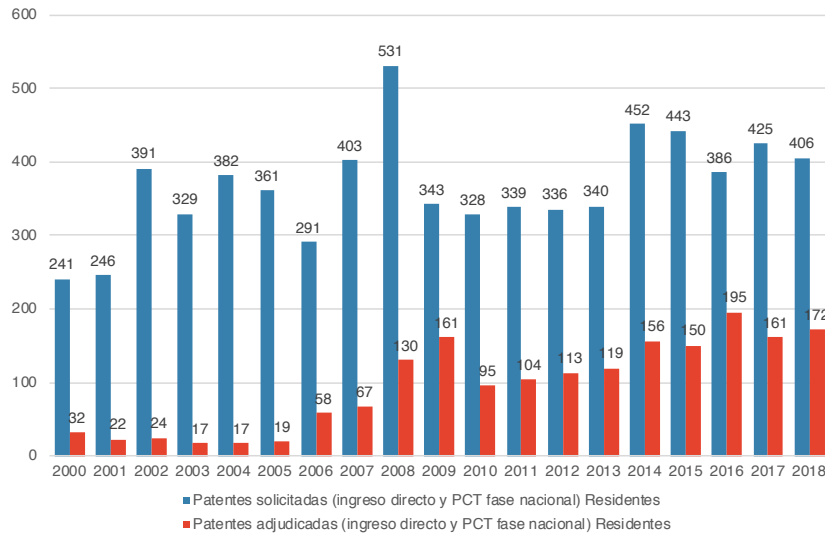


Fuente: MINECON, 2018. 10ma. Encuesta innovación en empresas (2015-2016) [en línea]. Santiago: MINECON. Disponible en: https://www.economia.gob.cl/wp-content/uploads/2018/02/Beamer_Innova_2015_2016-3.pdf.

Patentes

El número de patentes adjudicadas ha aumentado desde el 2005, llegando a 172 en 2018. Las patentes solicitadas también han mostrado un aumento desde 2014, manteniéndose por sobre las 386.

GRÁFICO 20. PATENTES SOLICITADAS Y ADJUDICADAS RESIDENTES



Fuente: ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA PROPIEDAD INTELECTUAL, 2019. *Statistical Country Profiles: Chile*. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: https://www.wipo.int/ipstats/en/statistics/country_profile/profile.jsp?code=CL.

Publicaciones

Al observar los indicadores sobre publicaciones científicas en SCOPUS y SCI, cada 100 investigadores, se ve que el indicador ha ido en aumento desde 2008, llegando a 148,5 publicaciones Scopus por cada 100 investigadores.

TABLA 2: PUBLICACIONES

Indicador	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Publicaciones en SCOPUS cada 100 investigadores (JCE)	101,2	134,6	128,1	128,7	131,0	158,1	146,4	143,5	148,5	148,5
Publicaciones en SCI cada 100 investigadores (JCE)	82,33	111,8	107,3	109,1	108,6	132,9	114,2	118,5	117,7	120,3

Fuente: RED DE INDICADORES DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, 2019. Web Red de Indicadores de Ciencia y Tecnología. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: http://dev.ricyt.org/ui/v3/bycountry.html?country=CL&subfamily=CTI_GRD.

Ranking SCImago

Mirando, en relación con otros países, Chile en el ranking de SCImago del año 2018 se encuentra en el cuarto lugar.

TABLA 4: RANKING PAÍSES EN LATINO AMÉRICA

Nº	País	Papers	Papers citados	Citas	Auto citas	Citas por documento	Índice H
1	Brasil	938.352	888.530	10.225.275	3.363.421	10,9	530
2	México	318.095	298.719	3.760.403	737.110	11,82	411
3	Argentina	209.294	196.041	3.059.605	596.324	14,62	393
4	Chile	147.389	139.063	2.082.880	389.445	14,13	349
5	Colombia	99.301	93.376	947.241	145.857	9,54	261
6	Venezuela	40.072	38.214	475.567	52.758	11,87	205
7	Cuba	39.570	37.602	316.847	56.281	8,01	166
8	Perú	25.175	22.751	370.379	39.297	14,71	212
9	Uruguay	19.229	17.929	319.563	38.309	16,62	179
10	Ecuador	18.795	17.681	193.326	25.436	10,29	149

Fuente: SSIMAGO, 2019. Scimago Journal and Country Rank. [en línea]. [Consulta: 10 octubre 2019]. Disponible en: <https://www.scimagojr.com/countryrank.php?region=Latin America>.

Actores del Ecosistema de CTCIE:

Universidades acreditadas	77
Centros de Excelencia Internacional	12
Hubs de Transferencia Tecnológica	3
Incubadoras apoyadas por Corfo 2018*	15
Emprendedores en procesos de incubación 2018	597
Centro I+D Conicyt	31
Centros financiados por ICM	10
ITPs**	15
OTLs***	33
Empresas spin-off de OTLs registradas el 2019	10
Start-ups seleccionados durante 2019	166
Capitales de riesgo nuevos Corfo 2018	8
Corporate Ventures	28

Fuente: Elaboración propia en colaboración con División de Innovación del Ministerio de Economía, Fomento y Turismo.

** 6 en regiones.*

*** ITPs: hay 2 ITPs en proceso de creación.*

**** 30 en Instituciones de Educación Superior*

Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología,
Conocimiento e Innovación para el Desarrollo

2019