



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

DOCUMENTO TÉCNICO

Chile crea futuro:

Reportes de expertos para cuatro
grandes fenómenos de cambio



Chile
crea
futuro

EJERCICIO DE ANTICIPACIÓN DE
TENDENCIAS /// 2023

CTCI

CHILE, MARZO DE 2023

AUTORES

Kathya Araujo
Alejandra Figueroa
Virginia Garretón
Maite Salazar
José Miguel Piquer G.

EDICIÓN

Katherine Villarroel Gatica
María José Menéndez
Isidora González



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

A continuación presentamos un trabajo que reúne los reportes expertos que sirven de insumo a los diálogos de futuro del proyecto Chile crea futuro del Consejo Nacional de CTCI para el Desarrollo. Estos caracterizan los principales desafíos de dos grandes fuerzas transformadoras provenientes del avance científico-tecnológico: la revolución digital y el avance de la biología, y dos grandes preocupaciones globales: la sustentabilidad y la democracia.

Cómo citar este documento:

Araujo, K., Garretón, V., Figueroa, A., Salazar, M., Piquer, J. (2023). *Chile crea futuro: Reportes de expertos para cuatro grandes fenómenos de cambio*. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. Santiago, Chile.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	5
SÍNTESIS	8
 REPORTE 1. DEMOCRACIA: Desafíos para Chile	19
I. Una inquietud contemporánea	20
II. La Democracia	22
III. Desafíos para la Democracia en Chile	24
IV. A modo de cierre	39
V. Referencias bibliográficas	42
 REPORTE 2. REVOLUCIÓN DIGITAL: Desafíos para Chile	46
I. Antecedentes	47
II. Revolución Digital	48
III. Situación de Chile	49
IV. Estructuración Propuesta	50
V. Conclusiones Iniciales	57
VI. Anexo. Síntesis editada de aportes de las entrevistas	60
 REPORTE 3. PROSPECTIVA SOBRE LA REVOLUCIÓN BIOLÓGICA para Chile	68
I. Resumen	69
II. Introducción	70
III. Tres desafíos globales que moldean el desarrollo de la biología: conocimientos y tecnologías más relevantes	74
1. Desafío: personas sanas	75
2. Desafío: alimentación sana	76

3. Desafío: naturaleza sana	77
IV. Recopilación y categorización de conocimientos y tecnologías relevantes	78
Categoría 1: Comprensión de la relación entre seres vivos y su entorno	79
Categoría 2. Tecnologías “ómicas” con grandes volúmenes de datos	81
Categoría 3. uso, selección y modificación de seres vivos	83
Categoría 4. Bio-procesos y Bio-productos	85
Categoría 5. Sistemas inteligentes que conectan datos-máquinas con seres vivos	87
V. Reflexiones para Chile	90
VI. Referencias bibliográficas	100
VII. Anexos	102
REPORTE 4. DESAFÍOS DE SUSTENTABILIDAD PARA CHILE	110
I. Introducción	111
II. Antecedentes: marco conceptual, enfoques y contexto para LAC y Chile	114
III. Biodiversidad y Sustentabilidad	120
IV. Síntesis y Propuestas	142
1. Análisis para orientar diálogos sobre sustentabilidad	142
2. Perspectiva internacional sobre biodiversidad y sustentabilidad	144
3. Síntesis de entrevistas	145
4. Propuesta de contenidos para los diálogos de futuro	152
5. Justificación	155
V. Anexos	159

*Un país que no piensa,
no planifica y no tiene una estrategia para enfrentar el futuro,
no puede desarrollarse plenamente.*

INTRODUCCIÓN

¿Cuáles son los fenómenos más importantes que marcarán el futuro? ¿Qué tendencias debemos mirar como país para prepararnos? ¿Qué debemos observar para que nuestras políticas públicas y las decisiones del mundo académico y privado se preparen, desde ya?

Cómo **Consejo Nacional de CTCI** -órgano autónomo con la misión es asesorar al Presidente de la República generando orientaciones estratégicas para fortalecer la CTCI y su contribución al desarrollo del país-, tenemos la tarea de **anticiparnos y aportar al análisis de tendencias de futuro**.

Nuestro trabajo en esta área ha sido plasmado en las últimas estrategias nacionales de innovación, y se ha traducido, además, en la generación de diversos reportes que identifican señales de cambio que serán determinantes para el futuro¹.

Continuando con este trabajo, a partir del análisis de reportes internacionales de futuro que fueron sistematizados por el Consejo (**Reporte de Futuro 2022**²) se identificaron grandes fenómenos de cambio global que actualmente marcan tendencias claras de transformación: dos grandes fuerzas transformadoras provenientes del avance científico tecnológico: la revolución digital y la revolución

¹ Ver (Alvarez, 2018), (Alvial, 2018) y (Alvarez, 2022) disponibles en <https://docs.consejoctci.cl/>

² Este documento constituye el segundo reporte de este tipo elaborado por la Secretaría Ejecutiva del Consejo CTCI (el primero se elaboró y publicó en 2018). El mismo se generó a partir de un análisis integrado de un conjunto de reportes de anticipación elaborados por organizaciones internacionales de referencia, con el objeto de adquirir una panorámica global de las tendencias de futuro que se observan hoy en día en todo el mundo y brindar una síntesis de orientaciones para la toma de decisiones estratégicas en nuestro país.

biológica; y dos grandes preocupaciones de contexto: la sustentabilidad de la humanidad en el planeta y la crisis de la democracia y gobernanza global.

La gran pregunta que responsablemente nos corresponde hacernos es qué implicancias tienen estos cuatro fenómenos para Chile, y en particular, cuáles son sus efectos combinados. Para ello, como Consejo CTCI hemos invitado a un grupo de personas provenientes de distintos ámbitos de la sociedad para que, a partir de la comprensión que aporta la CTCI, nos ayuden a reflexionar sobre esos escenarios futuros posibles y sobre cómo podemos prepararnos como país para construir un mejor desarrollo futuro.

Hemos organizado el trabajo en 4 grupos, compuestos por personas provenientes del ámbito de la investigación científica, el sector empresarial, representantes de la sociedad civil y de los centros de pensamiento político, para discutir en torno a las posibles implicancias para Chile que tiene cada uno de estos fenómenos y un quinto grupo integrado por especialistas y tomadores de decisiones de diversos sectores, que analizará de forma transversal estas implicancias.

Nuestro objetivo es -mediante este proceso de discusión ampliado organizado por el Consejo CTCI en base a una adaptación del enfoque STEEP³-, generar una síntesis e integración de los efectos combinados para Chile de estos cuatro fenómenos de cambio.

Este trabajo será publicado y puesto a disposición de la comunidad en general, y en particular servirá de insumo para el mejor diseño de políticas públicas, generando para ello, un informe de avance para el Gobierno de cara a la discusión presupuestaria del próximo año.

³ El **enfoque STEEP** consiste en un sistema de clasificación comúnmente utilizado para el escaneo del entorno que, en el marco de ejercicios de anticipación, permite la identificación y el mapeo de **factores de cambio** que se encuentran influyendo las tendencias de futuro desde cada una de las diferentes dimensiones que considera acrónimo del enfoque: Social, Tecnológica, Económica, Ecológica y Política. Los factores de cambio se definen como factores que, en el largo plazo, probablemente tengan un impacto significativo moldeando el futuro, influyendo de manera sistémica a diferentes escalas, velocidades, direcciones y contextos. Siguiendo esta metodología, estos factores de cambio son luego priorizados en base a una evaluación de impacto-incertidumbre, para finalmente servir de principal sustento a la construcción del relato de los escenarios de futuro plausibles con sus respectivos riesgos y oportunidades asociados (Aporte de Memética consultores).

Desde el Consejo de CTCI tenemos el convencimiento de que proceso y resultado son igualmente relevantes. El valor de esta discusión también reside en la posibilidad de encontrarnos y generar visiones comunes, asegurando una perspectiva sistémica y con diversidad de miradas.

Esperamos que los escenarios futuros que se identifiquen sean llamados a la acción y que orienten la toma de decisiones en distintos niveles. Este primer ejercicio de construcción de escenarios futuros desde el Estado busca transformarse en una práctica permanente, con creciente representatividad y participación ciudadana.

El presente documento, titulado “Reportes de expertos para cuatro grandes fenómenos de cambio”, ha sido elaborado como insumo para los participantes que integrarán las mesas de diálogo. En este se pone a disposición de todos los participantes de este proyecto, los cuatro análisis elaborados por expertos en cada una de las cuatro tendencias identificadas más arriba, además de una síntesis integrada que destaca los principales hallazgos de cada uno. La idea es ofrecer un punto de partida a la discusión que proviene de la investigación en estos temas, y que esperamos sea discutido y ampliado en este proceso.

SÍNTESIS

A continuación se presenta un resumen de los principales planteamientos de los cuatro reportes incluidos en este documento.

DEMOCRACIA

- Se reconoce una preocupación global por el destino de la democracia que se funda, por un lado, en la expansión de señales de pérdida de gobernabilidad de las sociedades y por otro en la emergencia y expansión de regímenes autoritarios o que reflejan un retroceso democrático.
 - *En la actualidad no solo el número de democracias en el mundo se ha estancado, sino que la mitad de ellas está en retroceso, y entre las no-democracias, el 50% se ha vuelto más represiva (IDEA, 2022).*
 - *En América Latina, ha habido un crecimiento del número de dictaduras establecidas en las últimas décadas, un 70% de la ciudadanía en 2020 manifestaba un descontento con el rendimiento de la democracia, hemos pasado desde 14% el 2010 a un 30% el 2021 de personas que declaran tolerar un golpe de estado, un 73% de los ciudadanos de la región en 2020 pensaba que sus gobernantes gobiernan para los intereses de unos pocos, y en casi todos los países una mayoría prefiere un sistema que garantice ingresos básicos/servicios, aunque no haya elecciones. (Corporación Latinobarómetro, 2020), (Lupu, Rodríguez y Zechmeister, 2021).*
- Podemos entender la democracia como un acuerdo social basado en tres grandes promesas. La de mantener la centralidad normativa de igualdad, libertad y del individuo concebido en su relación con el colectivo; el pacto básico y original de la sujeción de los ciudadanos a cambio de la promesa

de bienestar provisto desde quienes gobiernan y; finalmente la de cumplir con la obligación de tener un diseño institucional que responda a las dos promesas anteriores.

- Así, la fortaleza de la democracia se juega en la capacidad de cumplir estas promesas y compromisos. Y esta capacidad descansa en tres factores: la capacidad de generar la adhesión e involucramiento por parte de los ciudadanos; el que su diseño y dinámica institucional resulten virtuosos y no auto-erosivos reflejando transparencia, inclusión, representatividad, etc.; y el soporte que encuentra en factores socio-culturales para su funcionamiento, eficacia y legitimación como régimen de gobierno.
- Respecto de la adhesión, diferentes reportes muestran en Chile niveles crecientes de insatisfacción con la democracia, de desconfianza en los partidos políticos, desafección electoral, percepción de abuso por parte de las instituciones, irritabilidad social, desapego y propensión al uso de la fuerza. En el caso de Chile, los indicadores en las tres dimensiones resultan preocupantes.
 - *Entre 1995 y 2020 la satisfacción con la Democracia disminuyó un 15%, pasando de un 33% a un 18%, mientras que la insatisfacción aumentó un 10%, pasando de un 63% a un 73% respectivamente (Corporación Latinobarómetro, 2020).*
 - *La forma de gobierno democrático no ha dejado de ser aún la forma de gobierno más valorada (49%), pero perdió 12 puntos porcentuales en el curso de un año. Existe hoy un número significativo de personas que declaran que determinadas circunstancias justificarían modelos autoritarios (19%), así como de personas a las que les es indiferente el tipo de régimen, o sea que no evidencian un sostén activo a la Democracia (25%) (CEP, 2022).*

- o Al mismo tiempo, se observa una participación electoral voluntaria baja. En efecto, desde 1990 (Corvalán y Cox, 2015), Chile registra la mayor caída en la participación electoral de todas las democracias del mundo. Pero, también, estamos frente a una alta volubilidad en los apoyos electorales o políticos (COES, 2021), y a una reducción y modificación de los vínculos militantes con los partidos (Iñigo y Beyer, 2022). El 2008 un 42% se identificaba con un partido, en 2018 solo un 23% lo hace, momento en el que solo un 3,2% declara pertenecer a un partido político (PNUD, 2019).*
 - o Sólo el 4% de la población declara confiar en los partidos políticos. Entre 1996 y 2020 la confianza en ellos cayó en un 300% (Corporación Latinobarómetro, 2020). La desconfianza se extiende a otras instituciones democráticas como el Senado y la Cámara de Diputados, ambos con solo un 10% de población que declara confiar en ellos (CEP, 2022).*
- En relación a las dinámicas institucionales se relevan varios factores de riesgo en Chile y en el mundo: el debilitamiento de los partidos políticos -no sólo por falta de adhesión, sino también por factores endógenos a los partidos-; la menor capacidad de respuesta ante las demandas de la ciudadanía que ha provocado la fragmentación del sistema político; la polarización afectiva de la disputa política que ha permitido cada vez mayores caricaturizaciones, simplificaciones y transgresiones éticas en el debate público; la emergencia de nuevos populismos de derecha está implicando una creciente reivindicación del uso de la fuerza para la resolución de disputas; y quinto, la pérdida de espacio y capacidad por parte del Estado para dar respuesta a los problemas de la sociedad controlando a otros actores y procesos.

- Finalmente, respecto de los valores socio culturales que sustentan la democracia, se relevan dos factores principales. Por un lado, el fenómeno de la posverdad y el debilitamiento de la relación de la sociedad con la verdad como principio ético, ya que la Democracia se sostiene en la capacidad de una sociedad de salir de una visión de la realidad singularizada por la propia preferencia o inclinación, y que permita producir una realidad que seamos capaces y estemos dispuestos consensuadamente de reconocer. El Segundo factor se relaciona con los efectos que ha provocado el uso de las nuevas tecnologías de la comunicación y la información en detrimento de nociones como el pluralismo, lo común y lo público, el bien general y el valor de mecanismos institucionales para la mediación entre voluntades.
- En ese marco, una mirada de futuro requiere atender al menos los siguientes elementos:
 - Realignar la acción de los gobiernos democráticos con las promesas que sostienen a la democracia. Por ejemplo, proveyendo experiencias de cuidado a la población y reformular modelos de involucramiento ciudadano en política.
 - Hacer ajustes para que las instituciones, mecanismos y actores democráticos se adapten a las transformaciones que experimenta la sociedad chilena, considerando los partidos políticos y el Estado.
 - Enfrentar a las corrientes culturales contemporáneas que horadan los soportes valóricos de la democracia, por ejemplo, con la exigencia de una ética de la ejemplaridad en las autoridades políticas; sanciones informales a las trasgresiones a los acuerdos de la civilidad; la generación de campañas educativas; la promoción de una argumentación ética en los mensajes público-políticos.

| REVOLUCIÓN DIGITAL

- En los últimos 30 años la humanidad ha experimentado un cambio tecnológico profundo, debido a la unión de varias tecnologías y fenómenos: las telecomunicaciones (Internet), la computación (hardware y software) y la masificación de usuarios en todo el planeta, que podemos reconocer como una revolución, que para algunos puede ser aún más radical que la revolución industrial, por sus implicancias en nuestras vidas y sociedades futuras.
- Chile es reconocido como un pionero tecnológico en la región.
 - *En 1987 el dominio “.CL” fue el primer dominio latino-americano en existir, en 1992 también fuimos el primer país de la región en conectarse a Internet, en 1993 levantamos la primera web de Latino-américa. El programa Enlaces dio computadores y conectividad a los colegios de Chile en un esfuerzo pionero a nivel mundial. A comienzos de este siglo, el Servicio de Impuestos Internos y el Registro Civil fueron grandes ejemplos de tecnología de punta al servicio de la ciudadanía.*
 - *Se cuenta con buena infraestructura física y seguimos teniendo la Internet más rápida de América Latina. Pero, falta cobertura y resiliencia.*
- De cara al futuro, es importante reconocer que no podemos saber qué cambios específicos producirá la revolución digital, por lo Chile debe prepararse considerando los factores habilitantes que permiten al país participar del desarrollo digital, el impacto social de la revolución digital y el avance de diversas tecnologías relevantes.
- Se requiere al menos: infraestructura (datacenters, nubes, conectividad nacional de alta velocidad, penetración de Internet, tecnologías móviles

avanzadas y masificadas), capital humano (pensamiento computacional, nivel de formación en el sistema universitario y profesional) y un eco-sistema de emprendimiento digital (Startup Chile sigue siendo un ejemplo de nivel mundial).

- Bajo esta misma premisa, se hace necesario apoyar la innovación digital en diversos ámbitos y hacer disponible transversalmente esas capacidades, pero al mismo tiempo conectar estas tecnologías habilitantes con aquellos espacios y sectores que son parte de las ventajas locales-territoriales que posee el país, tales como la biodiversidad, geografía, cultura, que son en sí mismas atractores de talentos y capacidades de innovación de todas partes del mundo.
- El impacto social se expresa claramente en los impactos negativos y positivos que la revolución digital puede tener en el ámbito de la educación, las implicancias en distintas dimensiones de las redes sociales y la amenaza que esto puede representar para el pensamiento crítico.
- En términos de regulación, hay coincidencia en la necesidad de que la regulación verse sobre los problemas que se derivan del uso de las nuevas tecnologías, en lugar de las tecnologías mismas, que cambian aceleradamente y que muchas veces pueden ser redefinidas para saltar esas reglas.
- Finalmente, respecto de las tecnologías mismas, es muy difícil elegir cuáles son clave, y cuáles Chile no puede dejar de mirar. Existe coincidencia en los grandes riesgos y oportunidades que derivan de la inteligencia artificial, el pensamiento computacional y el rol del emprendimiento digital.

| REVOLUCIÓN BIOLÓGICA

- Los conocimientos y tecnologías de la biología han permitido avances importantes en salud y acceso a alimentos en los últimos siglos. A su vez, han generado costos, e importantes desacuerdos, por ejemplo, en torno a los organismos genéticamente modificados.
- La biología como ciencia está en un momento de apogeo y reúne una gran cantidad de conocimientos y tecnologías en discusión actualmente a nivel mundial. Para abordar su impacto se pueden considerar tres grandes áreas de preocupación humana: personas sanas con acceso a la salud efectiva y oportuna; alimentos sanos, nutritivos, accesibles y sustentables; y naturaleza sana y disponible para sostener la vida por muchas generaciones.
- A su vez, el desarrollo mismo de conocimientos y tecnologías de la biología reciente puede agruparse en cinco categorías: la integración de conocimientos para llegar a una comprensión holística de los seres vivos en su entorno; las tecnologías ómicas que se caracterizan por usar grandes volúmenes de datos de seres vivos; las biotecnologías que modifican, crean y usan seres vivos; los bioprocesos y bioproductos; y finalmente, los sistemas inteligentes que conectan máquinas con seres vivos. Todas ellas pueden afectar a uno o más de estos tres desafíos, de maneras más o menos directas y/o simultáneas.
- A nivel país estamos frente a dos grandes tensiones: por un lado, promover el desarrollo de conocimientos de vanguardia, con mirada global, que podrían tener implicancias para el bienestar futuro; y por otro lado, la ausencia de conocimientos locales pertinentes, y la precaria socialización de los que sí tenemos.

- Bajo este marco, las posibilidades de futuro para Chile requieren como base fundamental de un vínculo más profundo entre la ciencia y sociedad, incorporando espacios de educación y socialización de conocimientos que sean participativos y permanentes, tanto para la generación de consensos amplios y democráticos, como para el desarrollo del pensamiento crítico, reflexivo y con perspectiva de futuro. Esto supone contar con un sistema CTCI descentralizado y sostenible en el tiempo, que incorpore la mirada de la sociedad en los cruces entre conocimiento, tecnología, regulación y ética.
- Contar con sistemas de transferencia e intercambio de conocimientos es crítico, ya contamos con soluciones que no están siendo aprovechadas. Para ello se requiere de: capacidades e infraestructura para recolectar, procesar y analizar grandes cantidades de datos; promoción de la multidisciplinariedad y enfoques integrativos para entender la complejidad de los sistemas vivos en sus contextos, en lugar de manera aislada, además de sustentar la transferencia de conocimientos; aprovechar el desarrollo de conocimientos de vanguardia a nivel global, al tiempo de reducir la brecha de conocimiento sobre nuestras propias realidades locales.
- También es relevante considerar que los sistemas de ciencias y nuevas tecnologías en biología permitan, por ejemplo, flexibilidad, resiliencia y diversidad en los desarrollos tecnológicos para evitar cerrar nuestras opciones. Enfoques de gobernanza basados en la investigación e innovación responsable buscan promover una discusión amplia centrada en todo el ciclo de vida del proceso de innovación y desarrollo tecnológico, que pone foco en las motivaciones y objetivos de la investigación y no sólo en la predicción y manejo de los riesgos de las aplicaciones.

| SUSTENTABILIDAD

- Se parte de la comprensión de que la sustentabilidad está determinada por las formas de desarrollo elegidas, y para realizar esa elección es imperativo comprender cómo se vincula la naturaleza y desarrollo, es a partir de esta relación que será viable o no la sustentabilidad humana.
- Esta comprensión, que ha ido evolucionando, muestra la dependencia que existe entre los requerimientos de la sociedad y la economía respecto de la biodiversidad. La biodiversidad integra a todos los organismos vivos, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos o continentales, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. La biodiversidad hoy está bajo grave amenaza.
 - *A escala mundial, el 75 % del suelo y el 66% del medio marino se han visto afectados como resultado del uso de suelo por la agricultura no sostenible y de contaminantes directa e indirectamente vertidos al ambiente marino. Cada año se aplican alrededor de 115 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados minerales en las tierras de cultivo; una quinta parte del nitrógeno se acumula en el suelo y biomasa, y el 35% llega a los océanos (IPBES, 2019).*
 - *La deforestación de la Amazonía tendrá efectos en el ciclo de precipitaciones y en la producción de alimentos, haciendo que la selva tropical se convierta en sabana, cuyos costos podrían ser de 257.000 millones de dólares sólo para la región, (CISL, 2022).*
- La región Latinoamericana posee una riqueza natural única y relevante para el planeta.
 - *Latinoamérica posee la mayor diversidad de especies y ecorregiones del mundo y América del Sur, concentrando a nivel mundial el 40%*

- de la biodiversidad, El 26% de los recursos de agua dulce y el 25% de los bosques (Bovarnick A, F Alpizar & C Schnell, 2010).*
- o En Los Andes del Norte y del Sur de América del Sur está más del 20% de la biodiversidad de todo el planeta y el 10% del agua dulce del mundo, críticos en la provisión de bienestar a la población mundial, tanto es así que se estima que su contribución monetaria alcanza a los 24,5 millones de dólares, mayor al PIB regional (Lehm, Z., Pliscoff, P., Bardi, F., Rodriguez, C., Martínez-Salinas, A., 2019).*
 - o Las soluciones basadas en esta región podrían contribuir en más de un tercio de la mitigación del clima necesaria desde ahora hasta el 2030 para estabilizar el calentamiento del planeta por debajo de los 2°C.*
 - o Una evaluación sobre el estado de salud de los ecosistemas terrestres de América y el Caribe en 2019, mostró que el 80% de los tipos de bosque y el 85% de la superficie forestal actual están potencialmente amenazados (Ferrer-Paris, et al., 2019).*
- Chile es un país excepcional, con diversidad de ambientes, climas y geografía que permiten la expresión de una diversidad de ecosistemas y especies.
 - o En el país se han descrito 127 ecosistemas terrestres (pisos vegetacionales), de este a oeste corren 101 ríos principales, a lo largo de los cuales se expresan multiplicidad de humedales, de diversas formas, que ocupan 5,6 millones de hectáreas aproximadamente, cuya mayor superficie corresponde a los humedales de turberas, al sur de los 45 °S, y otros, no menos importantes como los andinos y costeros, se expresan a lo largo del país (Figueroa, A., 2018).*

- o *Respecto de la diversidad de especies, Chile presenta una baja diversidad con solo 31.000 especies nativas de animales, plantas, hongos e insectos, sin embargo, su alto endemismo refleja los atributos y singularidades irrepetibles, equivalente al 25% del total de especies conocidas que habitan en condiciones únicas (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).*
 - o *La mayor diversidad de especies se encuentra en los ecosistemas áridos del norte del país y los grupos de especies más amenazados son los anfibios y los peces, con un 71% de especies en alguna categoría de amenaza en el primer caso y con 83% para el segundo grupo (Ministerio del Medio Ambiente, 2020).*
- La sustentabilidad humana depende de los equilibrios de la biósfera y de la conservación de la biodiversidad en todas sus formas, la degradación del “capital natural” tiene íntima relación con el “capital social”, su capacidad para enfrentar cambios, riesgos o reponerse, ambos son sistemas complejos y cambiantes, por ello es preciso profundizar y escalar estudios y ejercicios concretos en el país. Para abordar este gran desafío del que depende el futuro de la humanidad, se plantean tres grandes factores a considerar: Conocimiento y Ciencia; Política Pública y Capital Social.
- Respecto de Conocimiento y Ciencia, la necesidad es avanzar en una mejor comprensión de la biodiversidad, el desarrollo y el bienestar humano, como sistemas integrados e interdependientes, interpretando los factores subyacentes a la crisis climática. Esto implica fomentar la creación de conocimiento transdisciplinario para enfrentar los problemas y aproximarse a las soluciones.
- En política pública, se requiere crear y mejorar espacios y procesos de toma de decisión y de evaluación de política pública con el objetivo de

garantizar el avance hacia un desarrollo resiliente y sostenible, por ejemplo, incorporando el riesgo climático y la pérdida de biodiversidad en decisiones de finanzas nacionales y empresariales. En este mismo sentido, se recomiendan esquemas de gobernanza adaptativa para la sustentabilidad, que reconozcan la complejidad y diversidad y sean fuente de procesos democráticos robustos.

- Finalmente, pensar en los desafíos futuros de la sustentabilidad humana en Chile, requerirá de un esfuerzo político y social, para conducir estrategias futuras de ciencia y tecnología, fomentando la investigación trans, multi e interdisciplinaria. Asociado a lo anterior, los avances en compromisos ambientales deben ser transversales en las políticas, regulaciones y leyes, habilitando nuevos esquemas de gobernanza que permitan dar lugar a políticas públicas coherentes, tanto en su diseño como en su implementación, fortaleciendo el capital social.

DOCUMENTO TÉCNICO

REPORTE 1. DEMOCRACIA: Desafíos para Chile

Kathya Araujo



I. Una inquietud contemporánea

En la actualidad la preocupación por el destino de la Democracia en el mundo es compartida por analistas, académicos/as y actores políticos. Esta preocupación y su relevancia se ha justificado por el hecho que la Democracia continuaría siendo, a pesar de sus límites y contradicciones, el sistema de gobierno que garantizaría de mejor manera la libertad, los derechos de las personas, y un equilibrio mayor en la distribución del poder entre gobernantes y gobernados.

Las inquietudes por el destino de la Democracia como forma de gobierno se relacionan con dos tendencias preocupantes. Por un lado, la expansión de señales, y por tanto del temor concomitante, de pérdida de gobernabilidad de las sociedades. Por otro lado, la emergencia y expansión de regímenes derechamente autoritarios, pero también de nuevas fórmulas en las que el retroceso democrático -como han subrayado Levitsky y Ziblatt (2018)-, empieza en las urnas. Ejemplos de esto último son las autocracias electorales (concentración del poder en una persona que accedió al poder vía elecciones) o las democracias iliberales (aquellas que, aunque siguen principios básicos de la Democracia se organizan de manera reactiva en oposición a diferentes principios liberales). Estas inquietudes se agudizan frente a la evidencia de que las señales de alerta hacen su aparición incluso en democracias constituidas y en funcionamiento.

Según International IDEA (2022), en la actualidad no solo el número de democracias en el mundo se ha estancado, sino que la mitad de ellas está en retroceso, y entre las no-democracias, el 50% se ha vuelto más represiva. Más aún, señalan que en países cuyas democracias parecen gozar de relativa buena salud, se observan patrones preocupantes que ponen en riesgo a la misma. Es decir, que no solo hay un avance de los autoritarismos sino también un deterioro gradual de las democracias mismas. De otro lado, también las formas de gobernanza han sido afectadas. Bajo el impacto de la pandemia del COVID-19,

han sido impulsadas formas de gobernanza autoritaria, las que redibujan la relación entre el estado y las personas, especialmente en lo que concierne a la libertad de las mismas, y entre los estados mismos. Adicionalmente, estamos frente al peligro de que emerjan formas de gobernanza global proteccionistas y nacionalistas que lleven a un aumento de tensiones entre estados o bloques.

En el caso de América Latina, en las últimas décadas ha habido un crecimiento del número de dictaduras establecidas (de 1 a 4; a Cuba se sumó Venezuela, Haití y Nicaragua). Se observa un consistente descontento con los rendimientos de la Democracia, el que en el año 2020 concernía a 70% de la ciudadanía (Corporación Latinobarómetro, 2021), aunque no necesariamente una puesta en cuestión del tipo de régimen en sí. Adicionalmente, existe suficiente evidencia de que buena parte de las democracias latinoamericanas exhibe signos de debilitamiento del apoyo ciudadano a sus principios. Por ejemplo, cada vez más personas están dispuestas a tolerar un golpe de estado del ejecutivo (pasó de un 14% el 2010 al 30% el 2021), y en casi todos los países la mayoría prefiere un sistema que garantice ingresos básicos/servicios, aunque no haya elecciones (Lupu, Rodríguez y Zechmeister, 2021). Todo esto sumado a que América Latina aparece como la región con la población más desconfiada del mundo (Haerpfer, C. et al, 2022), siendo la confianza un elemento básico para el funcionamiento de la Democracia. Para el año 2020 el 73% de los ciudadanos de la región declaraba pensar que sus gobernantes gobiernan para los intereses de unos pocos (Corporación Latinobarómetro, 2021),

En este contexto global y regional, los factores erosivos o de debilitamiento de la Democracia, además, amenazan con robustecerse gracias a los desafíos más importantes que enfrentamos hoy y que se avizoran como los mayores para el futuro cercano: los riesgos asociados con la recesión mundial, el cambio climático, las pandemias y las guerras que hacen re-emergir la amenaza nuclear. Pero, al mismo tiempo, y recíprocamente, la pérdida de fortaleza de la Democracia

complica el enfrentamiento de estos desafíos, y, con ello, cuestión especialmente importante, abonan al riesgo de ingobernabilidad y a la progresión de las fórmulas autoritarias. Todo lo anterior hace especialmente sensible la necesidad de identificación, estudio e intervención sobre estos factores erosivos y sus consecuencias.

II. La Democracia

La Democracia es una noción siempre en disputa, y una realidad siempre imperfecta y siempre cambiante: un proyecto inherentemente destinado a permanecer inconcluso. Esto explica los encendidos debates que han atravesado el tiempo y que no terminan por ser zanjados. Por ejemplo, sobre lo que debemos entender por el interés común (Arendt 1996) o las disputas en torno a las ventajas o desventajas de la Democracia representativa respecto de aquella directa o participativa (Kalyvas 2009; Pitkin 1972). Pero, también, las divergencias acerca de cómo entender la estructura de la acción política en el contexto democrático: consensual-comunicativo (Habermas 1987), conflictivo-agónico (Mouffe 2007), o, aún más radicalmente, irruptivo (Rancière 2007).

Sin embargo, y a pesar de estas diferencias, es posible considerar que hay algunos puntos en los que, en términos generales, pareciera haber un consenso entre quienes han pensado y piensan sobre este modelo de organización política. La Democracia comporta tres grandes promesas. Por un lado, la noción de Democracia sea cual sea la forma que tome, implica mantener la centralidad normativa de tres dimensiones: la igualdad, la libertad o autonomía, y el individuo concebido en su relación con el colectivo (Donegani y Sanoun 2007). Por el otro, la Democracia supone un pacto básico y original que es el de la sujeción de los ciudadanos a cambio de obtener ciertos grados de bienestar por parte de aquellos quienes gobiernan. Finalmente, la Democracia promete cumplir con la obligación de tener un diseño institucional que responda a las dos promesas anteriores, tanto

a sus principios normativos como al cumplimiento de su pacto original. Lo anterior, por ejemplo, manteniendo procesos electorarios limpios y transparentes o respetando la libertad de expresión, para mencionar un par. Pero, la Democracia depende también de que sus principios encuentren eco y sostén en elementos culturales (valores, principios, usos, etc.) en vigor en una sociedad.

La fortaleza de la Democracia se juega en la capacidad de cumplir estas promesas y compromisos.

Consecuentemente, y partiendo de este marco, entendemos que la fortaleza de una Democracia dependerá, en buena medida, de al menos tres condiciones:

- 1) de la capacidad de generar la **adhesión e involucramiento** de los ciudadanos que den sostén a su existencia y su funcionamiento, lo que en buena medida depende de si, cómo, en qué términos, y de qué manera se concretan sus principios normativos (igualdad, autonomía, individuo); pero, también, de la manera en que se cumple el pacto básico que la subtiende (sujeción por bienestar);
- 2) de la magnitud en que su **diseño y dinámica** institucional resulten virtuosos y no auto-erosivos, así como del grado de consistencia que ellos, diseño y dinámica, tengan respecto de los individuos o la sociedad en la que buscan encarnarse (transparencia, inclusión, representatividad, etc.); y
- 3) del soporte que encuentre en **factores socio-culturales** para su funcionamiento, eficacia y procesos de legitimación, como por ejemplo, la extensión en la sociedad del valor de la libertad o del rechazo a usos de formas coactivas o violentas.

Ahora bien, la Democracia implica una dimensión normativa, pues establece una forma de gobierno, sus componentes y sus mecanismos, como los más

adecuados y convenientes para la vida en común. Pero, ella no existe sino en tanto modelo normativo que es puesto a prueba en el encuentro con una realidad social específica. Esto es, con las formas estructurales que toma esa sociedad, las lógicas societales que reinan en ella, y las formas concretas que toman las relaciones entre sus miembros en un momento histórico determinado. Por eso es indispensable analizarla en relación con realidades socio-históricas concretas.

Al mismo tiempo, como lo hemos discutido en un estudio anterior (Araujo, 2017), en sociedades como las actuales, la Democracia, y sus promesas, se pone a prueba en las experiencias ordinarias de las personas, más que en discursos o nociones abstractas. La puesta a prueba de la Democracia, es decir la puesta a prueba del cumplimiento de sus promesas, se desarrolla en el campo de lo que acontece en los encuentros reales o virtuales con los otros concretos, sean individuos o instituciones. El análisis del estado de la Democracia supone incorporar esta visión socio-históricamente situada, y una perspectiva que ponga el foco en los espacios y dimensiones en que la puesta a prueba de la misma se desarrolla.

En lo que sigue, este documento, tomando en cuenta lo hasta aquí discutido, se detendrá en el caso de Chile. En particular se abocará a identificar los diferentes tipos de factores erosivos que interfieren en la posibilidad de alcanzar la necesaria adhesión de las personas; de mantener condiciones y dinámicas virtuosas en su despliegue; y de que la Democracia cuente con los necesarios soportes socio-culturales que requiere. Esto es, buscará acercarse a los factores que participan en tensionar la Democracia en Chile hoy. Con ello se espera aportar insumos para una conversación sobre los desafíos país a la hora de imaginar su futuro.⁴

⁴ Este documento fue preparado a partir de la revisión de informes internacionales sobre Democracia, textos académicos especializados, entrevistas a especialistas en el caso de Chile, y sobre la base de un conjunto de resultados de investigaciones empíricas desarrolladas por la autora y cuyas referencias se harán a partir de las publicaciones en las que han sido expuestos. Los especialistas entrevistados fueron Carmen Le Foulon, Juan Pablo Luna, Joaquín Fernandois, Cristobal Rovira y Stéphanie Alenda.

III. Desafíos para la Democracia en Chile

1. Factores que afectan la adhesión e involucramiento ciudadano.

La necesaria adherencia o adhesión de las personas a la Democracia implica al mismo tiempo que una valoración de ésta por sobre otras formas de gobierno, un compromiso con sus principios y los deberes que ello comporta (como votar, por ejemplo), así como una disposición a su legitimación pública.

En el caso de Chile, los indicadores en las tres dimensiones resultan preocupantes.

Entre 1995 y 2020 la satisfacción con la Democracia disminuyó un 15%, pasando de un 33% a un 18%, mientras que la insatisfacción aumentó un 10%, pasando de un 63% a un 73% respectivamente (Corporación Latinobarómetro, 2020). A pesar de que la valoración de la Democracia se ha mantenido relativamente estable en los últimos años en Chile, ello parece haber disminuido de manera preocupante en el último tiempo. Si la forma de gobierno democrático, no ha dejado de ser aún la forma de gobierno más valorada (49%), esta posición perdió 12 puntos porcentuales en el curso de un año. Existe hoy un número significativo de personas que declaran que determinadas circunstancias justificarían modelos autoritarios (19%), así como de personas a las que les es indiferente el tipo de régimen, o sea que no evidencian un sostén activo a la Democracia (25%) (CEP, 2022).

Al mismo tiempo, se observa una participación electoral voluntaria baja. En efecto, desde 1990, como han señalado Corvalán y Cox (2015), Chile registra la mayor caída en la participación electoral de todas las democracias del mundo. Pero, también, estamos frente a una alta volubilidad en los apoyos electorales o políticos

(COES, 2021), y a una reducción y modificación de los vínculos militantes con los partidos (Iñigo y Beyer, 2022).

Finalmente, existe una alta desconfianza en los partidos políticos, solo 4% de la población declara confiar en ellos. Entre 1996 y 2020 la confianza en los partidos políticos ha disminuido en un 300% (Corporación Latinobarómetro, 2020). Pero, la desconfianza se extiende a otras instituciones democráticas como el Senado y la Cámara de Diputados, ambos con solo un 10% de población que declara confiar en ellos (CEP, 2022). Un proceso que se inicia con la transición democrática (Menéndez-Carrión y Joignant, 1999), que no ha conseguido ser revertido (Luna, 2016), y que, aún más, se agudiza aceleradamente.

En el caso de Chile este fenómeno de debilitamiento de la adhesión se ha vinculado, por un lado, con las formas y dinámicas que toma el sistema político (en lo que nos detendremos en el apartado siguiente), explicadas a partir de la tesis de la crisis de representatividad (Luna, 2016). Pero, existe otra manera de enfocar este problema: considerar este fenómeno como el resultado del desajuste entre la organización democrática, sus mecanismos y sus rendimientos, y los rasgos que caracterizan a la sociedad y sus individuos. Es esta última perspectiva la que tomaremos en este apartado. Los estudios que hemos realizado, y sobre los que se basa mayoritariamente este apartado, muestran que este debilitamiento se vincula con la existencia de un conjunto de transformaciones estructurales, materiales y normativas que han impactado en la sociedad y en los individuos modificándolos en términos de expectativas, demandas, juicios, jerarquías valóricas o auto-imagen, lo que tiene importantes consecuencias para el despliegue de la Democracia y para los contenidos que adquiere (Araujo, 2022b). Las transformaciones en la sociedad e individuos, modifican las condiciones para alcanzar la adhesión, el involucramiento y la legitimidad indispensables para mantener la gobernabilidad democrática, fundamento para el desarrollo de la sociedad.

En efecto, el debate en ciencias sociales en Chile ha subrayado que la sociedad chilena ha sufrido importantes transformaciones en las últimas décadas. Nuestros trabajos de investigación empírica han mostrado que esta coyuntura ha sido moldeada principalmente por dos grandes fuerzas (Araujo y Martuccelli, 2012).

La primera de estas fuerzas ha sido la instalación, a través de cambios institucionales, principios normativos y cambios en el imaginario popular, de un modelo económico y social inspirado en las premisas del llamado neoliberalismo. Este modelo impuso nuevas exigencias estructurales a los individuos que transformaron radicalmente los desafíos que tenían que enfrentar en la vida social —su mundo laboral, las formas de enfrentar la vejez o las nuevas reglas que les establecía como sujetos económicos— al mismo tiempo que promovía nuevos ideales sociales (competencia, flexibilidad o nuevos indicadores de estatus).

La segunda fuerza proviene de las poderosas presiones para la democratización de las relaciones sociales, vinculadas con la difusión de ideales normativos (como la ley, la igualdad, la autonomía o la diferencia) a cada vez más esferas de las relaciones sociales (relaciones hombre-mujer e hijo-adulto, relaciones entre extraños, formas de gestionar las relaciones entre jefes y subordinados, entre otros).

Las personas perciben este escenario como un verdadero cambio histórico, que modifica las formas que toman las relaciones sociales, pero también las políticas.

Los cambios estructurales y las diferentes experiencias que se le vincularon generaron la comprensión en los individuos que para enfrentar la vida social deberían contar con las capacidades, recursos relacionales y esfuerzos propios. En concordancia, se produjo una distancia con las instituciones. A pesar de las mejoras en la situación personal y económica, las exigencias que han debido

enfrentar para alcanzar grados de bienestar han sido experimentadas como desmesuradas con lo que se ha generado no solo fuertes niveles de agobio, sino desencanto e irritación que en buena medida han sido dirigidos a la clase política. La percepción de abuso se ha expandido y se constituye en una previsión ordinaria respecto de la actuación de los otros y de las instituciones de las que, en muchos casos, la idea es que hay que defenderse sin demasiadas herramientas (como ante los excesos y desregulaciones del mercado, por ejemplo). Los niveles de desconfianza aumentan de manera importante.

Los impulsos a la democratización de las relaciones sociales, con la expansión de las promesas de igualdad y autonomía, por su parte, han generado nuevas *expectativas de horizontalidad* y han añadido urgencia a una renovación de los principios que regulan las relaciones y las interacciones interpersonales, por ejemplo, las atribuciones de las figuras de autoridad y las formas aceptables de su ejercicio, entre lo que destaca una puesta en cuestión a formas tutelares de ejercicio de la autoridad, o la actuación de lógicas de privilegio. Todo lo anterior ha llevado a un período de disputa, de una rearticulación activa, tensa, agotadora, conflictiva, ambivalente de las lógicas y principios que ordenan el vínculo social (Araujo, 2015). Esto se encuentra acompañado de altos grados de incertidumbre relacional.

En breve, en conjunto ambas corrientes aportan a la producción de una sociedad con creciente grados de irritación, con un grado muy alto de sensibilidad a todo aquello que pueda ser leído como abuso, fuertemente desconfiada, con una propensión al uso de la fuerza como elemento dirimente de situaciones inciertas o conflictivas, lo que se expresa, por ejemplo, en la creencia en la eficacia del autoritarismo, y en una creciente tolerancia a la violencia. Nos encontramos ante individuos fortalecidos que tienden a tomar distancia de las instituciones, desconfiar de las mediaciones, son sensibles a cómo son tratados, tienen expectativas altas y específicas, tienen como vara de medida su propia situación y

experiencias, y se ven afectados por una alta emocionalidad. De manera extremadamente importante y preocupante, todos estos elementos han abonado a la generación de un *circuito de desapego* (Araujo, 2019a, 2022a), es decir, un proceso que conduce a diferentes formas (y grados) de desidentificación y distanciamiento de las lógicas y principios a partir de los cuales se organiza la vida social y política, y que afecta de manera importante la idea de lo común y el lazo social. Un circuito vinculado con experiencias de desmesura, de desencanto y de irritación.

En términos de los efectos de lo descrito sobre la adhesión a e involucramiento con la Democracia, sus actores e instituciones, el desencanto se ha vinculado no solo con los costos individuales que tiene alcanzar grados de bienestar, sino con la debilidad del apoyo estatal para alcanzarlo (derechos sociales o la falta de eficacia de los servicios sociales). También se asocia con la dificultad de la política para cumplir con la observancia de los principios de autonomía (dada la clausura elitaria y las modalidades tutelares de relación con la población); de igualdad (dada la mantención de privilegios; o su poco compromiso para mantener las condiciones de igualdad, ya sea en el trato o en las sanciones). En virtud de lo anterior, como muestran nuestros últimos trabajos (Araujo, 2022a), los individuos tienden a considerarse moralmente superiores a los actores y las instituciones políticas (congresistas corruptos; partidos guiados por intereses privados, etc.).

Asimismo, las personas desarrollan formas de relacionarse con actores políticos y juzgarlos y tratarlos con irritación (agresiones a militantes en épocas de campaña electoral, por ejemplo; o las conversaciones en redes sociales) (Araujo, 2019a). Rechazan formas tutelares de ejercicio de autoridad política, pero valoran formas autoritarias de ejercicio de la autoridad (entendidas como un ejercicio fuerte de la autoridad) como eficientes e incluso puede considerarlas como importantes para la Democracia (Becerra y Rovira 2021). Suelen privilegiar la clave moral y respuestas emocionalizadas, las que, como se ha señalado, son potentes

expresivamente pero no necesariamente para la estructuración y solución del conflicto (Urbinati, 2020). Al mismo tiempo, tienden a no reconocer a verdaderas autoridades entre los actores políticos, aunque puedan considerar que deberían serlo (ver Araujo et al, 2021). Esto tiene una consecuencia muy importante: incide en una disminución de la dotación de autoridad del sistema político, esencial para el *enforcement* y la gobernabilidad.

Más aún, la creciente importancia de la auto-orientación y la autorregulación debilita la idea de necesitar actores como los políticos para cumplir tareas de mediación y proporcionar las ideas guía y traducirlas en líneas de acción en su vida cotidiana y ordinaria (Araujo, 2022a). En efecto, se observa una disminución significativa en los últimos 50 años del porcentaje de personas que consideran indispensables los partidos políticos para gobernar el país, el que pasa del 67% al 39% (Centro de Políticas Públicas UC, 2021).

Lo anterior se condice con formas altamente selectivas de participación, que tienden a ser específicas, raramente institucionalizadas y guiadas por una evaluación de las situaciones en las que el criterio principal es cómo afectan al actor en términos individuales, incluso si su retórica justificativa se refiere a cuestiones colectivas (Araujo, 2022a).

Esta combinación de desencanto por el incumplimiento de las promesas, desconfianza, irritación y, en particular, desapego, tensionan y fragilizan la adhesión y el involucramiento de las personas, base de la fortaleza democrática

2. Factores erosivos de las condiciones y dinámicas de su despliegue: instituciones, mecanismos y actores.

Sin embargo, como lo señalamos, los desafíos para la Democracia no solo provienen de factores radicados en el desfase entre desempeño de la Democracia y los rasgos de la sociedad e individuos. También participan factores que inciden en el carácter que toman las condiciones organizacionales, institucionales y las dinámicas para su despliegue y mantenimiento. Estas condiciones y dinámicas son co-establecidas por la acción de mecanismos, por ejemplo, los electorales; actores como partidos políticos o los medios de comunicación, para mencionar algunos; e instituciones y/o sistemas, como el estado.

Desde esta perspectiva, en el caso de Chile, se podrían considerar los siguientes cinco factores que participan en tensionar a la Democracia.

a) Pérdida de fortaleza de los Partidos Políticos.

A pesar de las críticas que se les pueda hacer, los partidos políticos continúan siendo considerados actores esenciales para la Democracia (Levitsky y Ziblatt, 2018). Sin embargo, en Chile aunque la estructura organizacional interna de los mismos puedan mantener ciertos grados de solidez, ellos atraviesan un conjunto de tensiones, lo que termina por debilitar su capacidad para cumplir su rol y tareas (Alenda, 2022). Esto se ha relacionado no solo con los factores descritos en el apartado anterior, sino también con:

- Falta de arraigo: la falta de porosidad y llegada a vastos sectores de la sociedad. En este ámbito parece haber un acuerdo acerca de las dificultades que los actores políticos institucionales tendrían para la generación de bases amplias en la sociedad dada la pérdida de empatía de la clase política con la sociedad, lo que habría sido resultado de un largo proceso en el que se privilegió la gobernabilidad por sobre la participación

(Siavelis, 2016). Esto ha implicado la pérdida específica de los vínculos con las organizaciones sociales o, en general, del debilitamiento del lazo con la sociedad (Bargsted y Maldonado, 2018).

- Militancias debilitadas: nos encontramos frente a una disminución de un vínculo real de tipo militante con los partidos políticos. En efecto, si en el 2008 un 42% se identificaba con un partido, en 2018 solo un 23% lo hace, momento en el que solo un 3,2% declara pertenecer a un partido político (PNUD, 2019). Pero, también, nos encontramos ante importantes modificaciones de las formas de militar, las que han sido fuertemente impactadas por los procesos de individualización, y puesta en cuestión de las formas tradicionales de ejercicio de la autoridad y de las atribuciones de las jerarquías partidarias. En este contexto, se observan militancias menos disciplinadas, con lealtades menos automáticas, y con menor disposición a un ethos “sacrificial” (Iñigo y Beyer, 2022). Esto afecta su capacidad de acción pero también la coherencia estratégica que requeriría su accionar.
- Poca capacidad de elaboración de las demandas ciudadanas: los partidos políticos evidencian dificultades no solo para la inclusión de demandas sino más básicamente para su identificación y traducción en términos políticos. Se ha subrayado en este contexto que para entender la dificultosa relación entre política institucional y sociedades una clave central es que la política, los políticos, han dejado de entender a sus sociedades (Luna, 2017). La otra es la insistencia del mundo político en apostar por estrategias principalmente definidas por ritmos, tiempos y exigencias electorales, que hace muy difícil generar propuestas a largo plazo y más basadas en las convicciones que en las reacciones estratégicas de corto plazo (Araujo, 2019b). Esta limitación abre a otras vías no institucionalizadas de movilización de las demandas, como lo mostró el llamado Estallido de 2019.

- b) Fragmentación y bloqueo del sistema político que afecta la respuesta a las demandas de la ciudadanía y el cumplimiento del pacto democrático de bienestar.

Los efectos del sistema electoral binominal generaron una cierta estabilidad en el sistema al impulsar la generación de dos bloques que a pesar de una escenificación binaria y confrontativa en épocas electorales privilegió consensos y negociaciones al mismo tiempo que una clausura a otros actores políticos y sociales fuera de las coaliciones. Lo anterior, si logró mantener grados de gobernabilidad importantes lo hizo al mismo tiempo sin las reformas necesarias para ir respondiendo a las crecientes tensiones y desacoples respecto de las demandas y expectativas de la población (Garretón, 2012). La falta de reformas o medidas para responder a las demandas y cambios de la sociedad, no solo se debió a las formas consensuales descritas, sino también a un conjunto de trabas constitucionales, y sobre todo a formas cada vez menos cooperativas de funcionamiento del sistema. El bloqueo del sistema político, se fue haciendo cada vez más evidente y agudo. El cambio en el sistema electoral, en conjunción con los rasgos de aligeramiento de las lealtades partidarias de los representantes de los partidos en el Congreso, conmocionó al sistema. El sistema electoral binominal en vigencia hasta el año 2017 estimulaba la formación de dos grandes coaliciones, y obstaculizaba la presencia de partidos nuevos al sistema. El fin del sistema binominal abrió a nuevos actores del sistema. Como consecuencia tenemos hoy un sistema político con nuevos actores, más plural, pero al mismo tiempo muy fragmentado, lo que hace difícil la negociación y avanzar en acuerdos. El bloqueo del sistema político se sigue manteniendo por otros cauces y con otras modalidades. La capacidad de responder a las necesidades o expectativas de la población y cumplir con las promesas de bienestar con acuerdos de largo plazo encuentran aquí un obstáculo de proporciones.

- c) Modalidades de desarrollo y escenificación de la disputa política: polarización, simplificación y esquematización, y trasgresiones relacionales y éticas.

Las formas de producción de la escena y el desarrollo de la disputa política ha tendido a ser fuertemente binaria y polarizada desde hace varias décadas, primero ligada con la disputa ideológica de finales de los años 1960 y 1970, luego con la censura producida en la dictadura (Constable y Valenzuela, 1993), y, posteriormente, debido a las reverberaciones de aquella censura en las formas de escenificación de la política electoral en las décadas siguientes a la vuelta a la Democracia (Huneeus, 2003). Sin embargo, estas modalidades han adquirido nuevos y más preocupantes ribetes en la actualidad. Hoy enfrentamos formas polarizadas y emocionalizadas de construcción de la disputa, pero, además, ellas están acompañadas por modalidades de construcción de las posiciones y argumentos esquemáticos, y con más propensión a cruzar los límites de los códigos de la civilidad y ética acordada en las interacciones políticas. Ellas poseen una alta capacidad de erosión institucional democrática. A esto se suman los impactos de las redes sociales (principalmente *twitter*) en los espacios de comunicación y conversación política, las que han sido caracterizadas como promotoras no solo de participación en la conversación política, sino también de la simplificación asertiva de las posiciones; de la *polarización afectiva*, la que no es solo una defensa cognitiva sino, “una defensa encendida de creencias propias ante los objetivos comunicacionales del otro” (Calvo y Aruguete, 2020: 60); y la presencia de las llamadas *fake news* haciendo de la desinformación una herramienta política (McIntire, 2018). Esta modalidad de escenificación de la política obstaculiza el alcanzar grados de convergencia entre actores y posiciones políticas. Pero, también, termina por horadar el peso de la institucionalidad política misma, y de sus actores. Hace, además, eco a las formas relacionales irritadas que atraviesan la vida social lo que hace de la política un espacio de reverberación

de formas relacionales erosivas para la vida social y para los principios democráticos.

d) Emergencia de nuevos populismos y de la derecha populista radical.

Un aspecto de preocupación es la emergencia de populismos y de propuestas de derecha populista radical. Se ha discutido que en el caso de Chile, la aparición y resonancia de una derecha populista radical (en resonancia con fenómenos globales de avances de este heterogéneo fenómeno, ver Stefanoni, 2021) es resultado de una moderación de la derecha tradicional y de un movimiento de convergencia programática del sistema de partidos (Madariaga y Rovira Kaltwasser, 2020), lo que habría dejado sin representación a un conjunto de electores de derecha (Zanotti y Roberts, 2021; Luna y Rovira Kaltwasser 2021). Los actores representativos de estas posiciones, movilizan el orden y la ley como elementos centrales discursivos, desarrollan una cerrada defensa de los valores tradicionales, reivindican la eficacia del uso de la fuerza, y apelan a una concepción de la nación anclada en sus tradiciones y con bordes cerrados (Madariaga y Rovira Kaltwasser, 2020). Estamos también ante el surgimiento de un nuevo tipo de aparente populismo, sin ideología discernible en el eje izquierda derecha, y con una auto-declaración de no contar con ideología. Un fenómeno muy poco estudiado aún. Aunque, en efecto, aún faltan muchos estudios en torno a este fenómeno, en un trabajo reciente, a partir del análisis de discursos emitidos por estos actores, éste ha sido caracterizado, como estructurado a partir de una crítica generalizada a las élites políticas, desconfianza del estado pero demanda de seguridad social y orden público, confianza en la propia capacidad, y el valor del emprendimiento (Mascareño, Rozas, Lang y Henríquez, 2022). Aquí, la relación con la Democracia y sus instituciones aparecen como más instrumentales que sustanciales.

En conjunto, tal como ha sido discutido, este tipo de posiciones políticas emergentes suelen avalar posturas anti-democráticas en la sociedad (Becerra y Rovira, 2021). Ellas suelen, al mismo tiempo, nutrirse y estimular modelos de ejercicio autoritario de la autoridad, los que en el caso de Chile se encuentran activos en la sociedad bajo la consideración de aunque no serían los más aceptables, sí los más eficaces (Araujo, 2016; Araujo et al, 2022). Finalmente, se constituyen a partir de discursos contra las élites, los que movilizan sentimientos anti-élites que como han mostrado diferentes trabajos se encuentran presentes de manera relevante en la población, especialmente en los sectores populares y los llamados sectores populares intermediarios (Martuccelli, 2020).

e) Debilitamiento de capacidades de respuesta y control del Estado.

Un último aspecto tiene que ver con la pérdida de terreno o control del estado respecto a otros actores o procesos. Entre los principales desafíos hoy se encuentran el avance de la economía ilegal, la delincuencia y procesos de gran envergadura como la migración que sobrepasan o exceden la capacidad de control y respuesta estatal. Se avizora que este último proceso sea más crítico en la medida en que se hagan más patentes los efectos negativos del cambio climático. De manera importante, el narcotráfico se ha convertido en uno de los actores que ha entrado a disputar la presencia territorial del estado. La migración hacia Chile ha aumentado de manera dramática en los últimos años. Según el INE, la población migrante aumentó en 14% entre 2018 y 2021 (INE, 2022a). Una estimación que contabiliza solo a la población migrante en situación regular. El estado se ve desafiado en términos regulatorios, culturales, de cumplimiento y cautela de derechos de esta población, de atención a la misma, entre otras (Rojas y Vicuña, 2019). Por otro lado, la percepción de amenaza a la seguridad pública ha crecido de manera significativa, aunque no necesariamente se condiga con un crecimiento de la victimización. Un aspecto central es aquí que más allá de la consonancia o no con niveles de victimización o con su relevancia comparativa con otros casos nacionales, la magnitud de esta percepción afecta la percepción

relativa a las capacidades de protección del estado. En Chile el año 2021, el 86,9% de personas consideraban que la delincuencia había aumentado (INE, 2022b), y hoy, ésta aparece como la preocupación principal de la población (CEP, 2022). Cada una de estas aristas resta fortaleza a la Democracia pues ésta requiere para desarrollarse una vida social relativamente pacificada, un logro que, como ha sido discutido por varios autores clásicos de las ciencias sociales, tiene como una de sus condiciones básicas que el estado tenga el monopolio de la fuerza o los medios de la violencia (Weber, 1964 y Elias, 1994). Pero, además, porque su fortaleza depende de que sea posible mantener coherencia con sus propios principios, al mismo tiempo que con sus promesas de bienestar, dos aspectos fuertemente desafiados en contextos como estos. Finalmente, el debilitamiento de la capacidad de respuesta y control del Estado es pasto no solo para el desarrollo de otros poderes concurrenciales, sino que también, abona la inclinación o valoración de gobiernos fuertes y/o autoritarios (Becerra y Rovira, 2021)

3. Factores erosivos de los soportes socio-culturales de la Democracia:

La fortaleza de la Democracia depende también de elementos culturales de base que funcionan como sustrato para las orientaciones conductuales y prácticas relacionales de los actores y las instituciones. Se trata de elementos que funcionan como soportes para su funcionamiento y mantenimiento. En esta perspectiva, existen dos factores de este tipo, hoy fuertemente erosivos, que amenazan la Democracia en Chile, como en muchas otras sociedades: la cuestión del estatuto y la relación con verdad, y la de los usos de las tecnologías de comunicación e información. Aunque ambas cuestiones no son de la misma naturaleza y conceptualmente no apuntan al mismo nivel, ellas tienen en común participar en la erosión de la Democracia, pues tensionan lógicas o principios bases sobre las que esta se asienta normativamente.

a) Verdad

La Democracia se sostiene en la capacidad de una sociedad de producir una relación con la verdad que garantice la capacidad de salir de una visión de la realidad singularizada por la propia preferencia o inclinación, y que permita producir referencias para la producción de una realidad que seamos capaces y estemos dispuestos consensuadamente de reconocer. Es precisamente lo que se ha puesto en tensión hoy.

Para McIntire (2018), estamos en un momento de posverdad, esto es, un momento que no implica que la verdad desaparezca sino que se vuelve irrelevante o se eclipsa. La verdad no requiere de los hechos, no porque los desestime completamente sino porque ellos son tratados intencionalmente de manera que aporte a la propia posición. Se introduce una forma de reconocimiento de la verdad que tiene como condición que sea consonante con las propias expectativas y creencias. La verdad puede apoyarse simplemente en el sentimiento de que algo es verdad. La tergiversación y acomodo de la lectura de los hechos, según el autor, “socava la idea que algunas cosas son verdades independientemente de cómo nos sintamos con respecto de ellas” (19). A diferencia del pasado, en que la mentira o el cinismo también existieron, lo que es nuevo hoy es que lo que se pone en cuestión no es solo la idea de conocer la realidad sino la existencia de la realidad misma. Para McIntire, esta propensión a una visión no crítica respecto de los sesgos cognitivos, y, por el contrario, su cultivo, abona el terreno para la manipulación y explotación.

Al mismo tiempo, y más allá de lo subrayado por este autor, la falta de un punto de referencia mutuamente reconocido, el que da una determinada función a los hechos y un margen interpretativo de los mismos, abre a relaciones estructuradas de manera especular, que deriva en fórmulas excluyentes (es uno o el otro), las que, como ha subrayado el psicoanálisis, tienden a derivar en agresión y violencia

(Lacan, 1953). Adicionalmente, la verdad no se puede entender solo desde la perspectiva cognitiva emocional, sino que ella se articula con la dimensión ética. La relación con la verdad es un rendimiento ético, el debilitamiento de la relación con la verdad adelgaza la consistencia de este rendimiento en la sociedad.

Pero, la relación con la verdad se tiene que vincular también con la cuestión de la autoridad. La paradoja es que estamos hoy frente a una creciente confianza en el propio juicio y reflexividad, pero ello existe en un mundo de alta complejidad donde no es posible hacer la prueba de verdad por uno mismo de muchas afirmaciones o proposiciones, por lo que resulta indispensable otorgar un voto de credibilidad, activar la dimensión de la creencia, y una asunción de cierta superioridad a ciertos actores o instituciones. Aunque es cierto que el mundo moderno funciona a partir de una confianza base en los saberes expertos (Giddens 1994), lo que hace que subamos a un avión o a un ascensor, lo cierto es también que cada vez más la autoridad de los representantes de esos saberes expertos es cuestionada. Los estudios en Chile, muestran esta puesta en cuestión de la autoridad, por ejemplo, de la autoridad de los y las médicos o los profesores y las profesoras (Araujo, 2022). Sin embargo, para el caso de Chile, hacen falta mayores trabajos sobre esta relación con la verdad en el contexto del debilitamiento de la autoridad y de radicalización de las posiciones en el debate y la conversación política, para mencionar dos factores, y en general sobre la dimensión ética relacional que le subyace.

b) Usos de las nuevas tecnologías de la comunicación e información

Son muchos los trabajos que internacional y nacionalmente han discutido los efectos del uso de las tecnologías de comunicación como un surtidor de nuevas prácticas y concepciones del mundo y sobre sí mismos. También ha sido subrayado su carácter ambivalente y las paradojas que entraña. Si ellas han sido leídas como una buena nueva para la democratización social, y para la

participación democrática, por otro lado, también se ha subrayado sus efectos erosivos en particular para la esfera política. Existen dos dimensiones de los efectos culturales del uso de las tecnologías que resultan especialmente preocupantes en una sociedad como la chilena sometida, la que está afectada, como hemos discutido, a procesos de desapego vinculados a distanciamiento de las instituciones. Por un lado, los efectos de “cámara de eco” que producen las redes sociales, es decir, el hecho que encierra a las personas en círculos de quienes piensan como ellos, radicaliza posiciones y genera percepciones de la realidad que borran el pluralismo. Esto profundiza las tendencias presentes en la sociedad hacia la constitución de una “sociedad archipiélago” (Araujo, 2022b). Afirma, así una concepción del mundo social restringido a los “como uno”. Este es un proceso que tiene como una de sus mayores consecuencias el adelgazamiento de la noción de lo común y del bien general, principios constitutivos normativos de la Democracia y base para el funcionamiento de la misma.

Por otro lado, las nuevas tecnologías ligadas al internet promueven la idea de acceso radical a la información. En esta medida ellas impulsan prácticas y representaciones que abonan al imaginario de igualitarización y de todo acceso en esta esfera, lo que es particularmente valioso para los esfuerzos de democratización social. Sin embargo, al mismo tiempo los usos de estas tecnologías dan vigor a la idea que la intermediación resultaría innecesaria. Impulsan una traducción de los contenidos de la autonomía en una suerte de cultura de no-mediación (Baricco, 2019). Con lo anterior debilitan en general la idea de jerarquías admisibles, y los mecanismos, pero también a los actores institucionales de la política en Democracia. Una cultura de no-mediación, pone en cuestión una de las dimensiones centrales en juego en la arquitectura de la Democracia: la idea de intermediación que está en el corazón mismo del principio de representación, sea cual sea la modalidad que adquiera, que la caracteriza.

IV. A modo de cierre

La Democracia está desafiada.

Este texto se ha propuesto identificar estos desafíos y al mismo tiempo quiere subrayar que enfrentarlos con éxito dependerá de la decisión y habilidad que tengamos para cumplir con tres propósitos.

Primero, que sus orientaciones estén alineadas con las promesas que la sostienen. El futuro de la Democracia depende, así, de la manera en que en su cristalización sea capaz de alinearse y ser coherente con sus principios y compromisos, de manera de enfrentar con éxito el desencanto, la irritación, la desconfianza y los procesos sociales de desapego que afectan ya sea contenciosamente o por vía de la indiferencia a la Democracia, sus instituciones, mecanismos y actores. Esto va a implicar, por ejemplo, proveer experiencias de cuidado a la población; reformular los modelos de involucramiento ciudadano en política; entre otros.

Segundo, que se puedan desarrollar los ajustes que se requieren para responder a los cambios estructurales y normativos que ha atravesado la sociedad chilena, y a los efectos no esperados de las decisiones y dinámicas político institucionales que han abrevado a su condición actual. Esto implica una reflexión profunda acerca de los desfases que afectan a sus mecanismos, actores e instituciones, y acciones que permitan alcanzar partidos políticos con mayor arraigo basado en una recuperación de la confianza; un desbloqueo del sistema político; una densificación y complejización del debate y la disputa política; la capacidad de neutralizar propuestas autoritarias y/o que amenazan el funcionamiento de las instituciones democráticas; y un estado con mayor capacidad de control y respuesta.

Tercero, va a suponer que se pueda enfrentar y desactivar o neutralizar a las corrientes culturales que le restan soporte porque van a contramano de los supuestos representacionales, valóricos, éticos, y de moral consuetudinaria sobre los que ella se afirma. Este es quizás el propósito que puede ser más difícil de cernir de manera concreta. Sin embargo, es indispensable abordar la tarea de apuntalar la relación con la verdad, la relevancia de la intermediación en la vida social y política, la dimensión ética como rendimiento ordinario de todos y todas, y la concepción de lo común y del bien general. Es conocido que los procesos culturales son probablemente los más difíciles de revertir o intervenir cambiando su dirección y que, incluso, si esto ocurre toman mucho tiempo, pero es indispensable empezar por cuestiones que pueden parecer básicas como la exigencia de una ética de la ejemplaridad de las autoridades y figuras políticas; sanciones informales a las transgresiones a los acuerdos de civilidad y relacionales en la política; o la generación de campañas educativas; la promoción de una argumentación ética en los mensajes público-políticos.

Este esfuerzo es esencial. Lo es porque las modalidades en las que se estructuran el lazo social y el lazo político no son indiferentes para las formas que tomará el esfuerzo por el desarrollo e innovación pero también de respuesta, transformación o adaptación de las sociedades frente al conjunto de riesgos que nos acechan hoy a nivel global. La Democracia es una vía para alcanzar esos objetivos y encarar esos riesgos, la que se plantea normativamente hacerlo sin horadar la libertad, la autonomía, la capacidad de agencia, la singularidad de los individuos y resguardando el equilibrio de poder entre los gobernantes y los gobernados. Buenas razones para comprometerse con él.

V. Referencias bibliográficas

- Alenda, S. (2022). Los partidos y sus anclajes sociales: evolución y perspectivas. En 241-261. En Dammert, L., Figueroa P. (eds.) *Cómo funciona nuestra democracia*. Santiago: editorial USACH.
- Araujo, K. (2015). *Desigualdades interaccionales e irritaciones relacionales: sobre la contenciosa recomposición del lazo social en la sociedad chilena*. Serie Documentos de Trabajo COES, Documento de trabajo N° 3, pp. 1 – 19.
- Araujo, K. (2016). *El miedo a los subordinados. Una teoría de la autoridad*. Santiago: LOM.
- Araujo, K. (2017). *Democracia y transformaciones sociales en Chile: ¿Qué significa actuar democráticamente?* Análisis N°11/2017. Diciembre. Santiago: Friedrich Ebert Stiftung Chile. Recuperado el 20 de diciembre 2022 de: <http://library.fes.de/pdf-files/bueros/chile/14330.pdf>
- Araujo, K. (2019b). *La política en tiempos de transformación: la relación entre ciudadanía y política institucional desde la perspectiva de los actores políticos*. Working paper, Serie Democracia Análisis No. 3, Friederich-ber-Stiftung Chile.
- Araujo, K. (ed.) (2019a) *Hilos tensados: para leer el octubre Chileno*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile.
- Araujo, K. (2022a). *The Circuit of Detachment in Chile: Understanding the Fate of a Neoliberal Laboratory (Elements in Politics and Society in Latin America)*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/9781009310697
- Araujo, K. (2022b) (ed.) *Figuras de autoridad. Transformaciones históricas y ejercicios contemporáneos*. Santiago de Chile: LOM.
- Araujo, K. y Martuccelli, D. (2012). *Desafíos Comunes. Retratos de la sociedad Chilena y sus individuos*. 2 tomos. Santiago: LOM.
- Araujo, K., Orchard M., Rasse A. y Stecher, A. (2022). *Primer Informe de Resultados Encuesta Nacional de Autoridad*. NUMAAP 2021. Santiago de Chile: NUMAAP.
- Arendt, H. (1996). *Entre el pasado y el futuro. Ocho ejercicios sobre la reflexión política*. Madrid: Península.
- Baricco, A. (2019) *The Game*. Buenos Aires: Anagrama.
- Becerra, A., Rovira C. (2021). *Apoyo a la Democracia y Conceptos de Democracia en el Chile Actual*. Santiago: Friedrich Ebert Stiftung.

- Calvo, E., Aruguete, N. (2020) *Fake news, trolls y otros encantos. Cómo funcionan (para bien y para mal) las redes sociales*. Buenos Aires: Siglo XXI Editores.
- Centro de Estudios Públicos [CEP] (2022) *Encuesta Nacional de Opinión Pública*. Encuesta CEP 86. CEP: Santiago.
- Centro de Políticas Públicas UC (2021) *Resultados Encuesta Bicentenario 2021 “Anhelo y Expectativas de la sociedad chilena”*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- COES (2022) *Radiografía del Cambio Social: Análisis de Resultados Longitudinales ELSOC 2016-2021. Presentación de Resultados*. Santiago de Chile: COES.
- Constable, P. y Valenzuela, A. (1993). *A Nation of Enemies: Chile Under Pinochet*. New York: Norton.
- Corporación Latinbarómetro (2021). *Informe 2021. “Adiós Macondo”*. Santiago de Chile: IDB
- Corvalán, A., y Cox, P. (2015). Participación y desigualdad electoral en Chile. En P. Cox, y J. Castillo, *Aprendizajes de la ciudadanía: contextos, experiencias y resultados*. Santiago de Chile: Ediciones UC, pp.175-206.
- Donegani, J-M., y Sadoun, M. (2007). *Qu’est-ce que la politique?* Paris: Gallimard.
- Elias, N. (1994). El proceso de la civilización. Investigaciones socio genéticas y psicogenéticas. México D.F.: FCE.
- Garretón, M. A. (2012). *Neoliberalismo corregido y progresismo limitado: los gobiernos de la Concertación en Chile 1990–2010*. Santiago de Chile: Arcis/CLACSO.
- Giddens, A. (1994) *Consecuencias de la modernidad*. Madrid: Alianza Editorial.
- Habermas, J. (1987). *Teoría de la acción comunicativa. Volumen 1 y 2*. Madrid: Taurus
- Haerpfer, C., Inglehart, R., Moreno, A., Welzel, C., Kizilova, K., Diez-Medrano J., M. Lagos, P. Norris, E. Ponarin y B. Puranen (eds.) (2022). *World Values Survey: Round Seven - Country-Pooled Datafile Version 5.0*. Madrid, Spain y Vienna, Austria: JD Systems Institute & WVSA Secretariat. doi:10.14281/18241.20
- Huneus, C. (2003) *Chile un país dividido. La actualidad del pasado*. Santiago: editorial Catalonia.
- INE (2022a) *Estimación de personas extranjeras. Residentes habituales en Chile al 31 de diciembre de 2021. Distribución regional y comunal*. Recuperado el 4 de enero 2023 de:

https://www.ine.gob.cl/docs/default-source/demografia-y-migracion/publicaciones-y-anuarios/migración-internacional/estimación-población-extranjera-en-chile-2018/estimación-población-extranjera-en-chile-2021-s%C3%ADntesis.pdf?sfvrsn=6d04859c_5

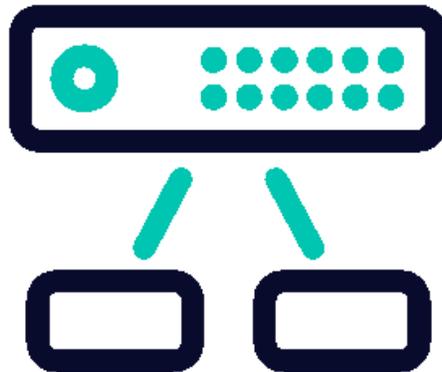
- INE, (2022 b). 18a *Encuesta nacional urbana de seguridad ciudadana (ENUSC 2021)*. Recuperado el 4 de enero de 2023 de: https://www.pauta.cl/pauta/site/docs/20220803/20220803200450/sintesis_de_resultados_18_enusc_2021.pdf
- International IDEA (2022). *The Global State of Democracy. Forging Social Contracts in a time of discontent*. Recuperado el 28 de diciembre 2022 de: <https://idea.int/democracytracker/g sod-report-2022>
- Iñigo, I. y Beyer, N. (2022). Las militancias políticas. Contingencia y reconfiguraciones del ejercicio de la autoridad en las nuevas generaciones de la izquierda chilena. En Araujo, K. (ed.) *Figuras de Autoridad. Transformaciones históricas y ejercicios contemporáneos*. Santiago: LOM Ediciones. pp. 223 – 2XX.
- Kalyvas, A. (2009), *Democracy and the Politics of the Extraordinary: Max Weber, Carl Schmitt, and Hannah Arendt*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Lacan, Jacques, Le Symbolique, l'Imaginaire et le Réel (1953) en: Bulletin de l'Association freudienne, N° 1, 1982, pp. 4-13.
- Levitsky y Ziblatt (2018) *Cómo mueren las democracias*. Barcelona: Ariel/Ed. Planeta
- Luna J. P., Rovira Kaltwasser C. (2021). *A la derecha de la derecha: ¿hay espacio para una fuerza populista radical de derecha? El progresismo y la izquierda ante la nueva derecha: claves para la región. Documento de Trabajo*. Santiago: FES
- Luna, J. P. (2016) Chile's Crisis of Representation. *Journal of Democracy*, Volume 27, Number 3, July 2916, pp. 129-138. <https://doi.org/10.1353/jod.2016.0046>
- Luna, J.P. (2017) *En vez del optimismo: crisis de las representaciones políticas en el Chile actual*. Catalonia: Santiago.
- Lupu, Noam, Mariana Rodríguez y Elizabeth J. Zechmeister (eds.) 2021. *El pulso de la democracia*. Nashville, TN: LAPOP.
- Madariaga, A., y Rovira Kaltwasser, C. (2020) Right-Wing Moderation, Left-Wing Inertia and Political Cartelisation in Post-Transition Chile. *Journal of Latin American Studies*, 1-29. doi:10.1017/S0022216X19000932
- Martuccelli, D. (2020) *El estallido social en clave latinoamericana. La formación de las clases populares intermedias*. Santiago de Chile: LOM.

- Mascareño, A., Rozas, J., Lang B., y Henríquez, P. (2022) *El Partido de la Gente. La construcción del individualismo posr-democrático. Documento de Trabajo*. Puntos de Referencia. Política y Derecho N° 630. Santiago: CEP.
- McIntire, L. (2018) *Posverdad*. Madrid: Ediciones Cátedra.
- Menéndez-Carrión, Joignant Rondón, A., y Garretón Merino, M. A. (1999). *La caja de Pandora: el retorno de la transición chilena* (1a. ed.). Planeta/Ariel.
- Mouffe, C. (2007) *En torno a lo político*. Buenos Aires: FCE.
- Pitkin, H. (1972) *The Concept of representation*. Berkley: University of California Press.
- PNUD (2019). *Diez años de auditoría a la democracia: Antes del estallido*. Santiago de Chile, Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo Humano.
- Rancière, J. (2007). *En los bordes de lo político*. Buenos Aires: Editorial La cebra.
- Rojas Pedemonte, N., Vicuña, J.T. (eds.) (2019) *Migración en Chile. Evidencias y retos de una nueva realidad*. Santiago: LOM.
- Stefanoni, P. (2021) ¿La rebeldía se volvió de derechas? Madrid: siglo XXI.
- Urbinati, N. (2020) *Pochi contra Molti. Il Conflitto Politico Nel XXI Secolo*. Bari: Laterza.
- Weber, M. (1964): *Economía y sociedad*. Ciudad de México: FCE.
- Zanotti, Lisa, & Roberts, Kenneth M.. (2021). (Aún) la excepción y no la regla: La derecha populista radical en América Latina. *Revista Uruguaya de Ciencia Política*, 30(1), 23-48. Epub 01 de junio de 2021. <https://doi.org/10.26851/rucp.30.1.2>

DOCUMENTO TÉCNICO

REPORTE 2. REVOLUCIÓN DIGITAL: Desafíos para Chile

José Miguel Piquer G.



I. Antecedentes

El objetivo del presente informe es aportar a las discusiones que liderará el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chile sobre el país que queremos construir. Aquí, presentamos una recopilación y explicación básica de los potenciales impactos actuales y a futuro de la revolución digital. Este documento, forma parte de una serie de cuatro informes que abordan los avances científico tecnológicos de la Revolución Biológica, y los desafíos de futuro de la Democracia y Sostenibilidad.

Este informe está estructurado con una sección inicial que describe la Revolución Digital en su momento actual y su relevancia para el futuro. A partir de esto, se presenta una propuesta de temas y estructuración de contenidos como insumo para los diálogos de futuro del 2023 que organiza el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación para el Desarrollo. Dicha propuesta está basada en las entrevistas, opiniones personales del consultor y material público al respecto.

Luego, se presentan algunas conclusiones iniciales de este trabajo, agregando al final, una sección completa dedicada a las principales entrevistas anonimizados y puntos de vista intercambiados en ellas, para dejar huella de lo conversado.

Los cuatro expertos elegidos en conjunto con el Consejo para las entrevistas fueron: Ricardo Baeza-Yates, Andrea Rodríguez, Nayat Sánchez y Miguel Nussbaum. Todos ellos, tienen una amplia trayectoria en Chile y el mundo en el área de la computación y también son activos participantes en la conversación sobre políticas públicas alrededor de estos temas. A todos ellos agradecemos su disposición a colaborar y su aporte.

II. Revolución Digital

Durante los últimos 30 años la humanidad ha experimentado un cambio tecnológico profundo, debido a la unión de varias tecnologías y fenómenos: las telecomunicaciones (Internet), la computación (hardware y software) y la masificación de usuarios en todo el planeta.

Esto tiene potenciales gigantescos. Sólo por dar un ejemplo, hoy podemos ver películas de alta definición en nuestra casa vía una suscripción a un servicio de Internet, algo imposible sólo 10 años atrás. Esto se hace posible gracias a múltiples tecnologías que evolucionaron y llegaron al nivel necesario: ancho de banda, capacidad de procesamiento, resolución de las pantallas, algoritmos de compresión de videos, cantidad de usuarios con acceso a todas estas tecnologías.

Y estas son tecnologías que dependen una de otra: si no tengo capacidad de proceso no puedo comprimir bien, si no tengo ancho de banda no puedo transmitir bien, si no tengo pantallas de calidad no se ve bien, etc. Esta combinación ha logrado los umbrales necesarios para estos servicios hace muy pocos años y es impresionante lo rápido que ha conquistado a los usuarios. Hoy es normal que los pasajeros del metro viajen mirando películas o series en sus teléfonos móviles.

Estos cambios tecnológicos golpearon primero a algunas industrias, destruyendo por completo a varias: enciclopedias, guías de teléfono, GPS, fotografía, relojes, etc. Hoy estamos viendo cómo la industria de la creación artística trata de reinventarse.

Con la pandemia del 2020, vimos cómo el mundo del trabajo cambió, y estamos recién tratando de descubrir cómo se adecuará a la futura “normalidad”. Qué áreas serán las siguientes en ser arrasadas por el cambio tecnológico es una de las preguntas abiertas. ¿Cuántas lo serán? ¿De qué forma? ¿Cómo nos preparamos?

Discutiremos sobre todo esto en este informe.

Lo más importante de ver acá y que es nuestra hipótesis, es que estamos frente a una verdadera revolución. Algunos piensan que será como la revolución industrial. Otros pensamos que puede ser aún más radical, tal vez como fue la invención de la agricultura: una tecnología que afectó todas nuestras vidas y sociedades futuras.

Las otras tendencias y fenómenos de cambio abordados en el marco de este trabajo, dan cuenta de este efecto: las tecnologías biológicas, el debilitamiento de la democracia, el daño medioambiental, todas son generadas, ayudadas o basadas en tecnologías digitales. No es fácil establecer las relaciones de causa/efecto, por ejemplo, la crisis de la democracia ¿se debe a las redes sociales? ¿o sólo se ve gracias a las redes sociales? Pero, estamos todos seguros que esta crisis no sería como es hoy si no existieran las redes sociales y sus algoritmos de selección de qué publicaciones uno ve primero.

Como toda revolución, es muy difícil predecir hacia dónde va, qué caminos tomará y en qué destino se asentará finalmente. Pero nos permite predecir algo con certeza: la humanidad en 20 años más se parecerá muy poco a la que hoy conocemos. Aprovechar estos cambios (sean cuales sean) de la mejor forma posible es lo que debe hoy guiar nuestras políticas de futuro.

III. Situación de Chile

Durante estos 30 años de evolución tecnológica, Chile ha estado muy bien posicionado como un pionero tecnológico en la región. En 1987 el dominio “.CL” fue el primer dominio latino-americano en existir, en 1992 también fuimos el primer país de la región en conectarse a Internet, en 1993 levantamos la primera web de

latino-américa. El programa Enlaces dio computadores y conectividad a los colegios de Chile en un esfuerzo pionero a nivel mundial. A comienzos de este siglo, el Servicio de Impuestos Internos y el Registro Civil fueron grandes ejemplos de tecnología de punta al servicio de la ciudadanía.

Las universidades han venido formando profesionales en estas tecnologías, mucho antes que fuera obvio que iban a ser las tecnologías dominantes. Por ejemplo, a comienzos de este siglo las telefónicas apostaban por sus propias tecnologías digitales y no creían en Internet como una solución sólida y real. En las universidades formamos a nuestros ingenieros en tecnologías Internet desde los años noventa, incluida una cuenta de mail para todos desde que eran estudiantes de primer año.

La infraestructura física requerida para la revolución digital es muy buena en Chile, y vimos en pandemia que resistió muy bien el incremento en la demanda. Seguimos teniendo la Internet más rápida de América Latina. Pero, nos falta cobertura (garantizar que todo el territorio tenga conectividad, hoy incluso en la Ruta 5 se pierde la conectividad móvil en muchos sectores) y resiliencia (un puente cortado de la Ruta 5 genera caídas masivas de Internet). De la misma forma, el gobierno electrónico ha tenido muy pocos logros los últimos 10 años, siendo la “Clave Única” probablemente el más destacable.

Todo esto nos ha permitido estar en una posición de privilegio en la región. Los últimos años hemos perdido esa velocidad, seguimos siendo líderes pero países como Uruguay, Colombia, Brasil y Argentina se nos acercan cada vez más. Recuperar ese ritmo y retomar el camino hacia el progreso tecnológico y digital es cada vez más importante.

IV. Estructuración Propuesta

De las diversas entrevistas, documentos revisados y mis propias opiniones, propongo estructurar los diálogos en torno a Revolución Digital en los siguientes ejes temáticos:

1. Factores Habilitantes

Estudiar qué capacidades debe tener el país para enfrentar, de la mejor forma posible, la Revolución Digital que viene. Se requiere al menos: infraestructura (datacenters, nubes, conectividad nacional de alta velocidad, penetración de Internet, tecnologías móviles avanzadas y masificadas), capital humano (pensamiento computacional, nivel de formación en el sistema universitario y profesional) y un eco-sistema de emprendimiento digital (Startup Chile sigue siendo un ejemplo de nivel mundial). Pero pueden haber otras importantes a relevar, como capital de riesgo, internacionalización, etc.

2. Temas tecnológicos a considerar

Dentro de todos los temas relevantes que se vienen por el lado de la Revolución Digital, es muy difícil elegir cuáles son los clave, y cuáles Chile no puede dejar de mirar.

Hay bastante divergencia entre los expertos en la lista que cada uno propone. Por lo tanto, se hace muy importante estudiar y definir una lista de temas para analizar. Desde las entrevistas se evidencia un enorme consenso en torno a:

a. Inteligencia Artificial:

A pesar que no está tan bien definido qué es, está claro que usar algoritmos para aprender de datos históricos y luego detectar patrones en base a esa historia, se

ha vuelto un tema demasiado importante para no ser considerado. El trabajo en la política de Inteligencia Artificial que hizo Chile el 2021 es bien valorado y se siente que se necesita continuidad en su desarrollo. El país tiene capacidades interesantes en esta área, que pueden ser aprovechadas y desarrolladas mucho más.

b. Pensamiento Computacional:

Enseñar a pensar “algorítmicamente”, a programar cosas sencillas, se considera una habilidad básica, que debiera tener todo profesional, e incluso todo ciudadano digital. Cómo enseñarlo en los colegios, en los institutos profesionales y en la universidad, es un tema relevante a conversar. La programación básica, a mi juicio, será como la lecto-escritura: todos deben tener una capacidad de escribir y leer programas básicos, pero no todos serán programadores profesionales (tal como no todos somos escritores de novelas).

c. Emprendimiento Digital:

Aprovechar el buen eco-sistema de emprendimiento que se ha ido desarrollando en Chile es también un consenso de los entrevistados. Promoverlo e incentivarlo es una necesidad. Un buen ambiente de emprendimiento es la mejor forma de aprovechar las oportunidades de una revolución. No hay nada más eficiente y rápido para tomar opciones de transformaciones radicales que un emprendedor con capital.

Otros temas, que no fueron consenso claro, pero que es recomendable analizar en estas conversaciones, son:

- o Ciber-seguridad: Falta capital humano experto en este tema y eso afecta el desarrollo digital de Chile. Debe generarse mucha más capacidad en el tema. La enorme mayoría de los ataques exitosos se basan en el poco conocimiento tecnológico de los usuarios y casi siempre usan lo que llaman

“ingeniería social”, que es simplemente abusar de la inocencia de sus víctimas.

- o Sensores/IoT: Es un área de desarrollo incipiente en la industria tecnológica chilena y tiene varias ventajas para el país: no requiere de enormes inversiones ni capacidades de cálculo, tenemos muchas industrias de materias primas que requieren este tipo de dispositivos y requiere de mucha creatividad y habilidad computacional, que también Chile posee.
- o Computación Cuántica: Aunque existe un consenso de que es un tema relevante, no están todos de acuerdo en cómo tomarlo. En Chile no es probable que se creen dispositivos cuánticos, pero si existen mas posibilidades de aprender a hacer algoritmos cuánticos y algoritmos que resistan ataques cuánticos. Hay necesidad de formar capital humano que entienda este tema. Eso nos dejará mejor preparados para cuando esta tecnología llegue al país.
- o Realidad Aumentada (visualización 3D): El Metaverso de Meta ha puesto sobre la mesa la discusión cuan relevante será esta tecnología en nuestras vidas cotidianas. No hay consenso en torno a su impacto futuro, pero, aunque nunca llegue a ser una tecnología cotidiana, la visualización 3D y la realidad aumentada son extremadamente potentes y útiles en educación, entrenamiento y simulación. Es una tecnología que deberíamos promover en Chile y que puede ser muy importante para muchas empresas locales.
- o Blockchain y cripto monedas: Ningún entrevistado mencionó este tema como relevante. Sin embargo, no podemos dejar de mirarlo: tanto blockchain como tecnología de manejo de contratos sin “conservadores” centrales, como las monedas digitales como intercambio internacional, deben ser tomadas en serio y analizadas para ver cómo afectan el futuro de

Chile y qué podríamos hacer como país en esos temas. En particular, el envío de dinero por Internet sigue siendo muy ineficiente, caro e inseguro. En un mundo futuro, esto debiera ser trivial.

3. Temas sociales a considerar

Alrededor de los temas tecnológicos, también aparecieron otras propuestas de problemas a discutir, que representan desafíos y oportunidades para Chile, que debieran considerarse también. Los temas propuestos son:

a. Atracción/retención de talentos:

Hay una enorme cantidad de talentos en innovación y tecnología que se pierden hoy por varias razones: empresas internacionales que contratan a nivel mundial; poco espacio en universidades y centros de investigación para contratar jóvenes; poca oferta de puestos tipos “investigación en la industria”. De hecho hay muchos magisteres y doctores de Becas Chile en estas áreas que buscan dónde insertarse.

Chile podría liderar áreas de innovación y desarrollo, pero requiere hacer una apuesta concreta, o seguiremos perdiendo talentos. Algunas propuestas apuntan a crear “Distritos de Innovación”, o “Centros de innovación tecnológicos” más transversales, que apoyen a todas las áreas productivas. Una idea derivada es la de crear “Distritos Virtuales de Innovación”, que después de la pandemia puede tener una oportunidad de reinstalarse.

b. Regulación cuidadosa:

Las nuevas tecnologías digitales han creado nuevos problemas sociales y han exacerbado otros que ya existían. Sin embargo, regular la tecnología es complejo y peligroso, pudiendo tener muchos efectos no deseados. Existe consenso que es un tema a estudiar.

c. Innovación en el Estado:

Existe un enorme consenso en que el Estado puede promover esta revolución, mostrando el ejemplo y el camino a seguir. Chile tiene experiencia en esto, el nacimiento de Internet en el país estuvo siempre liderado por sus Universidades y el Gobierno -en forma muy pionera-, lo que permitió al país tomar un claro liderazgo regional a comienzos del siglo XXI.

Si logramos mantener el foco en el ciudadano, y generar innovaciones inclusivas que consideren tanto la vía digital como la presencial, podemos estar mucho mejor preparados para el futuro. Algunos proyectos concretos en el Estado pueden ser profundamente transformadores: identidad digital (Registro Civil y Clave Única), ficha médica electrónica (Ministerio de Salud), etc.

Otros proyectos de legislación podrían tener enormes impactos en la eficiencia de los procesos y en la vida cotidiana de los ciudadanos como disminuir fuertemente el uso de las notarías, validando y masificando la firma electrónica avanzada.

De la misma forma, muchos servicios del Estado deben ser revisados y transformados digitalmente, incluso algunos que ya se digitalizaron en su momento: compras públicas, Impuestos Internos son buenos ejemplos. Y, algunos deben ser desarrollados con alta prioridad, como salud, donde todavía no tenemos una ficha médica electrónica estándar en el país, afectando todo el sistema tanto público como privado.

d. Innovación en Educación:

La Revolución Digital afectará fuertemente la educación. Debiéramos aprovechar de innovar en educación, donde Chile siempre ha tenido problemas históricos de difícil solución. La tecnología nos permite una educación más personalizada, con más seguimiento y más igualitaria, si garantizamos el acceso a Internet a todos nuestros estudiantes. Por ejemplo, el uso de video-juegos en educación es una

herramienta muy poderosa y polémica, que requiere más investigación al respecto.

Durante los años 1990 y 2000, Chile desarrolló mucha tecnología para la educación escolar e invirtió mucho dinero en mejorar la educación. Los resultados no fueron tan buenos como se esperaba, pero sí se permitió que una generación entera se actualizara tecnológicamente y se formara en estos temas, preparándolos mucho mejor para el futuro que se les venía encima.

La pandemia nos mostró cómo las escuelas podían usar material digital central desde el Mineduc, reemplazando la necesidad de tener acceso a bibliotecas enormes en todas partes. Aunque los resultados no fueron satisfactorios (escuelas con mala conectividad, desorden del material que no hubo tiempo de organizar bien, educación remota escolar es muy compleja), existen experiencias valiosas a rescatar. En particular para reforzar la lecto-escritura que la pandemia perjudicó fuertemente.

A nivel universitario, la transformación digital de las universidades podría ser revolucionaria: si las universidades chilenas se transforman en latino-americanas, o tal vez hispano-americanas, aceptando estudiantes remotos de toda la región, usando profesores remotos de toda la región, se podría construir una meta-universidad de nivel mundial y cambiar las reglas del juego del conocimiento, la formación de capital humano, la investigación y la transferencia. Sin embargo, las universidades son muy conservadoras en su pregrado (siendo muy innovadoras en investigación) y probablemente habría que incentivar estos cambios para liderar el proceso.

e. Redes Sociales y Pensamiento Crítico:

Todos los profesores y padres de hoy sentimos que los jóvenes han cambiado profundamente: la inmediatez, los textos cortos, los momentos de atención rápidos

y vagos, la imposibilidad de tenerlos concentrados en clases... Aunque esta es una queja histórica tradicional que podemos encontrar por siglos en la historia de la humanidad (incluso Internet ha popularizado una falsa cita de Sócrates diciendo que ¡los jóvenes contradicen a sus padres y tiranizan a sus profesores!), la tecnología parece haber influido fuertemente en las nuevas generaciones. Un gran problema es que los jóvenes parecen convencidos que todos los problemas son triviales y se pueden reducir a un mensaje de twitter.

Fomentar el pensamiento crítico (ser escépticos frente a cualquier información nueva) y el análisis (ver los problemas de diversas ópticas, aprender a debatir con argumentos), parecen cualidades aun más importantes que hace 30 años. Algo que antes sólo se le pedía a los intelectuales, hoy lo necesitamos en toda la ciudadanía, por que los algoritmos han aprendido a manipular nuestras mentes simples, y necesitamos forzar nuestra mente más compleja a trabajar todo el tiempo.

Una enorme parte de la crisis de la democracia y la polarización de la sociedad se debe a la amplificación de noticias falsas que son muy difíciles de combatir en un ambiente de gente crédula.

f. Pilotos de Transformación Digital del Estado:

Más allá de la innovación y digitalización del Estado, aquí se propone ir más allá: buscar los temas donde un servicio del Estado se puede transformar completamente gracias a las nuevas tecnologías. Esto no puede ser masivo inmediatamente, serían pilotos que nos permitieran estudiar el impacto y el efecto de nuevas formas de llegar a la ciudadanía. Por ejemplo, participación ciudadana, voto electrónico⁵, o distribución de bonos y ayudas, dinero digital, educación remota, etc.

⁵ El autor participa como socio fundador en una empresa de votación electrónica.

V. Conclusiones Iniciales

Aunque es prematuro sacar conclusiones aún, ya que esto saldrá más bien del trabajo de los diálogos en 2023, me permito mostrar aquellas ideas en torno a las que existe bastante acuerdo y que podrían aportar a estructurar el trabajo 2023.

1. No sabemos qué va a pasar

Algo importante de considerar en todo este trabajo, es que en realidad no sabemos qué tecnologías nos impactarán ni cómo. Todo lo que digamos al respecto es una apuesta bastante riesgosa y donde estamos seguros que nos equivocaremos en muchos temas.

Pero, lo que sí es seguro y compartido por todos, es que habrán grandes cambios en nuestra sociedad debido a esta revolución tecnológica. Por ello, las propuestas de temas y visiones deben siempre considerar que el país debe prepararse para enfrentar estos grandes cambios (cualquiera sean) de la mejor forma posible, incluso sacando provecho de las oportunidades que traen.

En ese marco, los temas de formación de capital humano, pensamiento computacional, pensamiento crítico, emprendimiento tecnológico, investigación en todas las áreas de Tecnologías de Información, Innovación digital en el Estado, son clave. También lo son, definir lo que hemos llamado “Factores Habilitantes” que nos permitan enfrentar en mejor pie esta Revolución Digital.

2. Fomentar la Innovación en Desarrollo Digital de todo tipo

Apostar por áreas temáticas muy focalizadas es muy riesgoso y se pierden muchas oportunidades de aplicar soluciones de un área a otra. Por lo tanto, es mejor apoyar la innovación digital en todos los ámbitos (que hoy son todos los

existentes, en realidad) y ver la posibilidad de apoyar centros de innovación y transferencia dedicados a Tecnologías de Información, ojalá genéricos, que busquen oportunidades de transferencia y colaboración con todos los centros de innovación existentes, ya que todos requiere digitalizarse para avanzar al futuro.

3. Regular es muy riesgoso

Regular las tecnologías es una mala idea. Por ejemplo, una regulación de la Inteligencia Artificial sería inútil, ya que es muy fácil argumentar que un algoritmo no es Inteligencia Artificial. Lo importante es regular el problema, como usar algoritmos para seleccionar personas, lo que genera una discriminación arbitraria.

Sin embargo, la tecnología sí ha creado problemas nuevos que deben ser regulados. Chile requiere definir la estrategia que seguirá en estos temas, ya que el mundo ha optado por caminos muy diversos, principalmente Europa y Estados Unidos.

4. Aprovechar ventajas locales

Chile posee algunas ventajas notables a nivel mundial, de las que no estamos muy conscientes. La bio-diversidad, la geografía, la cultura, son únicas y muy valoradas. Podríamos aprovecharlas para atraer tecnología, talentos, y capacidad de Investigación e innovación de todo el mundo.

5. Usar la innovación en el Estado como laboratorio

Con el nivel de incertidumbre actual, es difícil para el sector privado chileno (que, además, es muy conservador y no está acostumbrado al riesgo) invertir en apuestas tecnológicas arriesgadas. El Estado puede tomar algunos de estos riesgos y experimentar en sus propias reparticiones, como lo hizo el SII en su

minuto. De la mano con las Universidades locales, muchos pilotos interesantes y baratos pueden servir de guía al desarrollo digital del país.

VI. Anexo. Síntesis editada de aportes de las entrevistas

A continuación, se presenta una síntesis editada y anonimizada de las entrevistas realizadas. Para una mejor comprensión, estas se han agrupado en torno a los tópicos que surgieron de las entrevistas.

Dimensión Socio-tecnológica:

- Un problema importante en la revolución digital es creer que va a resolver todos los problemas de la sociedad. Muchas veces, la digitalización genera nuevos problemas y obstáculos, porque no piensa en el usuario sino en el servicio mismo. Finalmente, ahorra costos en vez de mejorar el servicio. Ejemplos: bots inútiles, obligar a tener cuentas en redes sociales, homologación de celulares, etc. Esto implica considerar siempre el derecho a “no ser digital”.
- Se debe abordar la responsabilidad en el uso de la tecnología, la Inteligencia Artificial, como un ejemplo relevante, ha generado varios problemas de expectativas y de falsas ideas, como la “humanización” de los sistemas y la extrapolación a espacios en que el aprendizaje de patrones y repetición no resuelve el problema, e incluso puede crear situaciones peligrosas.
- Una hipótesis planteada es que los seres humanos no podemos ser clasificados por estos sistemas, al menos no en lo que “pensamos” o lo que “creemos”. No somos una distribución normal. Eso hace que los datos sobre personas no sirven para predecir individuos. Un ejemplo, fue la falla del sistema predictivo utilizado en UK para la selección universitaria durante la pandemia, que simplemente discriminó estudiantes por situación socio-económica.

- Entendiendo que el reconocimiento de patrones es muy bueno, no hay que usarlo para toma de decisiones, ya que, sin emociones, no se puede decidir nada. Los sesgos y errores de todo tipo se cuelan ahí y generan graves errores.
- Es necesario comprender los desafíos de manipulación y polarización que se generan. Pensar en cómo evitar que las noticias falsas y las redes sociales nos manipulen. Se han estudiado las relaciones entre tweets y grupos, cada uno en su cámara de resonancia aislada, o la polarización y grupos como narcos, en que todo lo que ves y escuchas está controlado por el algoritmo. Los profesores podrían ayudar a mediar la tecnología, se puede hacer formación de profesores en estos temas.
- En la ciudadanía falta capacidad de abstracción, pensamiento crítico, lo que no nos permite usar bien las tecnologías. La tecnología abusa de las personas que no tienen las habilidades. Muchas veces falta pensar en el usuario, no en el servicio. Clave única y SII son buenos ejemplos de ese error. Los sistemas deben poner el foco en el ciudadano.
- Está además la desigualdad en capacidad de cálculo que genera una nueva desigualdad entre países.
- En la necesidad de regulación de la tecnología, aunque se reconoce que hay problemas importantes (algunos creados por la tecnología) que requieren regulación, se plantea como error el buscar regular la tecnología misma. Por ejemplo, hacer una regulación de la Inteligencia Artificial no sirve, porque siempre podemos decir que nuestro sistema es un algoritmo estadístico o probabilístico y escapar de esa regulación. En cambio, sí es necesario regular las noticias falsas, pero siempre en forma independiente de la tecnología, y con mucho cuidado con el balance entre libertad de expresión y

censura. En ese contexto, cuando se trata de sistemas computacionales que se aplican, es mejor hablar de Sistemas Algorítmicos, como lo hace la ACM. En torno a este mismo tema, hay un difícil equilibrio entre seguridad y privacidad: sistemas de vigilancia automática son útiles, pero vulneran la privacidad. El país debiera decidir qué tanto quiere ir en una dirección o en otra.

Educación:

- Se plantea la necesidad de enseñar “ética y tecnología” en cursos de primer año de universidad, al menos en ingeniería, considerando, por ejemplo, propuestas y visiones éticas de la región, por ejemplo indígenas, donde el grupo está por sobre el individuo. Es necesario mostrar cómo la tecnología puede modificar a la sociedad misma.
- La segmentación entre lo técnico y las habilidades blandas no funciona: comunicación y liderazgo son necesarias en todas las áreas, así como la formación ética, la transdisciplina y el pensamiento crítico.
- Se propone estudiar la educación completa: cómo la tecnología puede transformar la educación, siendo más personalizada, o al menos no “one-size-fits-all”. Por supuesto, con cuidado, que acá también hay un conflicto entre hacer sistemas demasiado personalizados y/o demasiado genéricos.
- Respecto del Edutainment, se levanta la alerta de que los video juegos son adictivos, y pueden tener efectos colaterales si se usan para educación.
- También se requieren nuevas habilidades: aprender cómo usar bien las tecnologías. Al menos abrir los cursos de programación y data science a toda la universidad.

- Se señala la relevancia de educar en pensamiento computacional en los colegios y universidades.
- Por otro lado, se advierte que meter pensamiento computacional en el curriculum, puede no ser una buena idea, ya que no están los profesores que puedan enseñar esto. Se requiere que el curso de introducción a la computación esté abierto a todos los estudiantes de las universidades, al menos a los estudiantes de Educación: los futuros profesores de Chile.
- Se señala que la demanda por carreras de formación en computación ha subido, lo que se nota en puntaje de corte, aunque no han aumentado los cupos. Se ha creado licenciatura en computación en distintas universidades con buena formación de ingenieros informáticos. Hay que preguntarse si esa formación es buena en todos lados a nivel técnico y universitario.
- Se requiere que la acreditación y calificación asegure la mejora de la calidad de nuestros profesionales (tanto técnicos como ingenieros). Se propone hacer una revisión de curriculum, tal vez una acreditación/certificación de los profesionales.
- Se debe reconocer que la creatividad y la innovación son dos talentos distintos: ideas (investigación) y aplicación/cultura (innovación), y en general se dan en dos personas distintas (Jobs/Wozniak, Gates/Balmer, Schilkrut y Soto en Zippedi). Se podría buscar formas de “juntarlos” en incubadoras universitarias.
- También es necesario revisar formación y curriculum en las carreras informáticas: considerar, por ejemplo, la formación en profundidad en ciberseguridad. Promover mayor agilidad en los planes de estudios: hoy hay

carreras demasiado largas y aisladas. Se puede promover el intercambio de estudiantes con otros países y las pasantías de innovación en empresas.

- La retención de talentos es crítica, por otra parte. Perdemos muchos talentos que se van a trabajar de empleados en la industria en vez de retenerlos para innovación y transferencia. Se requiere de un ecosistema que atraiga los talentos potenciales.

Políticas Públicas en Chile:

- Se plantea considerar distintos tipos de ciudadanos y diseñar en torno a estos: full internet, mixtos y full presenciales (no digitales), fijando el foco en bienestar: de las personas y del planeta.
- Se propone crear un Data Lake de los datos del gobierno.
- En regulación se debe elegir entre las lógicas europeas y de Estados Unidos. Chile no ha definido aún su posición.
- Es importante partir por innovación en el Estado, avanzando por ejemplo en integración de datos para dotarse de ficha médica electrónica como base en salud. La confianza en los sistemas del Estado, permitirá desarrollar confianza en los ciudadanos y puede aportar a la integración entre los servicios entre públicos y privados.
- El Estado debe dar el ejemplo, como innovador y digitalizador. Cómo crear espacios para centros que se vinculen con la industria chilena para resolver los grandes problemas de investigación. La CORFO jugó ese rol un tiempo y requiere de una articulación con ANID.

- Se pueden desarrollar centros de investigación en TI, que compartan conocimiento informático, impulsando investigación en capacidades transversales de TI (y más amplio tal vez) al servicio de los diversos sectores productivos como el Inria en Francia o en la lógica de distritos de Innovación (Julie Wagner) que permitan la interacción de universidades y empresas.
- Se requiere de organismos de promoción de innovación: no basta con dar el financiamiento, hay que acompañar, ayudar en el proceso, dado que el ecosistema no funciona aún. Gobierno podría vincular los centros con el sector productivo.
- Se requiere definir prioridades, contar con una estrategia que permita mantener capacidades locales vivas para crear conocimiento local y articularlo con una cooperación internacional. Con Francia, por ejemplo, existen puntos comunes que podrían aprovecharse mejor: descarbonización, hidrógeno verde, alimentos sustentables (seguridad alimenticia), IoT, redes. Salud, Contenidos Culturales y Creativos. Soberanía Aero-espacial. Ciberseguridad, computación Cuántica.

Aprovechar ventajas propias de Chile:

- Se deben aprovechar las características propias del país: minería, diversidad, capacidad de improvisación, etc.
- La biodiversidad local es un increíble valor. Tanto observatorios astronómicos como océanos en el sur, Antártida, etc., podrían contar con un Centro de Investigación local que atraiga investigadores de todo el mundo. Data Observatory parece haber sido una oportunidad perdida. Otro ejemplo es en energías renovables, espacios donde queremos ser una potencia tecnológica regional, con datacenters, hubs tecnológicos, etc.

Factores Habilitantes:

- Se sugiere comenzar por definir los Factores Habilitantes: Telecomunicaciones (hoy nuestras escuelas, comunidades aún tienen baja conectividad y eso genera una enorme desigualdad territorial), infraestructura computacional y capital humano. Se debe buscar ir más allá de la “computación”: manejo de información, telecomunicaciones, seguridad, computación cuántica, definiendo estos “factores habilitantes” de la revolución digital, para no dejar ninguno de lado, como se hizo en la “Estrategia de I.A.”
- Esto supone reconocer que los cambios en la infraestructura cambian las oportunidades. Un ejemplo es el desarrollo de Fibra en pandemia, que respondió a la lógica reactiva de nuestras políticas. Se requiere ser más proactivo y actuar previendo lo que viene, por ejemplo, pensando cómo la tecnología podría ayudar a la regionalización.
- Reconocer que la capacidad de cálculo es una brecha hoy, no podemos competir con las grandes empresas en los grandes países. Pero también sigue habiendo oportunidades que no requieren tanta inversión, sobre todo comparativamente con otras áreas (minería, manufactura, etc.)

Temas tecnológicos a desarrollar:

- Se propone volver a dinamizar el trabajo en la política nacional de Inteligencia Artificial. Chile tuvo un liderazgo regional el 2021 que se ha perdido, pero que no es difícil de recuperar hoy, ya que hay capacidad local de buen nivel, con programas de estudios bien adaptados. Existen esfuerzos para una alianza global por la IA donde se intentó incluir a Chile (Macron-Trudeau), y donde está Brasil, México y Argentina.

- La Computación Cuántica es algo interesante para estar atentos. Se debe mirar su desarrollo en el mundo, enseñarlo, estar preparados para cuando lleguen como productos. Hoy son físicos los investigadores en este tema, pero se requiere ampliar ese conocimiento. Sin embargo, para otros es menos importante que ciber-seguridad.
- Big Data es una oportunidad, pero hay que buscar en que áreas de datos (además de astronomía, que resulta obvio). En sistemas embebidos, sensores, por ejemplo, se puede desarrollar una industria local.
- Metaverso: aprovechar nuevas interfaces, interacción humano-computador como fuente innovadora. Parece interesante en particular la realidad aumentada.

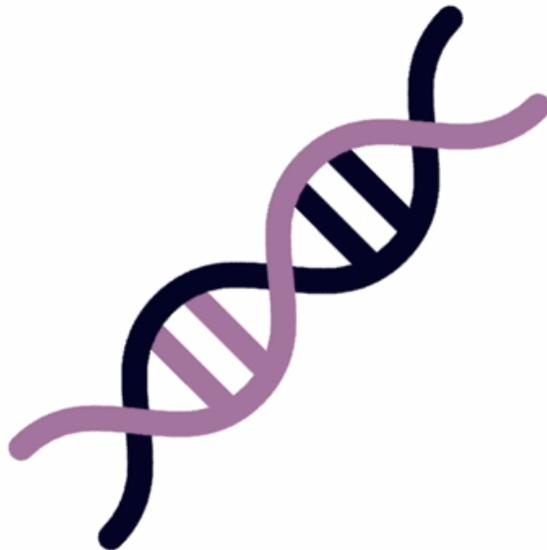
Emprendimiento:

- Existe una mayor cultura de emprendimiento actualmente. Incubadoras en las universidades, emprendimientos exitosos en las áreas de sensores, manejo de datos, mayor seguridad de transmisión en base a cuántica y números aleatorios. Es fundamental apoyar y promover este cambio.
- Aprovechar lo que se hizo con Startup Chile como un programa de largo plazo y el cambio que ha habido en el mundo de los capitalistas de riesgo donde ahora se busca el crecimiento con eficiencia.

DOCUMENTO TÉCNICO

REPORTE 3. PROSPECTIVA SOBRE LA REVOLUCIÓN BIOLÓGICA para Chile

María Virginia Garretón Rodríguez
Maite Paulina Salazar López



I. Resumen

El objetivo del presente informe es aportar a las discusiones que liderará el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chile sobre el país que queremos construir. Aquí, presentamos una recopilación y explicación básica de los avances en conocimientos y tecnologías más relevantes en el área de la biología, considerando sobre todo sus potenciales impactos actuales y a futuro. Estos conocimientos y tecnologías están siendo impulsados y moldeados por tres desafíos de carácter global: que seamos personas sanas, que dispongamos de alimentos sanos y que preservemos la naturaleza sana.

A partir del análisis de informes mundiales, revistas científicas, y entrevistas con expertos nacionales, identificamos los conocimientos y las tecnologías que consideramos más relevantes, y las organizamos en cinco categorías de acuerdo con sus enfoques metodológicos: I. Entender de forma integral los seres vivos en su entorno, II. Tecnologías ómicas, que usan grandes volúmenes de datos, III. Selección, modificación, intervención y uso de seres vivos. IV. Bio-procesos y bio-productos, V. Sistemas inteligentes que conectan datos/máquinas con seres vivos. Adicionalmente, hemos hecho un esfuerzo por explicar de forma general las características de cada categoría y sus impactos más relevantes para Chile.

Como ejercicio de reflexión, exploramos con mayor profundidad los desafíos asociados a una de estas tecnologías, la edición genética CRISPR en plantas. Con ello hemos hecho un esfuerzo por visibilizar algunas de las múltiples aristas que deben integrarse en una discusión sobre avances y tecnologías con potencial disruptivo. Finalmente, hemos incorporado también algunas reflexiones personales y de los expertos nacionales entrevistados, que aportan consideraciones locales a este análisis.

Este documento, que corresponde a un capítulo de una serie de cuatro⁶, no constituye una revisión bibliográfica exhaustiva. Nuestra intención es aportar un primer insumo técnico que ayude al proceso de discusión al que estamos convocados y que busca promover un país donde la ciencia, el conocimiento, tecnología e innovación estén al servicio del bienestar y el bien común.

II. Introducción

Este informe es una propuesta de contenidos mínimos de las áreas de la biología y la biotecnología que vislumbramos como relevantes para ser incorporados en los diálogos de futuro que el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación de Chile (Consejo CTCI) convocará en los próximos meses del año 2023.

Actualmente nos enfrentamos a desafíos complejos que si bien son mundiales aterrizan de manera diferencial en las diversas localidades. El envejecimiento de la población; las migraciones humanas masivas.; la crisis climática y ambiental; la actual y futuras pandemias, el acceso equitativo a alimentos nutritivos y seguros, son algunos de los procesos que desafían la construcción de bienestar en nuestra sociedad. Si bien estos problemas requieren soluciones multidimensionales, creemos que las ciencias basadas en la biología pueden y deben aportar a enfrentarlos. Dada la urgencia de estos desafíos, nos parece pertinente la invitación que hace el Consejo CTCI a que, desde los conocimientos, se convoque un espacio diverso para reflexionar y construir alternativas de acción que hagan posible un futuro de bienestar e inclusivo.

⁶ Además de este reporte sobre los contenidos que están moldeando la Revolución Biológica en el mundo, paralelamente se crearon otros tres documentos de la misma serie en los temas de: Revolución digital, Democracia y Sostenibilidad.

Para desarrollar esta propuesta exploramos y analizamos los avances y desarrollos de la biología en: 1) informes de anticipación de agencias del mundo y Chile, 2) artículos científicos e informes técnicos de agencias internacionales y chilenas, 3) análisis de bases de datos internacionales, y 3) en entrevistas con expertos nacionales.

A partir de estas fuentes elaboramos una lista -no exhaustiva-, de los avances en biología, que sirve de punto de partida para pensar y anticipar el futuro. Es esencial contar además con una mirada multidisciplinaria, capacidad de escuchar y humildad. Los ejercicios de anticipación del futuro contienen siempre un alto grado de incertidumbre y esconden, inevitablemente, juicios de valor asociados a nuestras expectativas. Es por esto que más adelante en este documento analizaremos con mayor profundidad una tecnología: el desarrollo y producción de nuevos cultivos vegetales obtenidos por medio de la edición genética. Con este caso, ejemplificaremos las múltiples aristas que debemos integrar a un diálogo sobre el desarrollo y uso de nuevas biotecnologías.

El proceso de diálogos que liderará el Consejo CTCI, contará con la participación de variados actores quienes deberán ratificar, corregir, reducir o expandir los contenidos y las prioridades que nuestro país debe abordar para que las CTCI aporten al bienestar de una sociedad justa y en armonía con la naturaleza. Creemos que el foco de estos diálogos debe estar en crear un camino para ser buenos ancestros de las futuras generaciones, aquellas que no tendrán voz en este ejercicio de construir el país y el planeta que recibirán.

Temas de la biología en la discusión mundial

Los conocimientos y tecnologías de la biología han permitido avances importantes en salud y acceso a alimentos en los últimos siglos. A su vez, han generado costos, e importantes desacuerdos. Basta mirar las controversias en torno a

tecnologías como los organismos genéticamente modificados, que persiste a más de 30 años de su primera comercialización. Para prepararnos para el futuro entonces, es necesario reflexionar sobre los nuevos conocimientos tanto en las etapas iniciales de su desarrollo, como durante las trayectorias de aplicación que siguen. Una vez que las tecnologías son adoptadas es mucho más difícil modificar su trayectoria.

La biología como ciencia está en un momento de apogeo. Esto se manifiesta en la gran cantidad de conocimientos y tecnologías en discusión actualmente a nivel mundial. Como primera aproximación, optamos por recopilar todos los temas (anexo 1), para luego agruparlos según algunos criterios que faciliten su comprensión (ver categorías más adelante en la sección IV).

Es posible que algunas tecnologías y conocimientos que hoy son ampliamente aceptados y/o se vislumbran como disruptivos, sigan una trayectoria distinta a la esperada. A su vez, pueden existir conocimientos y tecnologías que hoy no tienen suficiente visibilidad pero podrían ser determinantes para el futuro ⁷. Nos parece importante reconocer las limitaciones de un análisis anticipatorio como este, particularmente dado el tiempo acotado del que se dispuso para realizar este análisis. Así podremos aprovechar en su justa medida, su aporte al diálogo. Tener conciencia de estos límites nos permitirá reflexionar con humildad sobre el rol y contribución de las ciencias y tecnologías en la construcción del país que queremos.

Finalmente, como sabemos, los desarrollos científicos y tecnológicos están situados y modulados por un contexto mundial y de país. Es así como nos parece relevante y necesario que aspectos que no tienen relación directa con la biología, pero que son claves para el bienestar humano, se integren explícitamente en los diálogos de futuros. Especialmente nos referimos a miradas sobre: la justicia

⁷ Kemp et al., «Bioengineering horizon scan 2020».

social, la democracia, el bienestar colectivo, y la naturaleza. Esa integración detallada está fuera del alcance y mandato de este informe, pero confiamos que ocurrirá durante los diálogos futuros.

Aclaraciones sobre términos y limitaciones del análisis

Para fines de análisis, en este informe usamos los términos “**conocimientos**” para referirnos a avances en el área de la biología que están empujando los límites de la sociedad o abriendo posibilidades tecnológicas en el futuro pero que aún no se traducen en tecnologías ampliamente disponibles. Por otro lado, usamos el término “**tecnologías**” para referirnos a técnicas o procesos establecidos que pueden usarse para generar conocimiento o nuevos productos (sean comerciales o no) y que ya han pasado por una etapa inicial de investigación y desarrollo. Los límites entre la generación de nuevos conocimientos, y sus aplicaciones no son claros; las distinciones entre conocimientos y tecnologías pueden ser difusas. Existen nuevos conocimientos que son a su vez tecnologías, como el caso de la bioinformática y la genómica. Es decir, los procesos de desarrollo de nuevos conocimientos científicos y aplicaciones tecnológicas no siguen trayectorias lineales por lo que consideramos ambos ámbitos igual de relevantes para esta discusión.

Limitaciones de este informe

Nuestro análisis se enfocó en áreas del saber, y tecnologías que tienen alguna base en la biología, entendida ésta, como el estudio de la composición, procesos o interacciones de los seres vivos, *excluyendo explícitamente el área de la ecología*. Esta exclusión se debe a que en el contexto del trabajo de anticipación que lidera el Consejo CTCI, y que mandata la elaboración de este informe, se está elaborando otro documento con un foco específico en los desafíos que nos impone la Crisis Climática y la Naturaleza.

Nuestro análisis comprende en términos generales, conocimientos y tecnologías de las áreas de biología molecular, celular, fisiología, biotecnología, bioingeniería, biomedicinas, química, veterinaria, y agronomía. Lo anterior en el contexto de múltiples especies de seres vivos: microorganismos, plantas, hongos, animales, y seres humanos. Hacemos notar que más allá de la separación administrativa de estos informes, las reflexiones relacionadas a las áreas de la biología son técnicamente inseparables de aquellas sobre el medio ambiente, y la crisis climática. Por lo tanto, aunque hemos intentado hacer una separación, inevitablemente debemos incorporar elementos relacionados a la crisis ambiental en nuestro análisis.

Así como solo hemos tocado transversalmente los conocimientos y tecnologías del ámbito de la ecología, reconocemos que también existe una conexión indisoluble entre las áreas de la biología y las áreas de Big-data (la intersección entre grandes datos y biotecnologías, por ejemplo), y con democracia y gobernanza global (el acceso a alimentos saludables, o tecnologías de diagnóstico está íntimamente ligados a la institucionalidad, la equidad y la justicia social, por mencionar un caso). Sin embargo, al igual que para el tema de la sustentabilidad, debemos alertar que los temas de Big-data, como los de Democracia también serán específicamente abordados en otros informes de esta serie, por lo que, aunque reconocemos la gran relevancia de esas dimensiones, no ahondaremos en estos temas. Confiamos también que esta integración ocurrirá en el contexto de los diálogos futuros.

III. Tres desafíos globales que moldean el desarrollo de la biología: conocimientos y tecnologías más relevantes

Primero, queremos destacar y distinguir tres desafíos globales y nacionales, que de forma prioritaria están moldeando el desarrollo científico-tecnológico de la biología (ver Figura 1):

- 1) *Personas sanas con acceso a la salud efectiva y oportuna.*
- 2) *Alimentos sanos, nutritivos, accesibles y sustentables.*
- 3) *Naturaleza sana y disponible para sostener la vida por muchas generaciones.*

Los conocimientos y tecnologías que identificaremos y analizaremos en este informe afectan a uno o más de estos tres desafíos, de maneras más o menos directas y/o simultáneas. Un ejercicio posible para organizar o estructurar los diálogos puede ser reflexionar los efectos, consecuencias y oportunidades de cada conocimiento o tecnología teniendo en cuenta como impactan a cada uno de los tres desafíos.

Cabe destacar que los tres desafíos que proponemos en este informe: *personas sanas*, *alimentos sanos* y *naturaleza sana* forman parte de los Objetivos de Desarrollo Sustentable que la ONU ha priorizado en su agenda de desarrollo 2030⁸. A continuación, los detallamos en mayor profundidad.

1. Desafío: personas sanas

Durante los últimos dos años, hemos sido testigos, del dramático impacto que pueden tener los patógenos en la salud pública y las grandes inequidades que se

⁸ ONU, «ODS: Objetivos de desarrollo sustentable».

evidencian ante crisis como una pandemia. Hemos aprendido dolorosamente también que disponer, en teoría, de los conocimientos y las tecnologías para salvar vidas, no es suficiente para usarlos adecuadamente en momentos de urgente necesidad. El acceso, y sobre todo, los mecanismos y la infraestructura para usar los conocimientos y tecnologías de manera efectiva y oportuna son claves y debieran ocupar nuestros espacios de reflexión y acción.

En el área de la biomedicina, la pandemia nos ha demostrado que los conocimientos y tecnologías son imprescindibles para disponer de medicamentos (por ejemplo, vacunas). Sin embargo, la crisis también nos ha mostrado que debemos prepararnos más sistémicamente. Aprendimos con dolor que también debemos contar con conocimientos y tecnologías para, por ejemplo: a) mejorar la efectividad de la atención de salud (metodologías digitales para hacer frente a la demanda por salud mental integral); b) crear capacidades de manufactura farmacológica avanzada que estén distribuidas más equitativamente en el mundo (el precio de producir un medicamento ya no es la única variable para decidir qué medicamentos debe producir un país); y b) utilizar conocimiento y tecnología para aminorar los efectos negativos del aislamiento de las personas más susceptibles: niños, ancianos, enfermos crónicos.

2. Desafío: alimentación sana

En Chile, la pandemia del COVID-19 puso un freno a los avances con respecto a reducir el hambre y mejorar la calidad de la nutrición. Lamentablemente entre los años 2018 y 2020, el número de personas subalimentadas en Chile aumentó de 500.000 a 600.000, mientras en el mundo el número se redujo ⁹. Estos números nos debieran alertar sobre la urgencia y relevancia actual del desafío de la alimentación sana.

⁹ FAO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*.

Desde hace décadas, el conocimiento y las tecnologías en biología han avanzado en responder al desafío de la alimentación. Se han desarrollado estándares analíticos y nutricionales para la seguridad alimentaria (metodologías analíticas para cuantificar compuestos presentes en los alimentos, ej. azúcares refinados), nuevas fuentes de alimentos (ej. plantas mejoradas), nuevos conocimientos sobre la nutrición humana (ej. dietas adecuadas para celíacos y niños en general), etc.

Sin embargo, con la crisis climática, las crisis sociales y la pandemia, se hace evidente que además debemos: a) entender mejor las prácticas de manejo de nuestra agricultura, ganadería, y en particular las de la acuicultura con su importante promesa de alimentos más saludables ¹⁰; b) conocer y mejorar las prácticas médicas y culturales asociadas a nuestra nutrición y metabolismo; c) atender nuestros vacíos en conocimientos sobre prácticas productivas adecuadas para Chile; d) integrar fuentes alimenticias locales especialmente aquellas provenientes del mar; y e) considerar las necesidades nutricionales de nuestra población, cuidando que sean cultural y biológicamente apropiadas ¹¹.

3. Desafío: naturaleza sana

El tercer desafío global que impulsa el desarrollo de los conocimientos y tecnologías basados en biología se relaciona con la crisis climática y nuestro convicción de cuidar la naturaleza para el presente y futuro. La ONU impulsa desde hace varias décadas el cuidado de la naturaleza por medio de tres de sus Objetivos de Desarrollo Sustentable (acciones para el clima, los océanos y los ecosistemas terrestres).

La relevancia de los conocimientos y desarrollos tecnológicos de la biología para proteger la naturaleza se manifiesta, al menos como aspiración, en las políticas públicas a nivel mundial. El Presidente Biden de Estados Unidos lanzó, a

¹⁰ Blue Food Assessment Organization, «Blue Food».

¹¹ von Braun et al., «Food Systems».

principios del año 2022, el programa nacional BioPreferred® a cargo de su departamento de agricultura. Este programa busca dar un giro rápido hacia el uso de materiales sustentables, apoyando acciones para una bioeconomía sostenible. El programa BioPreferred® por un lado compromete al estado a adquirir bio-productos si es que están disponibles, y por otro financia el desarrollo de nuevos bio-productos y empresas que comercializan estos productos ¹².

En el contexto del desafío de naturaleza sana, incluimos conocimientos y tecnologías para producir productos de fuentes renovables (ej, sustitutos del plástico, detergentes biodegradables, aceites de base vegetal reciclables, nuevos materiales de construcción, etc.); nuevas tecnologías de captura de gases invernadero (secuestradores biológicos de CO2 optimizados); conocimientos sobre microbiomas ambientales imprescindibles para el funcionamiento adecuado de ecosistemas (por ejemplo que optimizan el uso de nutrientes y el agua en la agricultura); nuevas variedades de plantas que se adaptan mejor a determinados ecosistemas, y otros.

A continuación, presentamos nuestra recopilación de los conocimientos y tecnologías que actualmente están en discusión y pueden ser relevantes para Chile.

¹² US Department of Agriculture, «BioPreferred Program-USDA, 2022».

IV. Recopilación y categorización de conocimientos y tecnologías relevantes

Para facilitar la lectura y discusión, hemos agrupado los avances en conocimientos y tecnologías en cinco categorías, de acuerdo con el tipo de recursos o métodos que utilizan (Figura 1).



Naturaleza
sana



Personas
Sanas



Alimentos
sanos

Conocimientos y tecnologías según su ámbito de acción

- I. Entender de manera integral a los seres vivos en su entorno:* usar una mirada integrativa de procesos biológicos en la salud, la agricultura, los mares, etc.
- II. Tecnologías “ómicas” que usan grandes volúmenes de datos:* hablamos de genómica, transcriptómica, proteómica, metabolómica y microbiómica.
- III. Selección, modificación, intervención y uso de seres vivos* para medicina y producción agropecuaria, acuicultura, y manufacturera optimizada.
- IV. Bio- procesos y bio-productos* destinados a la seguridad alimentaria, la sustentabilidad, el medio ambiente, la salud y la manufactura industrial.
- V. Sistemas inteligentes que combinan datos-máquinas con seres vivos,* nuevas capacidades o remplazos de capacidades en humanos o poblaciones.

Figura 1. Tres desafíos globales empujan las tecnologías y conocimientos de la biología. Estos contenidos han sido agrupados en cinco categorías según las metodologías que utilizan.

Construimos las categorías de la figura 1 considerando los acercamientos metodológicos o técnicos, que están a la base de estos avances.

A continuación, describiremos en mayor profundidad estas cinco categorías. Para esto, presentamos figuras con ejemplos de algunos de los avances (conocimientos o tecnologías) que componen cada una, y que consideramos son los más destacados por la masividad de su adopción, su potencial impacto, o por su relevancia para Chile (figuras 2 a 6). A su vez, en algunos casos hemos

complementado con una corta discusión sobre cómo se relacionan estas categorías con los grandes desafíos de alimentos sanos, personas sanas y naturaleza sana. Por último, describimos para cada categoría ejemplos específicos de avances y sus usos.

Categoría 1: Comprensión de la relación entre seres vivos y su entorno

En esta primera categoría incluimos tecnologías y conocimientos de la biología que apuntan a entender de manera integral los seres vivos en su entorno (figura 2). Por ejemplo, en esta categoría encontramos conocimientos que apuntan al cuidado y comprensión de la naturaleza y la biodiversidad; a la producción sustentable de alimentos de origen agropecuario y acuícola, y a la interacción entre seres humanos, que encuentra una expresión muy importante en la salud mental.



Figura 2. Categoría 1. Entender de manera integral de los seres vivos en su entorno incorpora a tecnologías y conocimientos que miran a los seres vivos como sistemas complejos que no existen solos.

Esta categoría 1, tiene repercusiones socioculturales y de bienestar muy importantes puesto que agrupa contenidos que cuidan bienes comunes como la naturaleza, y que se hacen cargo de la protección y rescate de conocimientos ancestrales para medicina y alimentación. Los conocimientos aquí contenidos son claves también para comprender y facilitar el desarrollo de terapias para la salud en la vejez, o resuelven necesidades de información necesarias para la gestión de zonas con manejo ambiental. A su vez, aquí se agrupan los avances en terapias de acompañamiento de niños y ancianos para hacer frente al daño mental que produce la soledad, el rescate de plantas de la medicina y cocina tradicionales, los avances que se han realizado para promover la agricultura sustentable con producciones que incorporan la biodiversidad del lugar al manejo productivo, o los desarrollos para hacer posible una acuicultura sustentable con cuidado de los fondos marinos y de la biodiversidad, producciones sin pesticidas o antibióticos, etc.

Un ejemplo muy interesante en esta categoría es el monitoreo de aguas servidas en busca de patógenos humanos y ambientales con potencial de transformarse en pandemias o afectar los ecosistemas terrestres y acuáticos. Durante la pandemia del COVID-19, algunos países modernizaron y ampliaron sus estaciones de monitoreo de aguas servidas, así como las plataformas informáticas que recopilan esta información. Con esto fueron capaces de alertar y actuar frente a cepas o variedades de patógenos que requerían acciones urgentes, ej. la cepa ómicron de SARs-CoV-2 ¹³. Los sistemas de monitoreo mencionados permiten conocer tempranamente cuando aparece una nueva cepa de COVID-19. Este ejemplo de aplicación científico-tecnológica requiere para su implementación avances en procesos como: metodologías de muestreo seguro desde fuentes peligrosas para el ser humano, química para extracción de ADN desde muestras complejas, equipamiento robusto de PCR, secuenciación genómica de bajo costo, acceso a

¹³ EU commission, «Commission Recommendation on a common approach to establish a systematic surveillance of SARS-CoV-2 and its variants in wastewaters in the EU».

bases de datos mundiales de genomas de microorganismos, plataformas de big-data, y algoritmos con interfases de reportabilidad para la toma de decisiones. También requiere coordinaciones entre varias agencias del estado y empresas, así como regulaciones adecuadas para proteger el uso de la información. Para que Chile puede beneficiarse de este tipo de aplicaciones de los conocimientos, se requiere inversión, coordinación, y convencimiento por parte del estado.

Para avanzar en entender los seres vivos en su entorno es necesario contar con investigación y colaboraciones multidisciplinarias entre varias entidades, que son difíciles de lograr, pero que son altamente rentables para los países. Sin embargo, las iniciativas con estos objetivos rara vez reciben apoyo efectivo del estado. Dado su enorme impacto positivo, su bajo riesgo, y sus bajos costos es importante reflexionar de manera oportuna, sobre como el país puede aprovechar su potencial.

Categoría 2. Tecnologías “ómicas” con grandes volúmenes de datos

Esta categoría agrupa tecnologías que analizan a gran escala distintos componentes de los seres vivos: *genómica* (estudio del conjunto de los genes de un individuo o población); *transcriptómica* (estudio del conjunto de los ARNs que produce una célula o ser vivo en un momento dado); *proteómica* (estudio del conjunto de las proteínas de uno o varios seres vivos), *metabolómica* (estudio del conjunto de los metabolitos o compuestos químicos que tiene o libera uno o varios seres vivos), *microbiomas* (estudio de la diversidad de microorganismos que conviven estrechamente en un individuo, grupos de individuos, o ecosistemas). En la figura 3 se presentan algunos ejemplos de usos de estas tecnologías y conocimientos.

Una característica definitoria de esta categoría es que todas las tecnologías/conocimientos que la componen generan grandes volúmenes de datos y demandan poderosa infraestructura de cómputo.

Las ómicas son hoy capacidades habilitantes para el desarrollo de otros conocimientos o tecnologías. Permiten caracterizar detalladamente a individuos o especies por lo que están siendo objeto de regulaciones sobre la información que generan. En la última COP15 de biodiversidad que se realizó en Montreal durante diciembre de 2022, se acordó regular los mecanismos de intercambio y cuidado de la información -ómica mundial de manera prioritaria, y como parte de los objetivos comunes para la protección de la biodiversidad.

Las tecnologías ómicas también se están utilizando para ofrecer tratamientos médicos personalizados muy efectivos y a la vez muy costosos. Por ejemplo, existen medicamentos biológicos (proteínas modificadas que actúan en sitios del cuerpo muy específicos) que solo son efectivos en pacientes que tienen mutaciones determinadas. En este caso se debe secuenciar parte del genoma del paciente para que pueda ser tratado con este medicamento. Este tipo de medicina “personalizada” permite optimizar muy bien la efectividad de los medicamentos, y a la vez encarece notoriamente su uso.

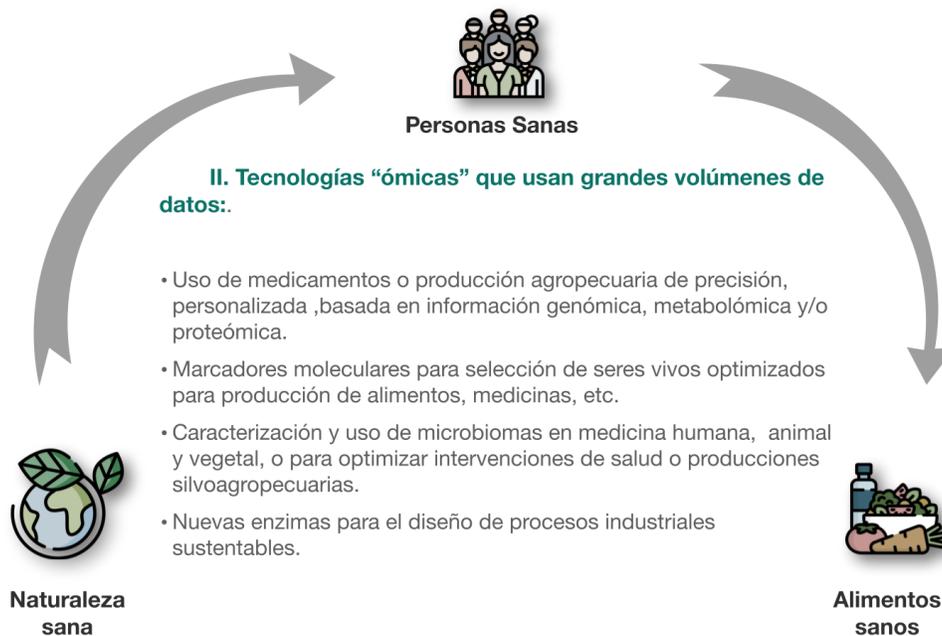


Figura 3. Tecnologías “ómicas”, que agrupa a contenidos que analizan conjunto enorme de moléculas de seres vivos y generan grandes volúmenes de datos. Estas tecnologías y conocimientos están estrechamente conectados con el big-data y son relevantes para los tres desafíos globales identificados.

Hoy es posible secuenciar el genoma de cualquier ser vivo, o virus en sólo semanas, incluyendo el genoma del ser humano. Disponer de manera rápida de esta información permite: identificar especies, susceptibilidad a enfermedades, inferir características físicas y metabólicas de un individuo, parentescos, etc. Si a la información genómica le agregamos la información que entrega la transcriptómica (todos los RNAs que produce una célula o ser vivo en un momento dado), podemos conocer las respuestas a nivel molecular de un individuo a estímulos de su entorno. Con este conocimiento se están empezando a crear herramientas para modelar y predecir cómo responderán microorganismos, plantas y animales -incluidos seres humanos- a ambientes específicos: sequía, altas temperaturas, o espacios estresantes. Las tecnologías -ómicas ya se utilizan para seleccionar plantas que se adaptan bien a un terreno agrícola, para fiscalizar la importación de variedades de frutas registradas, para desarrollar plataformas de

medicina “personalizada” (ejemplo de párrafo anterior), para seleccionar embriones fertilizados *in vitro*, o para diferenciar primas de riesgo en seguros de salud (la ley chilena prohíbe utilizar la información genética humana para decisiones laborales o de seguros -ley 21.422/feb2022-). En resumen, estas tecnologías/conocimientos tienen enorme potencial, pero requieren de una reflexión importante ya que cada día expanden sus usos y aplicaciones.

Como tecnologías, las ómicas han progresado enormemente en la última década e incluso el año pasado ¹⁴, y su democratización a nivel mundial pasa principalmente por asegurar rápidamente un acceso equitativo a la infraestructura y a profesionales entrenados, así como por implementar regulaciones y acuerdos de uso, protección y acceso a la información.

Categoría 3. uso, selección y modificación de seres vivos

La figura 4 esquematiza la categoría que agrupa los conocimientos y tecnologías que modifican, crean y usan seres vivos. Estos conocimientos y tecnologías tienen un impacto directo en los tres desafíos: personas sanas, alimentación sana, y naturaleza sana.

¹⁴ Marx, «Method of the Year».

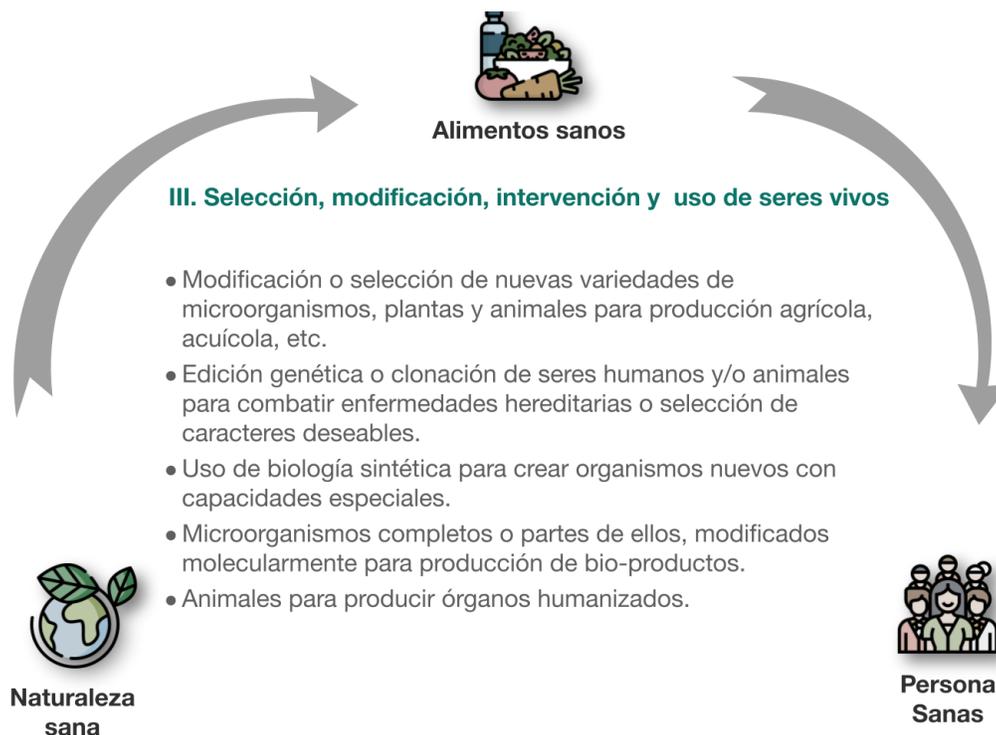


Figura 4. Selección, modificación y uso de seres vivos. En esta categoría se incluyen tecnologías y conocimientos que se usan para modificar o usar seres vivos para procesos de interés humano.

Estos conocimientos y tecnologías son aplicables a todos los seres vivos, desde microorganismos a seres humanos, permitiendo en teoría modificar características biológicas con objetivos específicos definidos (por lo general de tipo productivos y de salud, etc.).

Algunos de estos conocimientos y tecnologías han generado dilemas y controversias importantes dado el potencial que tienen para modificar seres vivos. Por ejemplo, en esta categoría incluimos varias tecnologías que generan preocupación ciudadana: las actuales tecnologías de edición genética como CRISPR-Cas 9, la clonación de animales y humanos, las tecnologías de modificación genéticas de plantas y animales (a veces conocidas como transgénicos u OGMs), el uso de células madre modificadas, y la producción de

animales como fuente de órganos para trasplantes en humanos. Es importante construir espacios de diálogo y deliberación para que las decisiones sobre su uso reflejen los anhelos de la sociedad. Algunas de estas tecnologías, como los transgénicos, tienen años de comercialización, y otras están en etapas más tempranas de su aplicación, como CRISP-Cas 9.

La controversia asociada a la comercialización a gran escala de los OGMs, principalmente de cultivos de tipo commodities, nos alertan por un lado, sobre las múltiples dimensiones que incluyen los dilemas generados por la modificación de seres vivos (éticas, sociales, culturales, ambientales, de sistemas de producción, etc.), y por otro, sobre las consecuencias de no debatir y reflexionar oportunamente sobre las nuevas tecnologías. Chile adoptó un marco regulatorio sobre los OGMs fragmentado, acotado, ambivalente, sin un diálogo amplio ni participativo ¹⁵. Esto significó que, en la práctica, el estado chileno no ha sido efectivo para abordar esa controversia, y tampoco para anticipar los mecanismos y aspectos relevantes a considerar para tomar decisiones sobre nuevas tecnologías que han venido después, y que ya se encuentran en vías de comercialización, como organismos modificados con CRISPR-Cas9 (más adelante reflexionaremos en más detalle sobre esta tecnología en la sección V-análisis de caso).

Categoría 4. Bio-procesos y Bio-productos

Bajo la categoría de Bio-procesos y Bio-productos agrupamos aquellos productos, o procesos que dan lugar a nuevos materiales o insumos de origen biológico, que usan organismos o sus partes en su producción que también impactan los tres desafíos globales ya mencionados (figura 5).

¹⁵ Salazar et al., «The Ambivalent Regulator».

Por ejemplo, sustitutos vegetales de carne animal, símiles de plástico obtenidos de materias primas vegetales, materiales de construcción obtenidos a partir de hongos, o bio-reactores para producir insulina humana en células de levadura. Esta es una categoría muy diversa y pujante en el mundo. Existe una alta demanda por materiales más respetuosos con el medio ambiente, que no sean testeados en animales, que sean reciclables, y/o más nutritivos.

Los países con alta diversidad natural, como Chile, poseen ventajas importantes para el avance de estos conocimientos, y para el desarrollo de nuevos productos. En esta categoría también se incluyen nuevos procesos industriales que buscan obtener productos por medio de métodos más rápidos, baratos, limpios o con menor huella de carbono. En esta categoría por ejemplo se encuentran las bio-energías como el bio-etanol, y los alimentos que comercializa la empresa chilena Not-Co.



Figura 5. Nuevos bio-procesos y bio-productos. Productos, materiales y procesos nuevos que usan seres vivos o sus componentes como recursos o como parte de su manufactura.

Una preocupación recurrente relacionada a estos conocimientos y tecnologías está asociada con el acceso a los insumos primarios que demandan sus procesos productivos. Estos insumos o recursos provienen de la naturaleza; y en muchos casos no hemos explorado ni establecido formas de manejo sustentable para ellos (ej productos extraídos de macroalgas). Por otro lado, existen casos de bio-productos o procesos que han sido desarrollados usando como base, conocimientos o materias primas de orígenes ancestrales o tradicionales donde empresas han obtenido grandes ganancias, pero no las han compartido con las comunidades que generan y resguardan esos recursos. El Protocolo de Nagoya, un acuerdo internacional relacionado a la Convención para la Diversidad Biológica, protege los recursos genéticos e impulsa la distribución justa de los beneficios derivados de la naturaleza. Chile aún no suscribe este protocolo.

Categoría 5. Sistemas inteligentes que conectan datos-máquinas con seres vivos

La última de las categorías que hemos definido se presenta en la figura 6. Aquí se agrupan conocimientos y tecnologías que se desenvuelven en la interfase entre ser vivo y datos-máquina. Una distinción distintiva de esta categoría es que incorpora inteligencia artificial o sistemas “inteligentes”. En este segmento encontramos implantes cerebrales para “aumentar las capacidades de procesamiento”, impresión 3D de tejidos, monitoreo de metabolitos en producciones agrícolas o acuícolas, uso de algoritmos y sensores intra-corporales para medicina personalizada, monitoreo de patógenos con una mezcla de genómica e inteligencia artificial, exoesqueletos para aumentar las capacidades físicas de las personas, órganos artificiales, etc.

El estudio de la interfaz cerebro-máquina como una de las múltiples aplicaciones de esta categoría, nos permite avanzar en la investigación sobre el funcionamiento del cerebro. Esto tiene implicancias importantes para abordar nuestra

comprensión sobre el envejecimiento, las enfermedades neurodegenerativas, o los procesos propios de la adolescencia, la menopausia, entre otros.

Los conocimientos y tecnologías con potencial de aumentar artificialmente las capacidades de los seres vivos generan importantes dilemas éticos y sociales. Por ejemplo, esas tecnologías podrían intensificar inequidades, entre distintos grupos de la sociedad o países otorgándole ventajas a quienes pueden pagar por ellas.

Otra materia de reflexión es que estas tecnologías de aumento de las capacidades neuro psíquicas utilizan recursos que prometen llevar el ser humano hacia un “super-ser”, mientras que usando los mismos recursos, conocimientos y profesionales podríamos ocuparnos de enfermedades neuropsiquiátricas, diversidades neurológicas, o inequidades cognitivas producidas por la pobreza económica y social. Esta es una decisión de futuro que debemos discutir.



Figura 6. Sistemas inteligentes que conectan datos o máquinas con seres vivos. Se incluyen conocimientos y tecnologías que combinan biología con robótica, inteligencia artificial, y/o big-data.

La categoría 5 también tiene altos requerimientos de infraestructura para el acceso a datos y cómputo (ej. fibra óptica, internet inalámbrica de alta velocidad y baja latencia, etc.). Para que los avances de esta categoría no aumenten las brechas de desigualdad de nuestra sociedad, debemos estar dispuestos a crear capacidades transversales y a regular el acceso.

La visión de nuestros expertos

Para complementar el análisis anterior, entrevistamos a siete expertos que desarrollan su quehacer en distintos ámbitos relacionados a la salud humana, agricultura, microbiología, genómica y biología integrativa (ver anexo 2). Estos investigadores se desempeñan en distintas universidades del país. Algunos de ellos tienen estrechos vínculos con ámbitos profesionales (clínica, industria agrícola, servicio público) y otros están más abocados a la investigación académica. Si bien cada uno se enfocó en aspectos específicos de su área, coincidieron en seis puntos generales y transversales para el futuro del país.

- o *Primero*, coinciden en que los principales desafíos que marcan e influyen en el avance de los conocimientos están centrados en los desafíos que hemos definido como: personas sanas, alimentación sana y naturaleza sana.
- o *Segundo*, desde las distintas áreas destacan que las nuevas herramientas y conocimientos están cambiando la forma como hacemos investigación y estos cambios son rápidos. Los nuevos conocimientos y tecnologías generan oportunidades, pero también grandes desafíos. Es transversal la visión que resulta imprescindible que el país cuente con capacidades para recolectar, procesar y analizar grandes cantidades de datos de manera rápida.

- o *Tercero*, la investigación y las tecnologías avanzan hacia enfoques más o sistémicos (por ejemplo, el área de la biología integrativa) que buscan entender la complejidad de los sistemas vivos junto con sus entornos. En ese sentido, buscan comprender propiedades emergentes de los sistemas, descubrir patrones, sobre todo entender los fenómenos en sus contextos y no aislados. Estás son áreas emergentes que requieren trabajo colaborativo y enfoques multi e interdisciplinarios. Por lo mismo, enfrentan desafíos para su desarrollo a nivel mundial y de manera importante en Chile, donde la interdisciplina es muy escasa.

- o *Cuarto*, todos los entrevistados mencionan la falta de conocimientos a distintos niveles sobre nuestros contextos locales, sean estos ambientales, sociales, agroecológicos, epidemiológicos, de biodiversidad o relacionados a enfermedades crónicas e infecciosas humanas, etc. Destacan que estos conocimientos son urgentes para enfrentar los desafíos de salud pública, naturaleza y nutrición derivados de la crisis ambiental y climática. Coinciden en que Chile no conoce a Chile.

- o *Quinto*, desde distintas miradas todos muestran preocupación e interés por la relación entre ciencia y sociedad. Teniendo distintas visiones sobre el tema, todos mencionaron la relevancia de regular, comunicar adecuadamente y contar con buenos mecanismos para tomar decisiones sobre nuevas biotecnologías o datos. Varios destacan que es necesario construir espacios permanentes de reflexión bioética entre ciencia y sociedad.

- o *Sexto*, todos destacan la importancia de la educación, en un sentido amplio que incorpora la comunicación efectiva con la sociedad, no solo en escuelas y universidades, sino también para todos los trabajadores y ciudadanos. Incluso son enfáticos en considerar este desafío como uno de

los focos más relevantes para crear el futuro. Destacamos que, en este ámbito, se refieren también a la educación para desarrollar el pensamiento crítico y la capacidad de reflexionar sobre los avances y usos de la ciencia.

V. Reflexiones para Chile

A continuación, presentamos reflexiones personales y compartidas por los entrevistados que consideramos pertinentes para la discusión sobre conocimientos y tecnología biológicas en Chile.

Sugerencias compartidas

Desde el punto de vista de la ciencia y tecnología nuestro país se encuentra entre dos grandes tensiones: por un lado, promover el desarrollo de conocimientos de vanguardia, con mirada global, que podrían tener implicancias para el bienestar futuro; y por otro lado, la ausencia de conocimientos locales pertinentes, y la precaria socialización de los que sí tenemos.

La producción de conocimientos pertinentes es importante para informar las decisiones. La socialización, divulgación y transferencia de conocimientos y tecnologías, incluso algunas ya existentes, podrían aportar soluciones que son necesarias. Nos hace falta conectar nuestro sistema de CTCI con la sociedad (localidades, comunidades, instituciones, etc.) bajo formatos profesionales, descentralizados, y sobre todo sostenibles en el tiempo. Si queremos prepararnos para el futuro, debemos valorar y apoyar estos dos distintos tipos de investigación y desarrollo, puesto que no son excluyentes y pueden potenciarse mutuamente: A modo de ejemplo, una forma de enfrentar mejor el futuro de nuestra salud pública es, promover investigación en contextos hospitalarios nacionales que incluyan a pacientes, técnicos de la salud, y equipos académicos nacionales e

internacionales para abordar de forma más integral dolores propios, con soluciones posibles para Chile.

La transferencia de conocimientos puede aportar mucho a mejorar la agricultura, la vida rural, la producción de alimentos y la salud de las personas. Faltan mecanismos estables (institucionales y/o estatales) para generar esos puentes y se requiere de miradas multidisciplinarias y equipo estables para lograrlo.

Es clave desarrollar y mantener infraestructura nacional (ej. plataformas de monitoreo con datos actualizados accesibles), y servicios científico-tecnológicos estables, de acceso amplio, probablemente públicos. Por ejemplo, servicios de secuenciación genómica, de monitoreo de datos ambientales, estudios poblacionales longitudinales, etc.

Debemos romper las barreras institucionales para generar equipos, colaboración e investigación inter y multidisciplinaria. Por ejemplo, facilitar centros de investigación en neurociencias o envejecimiento insertos en la clínica para que la investigación e innovación puedan ocurrir en el mismo espacio y contexto.

Debemos incorporar las miradas de la regulación y bioética: Hoy la biología y el big-data avanzan muy rápido y es importante tener reflexiones oportunas a nivel de la sociedad (poniendo atención en las etapas tempranas de la investigación). Esto no debe limitar la libertad de investigación, pero hay que reconocer que la investigación sí tiene límites éticos¹⁶. Debatir, dialogar, decidir, y no esperar a que el mundo nos imponga las opciones.

Para Chile es especialmente importante hacer la reflexión de cuanta biodiversidad y “naturaleza” estamos dispuestos a sacrificar en desmedro de las futuras

¹⁶ van Lente, Swierstra, y Joly, «Responsible Innovation as a Critique of Technology Assessment»; Jasanoff y Hurlbut, «A Global Observatory for Gene Editing»; Jasanoff, Sheila, «Sheila Jasanoff: We need technologies of humility».

generaciones, con el fin de extraer hoy los minerales que tenemos. Vendrán pronto, o ya están en curso, solicitudes de explotación minera del fondo marino, que ocuparán al mismo mar que usamos para producir alimentos; el mismo que ya está siendo sobre explotado por algunas formas de pesca. Son dilemas difíciles que requieren entre otras cosas, reflexionar quién gana y quién pierde ante las diversas alternativas de intervención/no-intervención. Para eso necesitamos espacios donde una diversidad de actores puedan dialogar y deliberar con el fin de lograr un acuerdo para el bien común.

Por último, queremos destacar que, en nuestras reflexiones con los expertos, una idea recurrente fue que la ciencia debe avanzar para entender la crisis climática desde enfoques integrales o sistémicos y no reduccionistas.

A su vez, todos los expertos mencionaron las barreras que existen para hacer investigación colaborativa, multidisciplinaria, y la dificultad para investigar sobre nuestros contextos locales, a pesar de su pertinencia y urgencia.

Enfoques para la gobernanza de nuevas tecnologías

Los futuros científicos-tecnológicos tienen siempre un alto grado de incertidumbre. Por lo mismo, nuestros esfuerzos por predecir y controlar su desarrollo estarán siempre cargados de dificultades. En sus etapas iniciales es difícil predecir la trayectoria más probable de una tecnología. Eso hace que sea difícil intervenir para moldear o influir en su desarrollo. Sin embargo, es precisamente en esa etapa inicial cuándo es más factible controlar su camino e influir. En otras palabras, las tecnologías son procesos dependientes de su trayectoria, moldeados y coproducidos en sociedad. Esto implica que las opciones entre caminos tecnológicos alternativos tienden a cerrarse con el tiempo. Por lo tanto, como no queremos renunciar a gobernar nuestros futuros tecnológicos, es necesario encontrar la forma de actuar de manera oportuna, construyendo acuerdos

democráticamente, dejando espacio para los beneficios de los nuevos desarrollos y reconociendo las incertidumbres.

Desde los estudios de ciencia, tecnología y sociedad (CTS) existen propuestas que nos ayudan a pensar en los elementos importantes a incorporar en los sistemas de gobernanza para las ciencias y nuevas tecnologías en biología. Aquí detallamos algunos de estos elementos ¹⁷:

- o Incorporar “flexibilidad, resiliencia y diversidad a los desarrollos tecnológicos para evitar cerrar nuestras opciones” ¹⁸. Por ejemplo, generando procesos inclusivos que aborden las incertidumbres antes de que los productos existan.
- o Los discursos sobre el futuro tienen impactos reales en el presente. Las proyecciones sobre la tecnología expresan juicios valóricos, y por lo tanto son visiones sobre un futuro deseable. Es clave dar espacio para cuestionar o reflexionar sobre esos juicios y visiones en los procesos de discusión y gobernanza.
- o La deliberación amplia puede facilitar que emerjan visiones alternativas y diversas que abran las opciones tecnológicas, siempre que se permita un espacio para desafiar relatos dominantes o deterministas.
- o Los enfoques de gobernanza como la investigación e innovación responsable (Responsible Research and Innovation RRI) desarrollado por el Reino Unido y aplicado a la biología sintética ¹⁹, reflejan un esfuerzo por promover una discusión amplia centrada en todo el ciclo de vida del

¹⁷ Marris y Calvert, «Science and Technology Studies in Policy».

¹⁸ Marris y Calvert.

¹⁹ Lindner, R; Kuhlmann, S, «Navigating towards shared responsibility in research and innovation»; Marris y Calvert, «Science and Technology Studies in Policy».

proceso de innovación y desarrollo tecnológico. El concepto de investigación e innovación responsable se enfoca en las motivaciones y objetivos de la investigación y no sólo en la predicción y manejo de los riesgos de las aplicaciones. Es importante analizar y aprender de esas experiencias para construir procesos ajustados que respondan a nuestra realidad.

Análisis de caso: la edición genética para nuevas variedades de cultivos vegetales

Para ejemplificar la complejidad del impacto de los conocimientos y tecnologías que estamos revisando en este documento, ahondaremos en una tecnología en particular: la edición genética de cultivos vegetales con fines comerciales y productivos.

La tecnología conocida como edición genética se desarrolló alrededor del 2012 (para una visión histórica rápida, ²⁰, cuando se vislumbraron las primeras aplicaciones de un sistema de edición de genes descrito en bacterias en 1987 (para una revisión exhaustiva, ²¹). Este sistema, llamado genéricamente CRISPR²², permite modificar la información genética de un ser vivo. En ese sentido, CRISPR es parte de un conjunto de biotecnologías modernas que se usan hace decenas de años para modificar los genomas. No obstante, la tecnología de edición destaca por sobre las demás. Representa un salto cualitativo en las capacidades de modificación.

Podríamos decir que es una tecnología que cambia las reglas del juego debido a que difiere de sus predecesoras en tres aspectos claves: 1) puede ser aplicada a

²⁰ Marqués P., «La historia de CRISPR/Cas9».

²¹ Hsu, Lander, y Zhang, «Development and Applications of CRISPR-Cas9 for Genome Engineering».

²² *La tecnología de CRISPR es un conjunto de herramientas (enzimas que reconocen y cortan ADN, como Cas9) y conocimientos (la secuencia genética específica que reconoce la enzima en uso -ej. Cas9-, y la secuencia de los genes que se quieren modificar). En el caso de las plantas, el procedimiento se realiza en un laboratorio especializado de biología molecular con conocimientos e instalaciones adecuadas para mejoramiento vegetal.*

todas o una gama mucho más amplia de especies; 2) puede modificar la información genética de manera precisa y puntual (hacer cambios de una letra en el alfabeto genético, o de varios genes, en el lugar que se desea) y; 3) permite realizar múltiples modificaciones en un sólo proceso de intervención del genoma. A lo anterior, se agrega que la tecnología CRISPR es más eficiente, más barata y puede modificar el genoma sin dejar rastro.

El mejoramiento tradicional, de larga data, basado en la cruce de individuos, también modifica la información genética, pero es un proceso acotado a los cambios posibles de realizar dentro la reproducción biológica natural. Sin embargo, el mejoramiento que introdujo la ingeniería genética aceleró y diversificó los procesos de mejoramiento genético. Por medio de la ingeniería genética²³, se desarrollaron los cultivos genéticamente modificados (también conocidos como cultivos GM, OGMs, o transgénicos). Actualmente los cultivos GM se producen y comercializan a gran escala. La soya, el maíz y el algodón son los tres más importantes. Han sido motivo de controversia por décadas. Europa, por ejemplo, tiene una política más bien restrictiva sobre su producción y exige etiquetado de ingredientes OGMs en productos para consumo humano, en Estados Unidos la política es más permisiva en ambos aspectos. Nuestra regulación restringe el uso comercial de transgénicos al cultivo para la exportación de semillas y permite el ingreso de productos con ingredientes transgénicos sin etiquetado.

Como mencionamos anteriormente, la edición genética o CRISPR permite dar un salto significativo y sin duda se ha transformado en una tecnología disruptiva. A nivel mundial, ya existen aplicaciones comerciales para su uso en diagnóstico de patógenos humanos²⁴ y varios medicamentos su última fase de estudios clínicos. A nivel del agro, existen dos cultivos autorizados para comercialización que han

²³ Dentro de la ingeniería genética vegetal la herramienta más usada y conocida es la transgénesis que consiste en la inserción de genes foráneos en una planta. Sin embargo, existen múltiples otras tecnologías (para una revisión simple sobre el tema ver Britannica, T. Editors of Encyclopaedia, «genetic engineering. Encyclopedia Britannica.»).

²⁴ Kaminski et al., «CRISPR-Based Diagnostics».

sido desarrollados por medio de la edición: soya alta en ácido oleico autorizado en Estados Unidos y un tomate autorizado en Japón (Sicilian Rouge High GABA). Este último es interesante porque a diferencia de los cultivos transgénicos, la nueva variedad es para consumo fresco y el objetivo de la modificación es aportar al consumidor (versus las mejoras destinadas a optimizar la producción, como la resistencia a insectos). Existen otros cultivos nuevos en etapa de desarrollo y en proceso de autorización (Custer, R.; Dima, O., 2022).

Considerando la relevancia que la agricultura tiene en nuestro país, nos parece urgente crear mecanismos para reflexionar sobre las implicaciones del uso de la edición genética en esta industria. En este sentido, enfocar la discusión en una lista de riesgos y beneficios es insuficiente (por cierto son importantes de considerar, aunque difíciles de anticipar).

Si bien está es una reflexión que debe realizarse a distintos niveles de la sociedad y de manera oportuna, queremos enunciar algunos aspectos que nos parecen relevantes para Chile:

- o Dado que será posible editar un amplio rango de especies vegetales, se abren enormes posibilidades para explorar variedades nuevas de cultivos adaptados al cambio climático, con propiedades nutricionales mejoradas y necesarias, resistencia a enfermedades o caracteres deseables para optimizar el almacenaje y transporte de estos productos, con potencial para bajar costos y aumentar la disponibilidad de buenos alimentos. Todos aspectos relevantes para nuestro país y para el mundo.
 - ¿Queremos entonces enfocar el uso de la tecnología de manera que apunte a usos pertinentes y relevantes a nivel nacional?
 - ¿Queremos permitir la importación de nuevas variedades obtenidas y evaluadas en otros países?, ¿Quiénes serían los beneficiarios de la adopción de la tecnología en estos casos?

- ¿Qué implicancias podría tener para cada uno de los actores, el uso de estos cultivos modificados, y también para los sistemas agroecológicos de nuestro país?
- o La edición genética permite modificar sin dejar rastro de esa modificación en el organismo. Esto dificulta su detección y trazabilidad, haciendo compleja su coexistencia con variedades convencionales en un escenario dispar de regulación y aceptación pública a nivel mundial. Podría, por ejemplo, dificultar el monitoreo y asignación de responsabilidades frente a la dispersión no-intencional de polen o material genético en áreas silvestres o en campos aledaños de producción convencional.
- ¿Cómo prevenir y hacer frente a la mezcla en la cadena productiva de cultivos editados y no editados?
 - Por ejemplo, ¿cuál es nuestra postura, si un maíz que se procesa para producir aceite de consumo humano se mezcla con un maíz editado genéticamente que no tiene autorización para consumo humano en nuestro mercado?
- o También tiene implicancias para la equidad y justicia en un contexto de grandes diferencias y heterogeneidad de productores, como es el caso de nuestro país. Imaginemos el escenario en que se desarrolla una nueva variedad de papa, editada genéticamente para ser cultivada en zonas secas. Esta variedad es muy productiva y sana pero inesperadamente más atractiva para insectos que atacan tomates. Justo un producto agrícola de la canasta de agricultores pequeños que cultivan al lado de grandes plantaciones de la nueva variedad de papas, en una zona previamente libre de esos patógenos.
- ¿Alguien debe responder por las pérdidas de algunos agricultores?
 - ¿Cómo se establecen las responsabilidades?

- o Por otro lado, la dificultad para identificar variedades que han sido editadas de esta forma podría tener repercusiones para la protección de los recursos genéticos -que sirven de base para el mejoramiento de variedades y la protección de la naturaleza-, y la repartición de beneficios a las comunidades que sostienen esta diversidad genética²⁵.
 - ¿Cómo promovemos los nuevos desarrollos y a la vez cuidamos una distribución justa de los beneficios?
 - ¿Cómo aseguramos que la diversidad genética, que está demostrado tiene un valor incalculable, sea preservada para las futuras generaciones?

- o Es importante destacar que, si bien CRISPR permite modificar el genoma evitando la introducción de genes foráneos (uno de los aspectos cuestionados en el caso de los transgénicos), eso no implica que esta tecnología tenga una mayor aceptación pública. Las preocupaciones y cuestionamientos a los transgénicos no han sido ni son monolíticas y se basan en una mezcla de argumentos éticos, sociales, económicos, culturales y ambientales.
 - ¿Cómo generamos acuerdos y regulaciones sobre estas tecnologías para dar cabida a las diferentes posturas?

- o También hay implicancias importantes para la biodiversidad de los sistemas agroecológicos y de áreas silvestres. La edición genética podría generar cultivos mejor adaptados y con ventajas competitivas.
 - Por ejemplo, ¿cuál sería el impacto en las variedades tradicionales y ancestrales con las cuales coexisten las nuevas variedades en los sistemas productivos nativos? Esto es relevante para la protección de la diversidad biológica.

²⁵ De acuerdo a lo establecido en compromisos como el Protocolo de Nagoya de la Convención para la Biodiversidad Biológica y discutidos en la COP15 de biodiversidad (diciembre, 2022).

- o Otra perspectiva a considerar son los límites u oportunidades asociadas a los tratados internacionales respecto al acceso a productos derivados de tecnologías avanzadas. Para los diálogos futuros un insumo relevante es contar con esta información de manera de integrarla a la deliberación.

Por último, es importante señalar que la tecnología de CRISPR de cultivos vegetales es un ejemplo de tecnologías biológicas que impactan los tres desafíos globales que hemos definido: personas sanas (por ej. si se generan cultivos que producen medicinas), alimentación sana (pueden cambiar los cultivos y las características nutricionales de nuestros alimentos), y naturaleza sana (podrían ayudar a adaptar nuestra agricultura al cambio climático y con eso evitar más deforestación, pero también afectar de manera negativa la biodiversidad natural que requerimos para adaptarnos al cambio climático).

VI. Referencias bibliográficas

- Aransiola, S. A., M. O. Victor-Ekwebelem, A. A. Ikhumetse, y O. P. Abioye. «Challenges and Future Prospects of Biotechnology». En *Innovations in Biotechnology for a Sustainable Future*, editado por Naga Raju Maddela y Luz Cecilia García, 429-38. Cham: Springer International Publishing, 2021. https://doi.org/10.1007/978-3-030-80108-3_20.
- Blue Food Assessment Organization. «Blue Food». *Nature*, Blue Food collection, Special Feature (15 de septiembre de 2021). <https://www.nature.com/immersive/d42859-021-00055-6/index.html>.
- Braun, Joachim von, Kaosar Afsana, Louise O. Fresco, y Mohamed Hassan. «Food Systems: Seven Priorities to End Hunger and Protect the Planet». *Nature* 597, n.º 7874 (2 de septiembre de 2021): 28-30. <https://doi.org/10.1038/d41586-021-02331-x>.
- Britannica, T. Editors of Encyclopaedia. «genetic engineering. Encyclopedia Britannica.» En *Enciclopedia Britanica*, 2022. <https://www.britannica.com/science/genetic-engineering>.
- Cheever, Anne. «DARPA safe genes». <https://www.darpa.mil/staff/dr-anne-cheever.html>. safe genes research <https://www.darpa.mil/staff/dr-anne-cheever.html>, 2022. <https://www.darpa.mil/program/safe-genes>.
- CNID. «Ciencias, Tecnología e Innovación para un Nuevo Pacto de Desarrollo Sostenible e Inclusivo». Santiago, 2017. <http://www.cnid.cl/portfolio-items/cti-para-un-nuevo-pacto-de-desarrollo-sostenible-e-inclusivo/>.
- Custer, René; Dima, O. *Genome-Edited Crops and 21st Century Food System Challenges*. Editado por Directorate-General for Parliamentary Research Services. LU: Publications Office, 2022. <https://data.europa.eu/doi/10.2861/290440>.
- EU commission. «Commision Recommendation on a common approach to establish a systematic surveillance of SARS-CoV-2 and its variants in wastewaters in the EU». Brussels, 17 de marzo de 2021. https://ec.europa.eu/environment/pdf/water/recommendation_covid19_monitoring_wastewaters.pdf.
- FAO. *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*. FAO, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc0639en>.
- Geyik, Özge, Michalis Hadjikakou, y Brett A. Bryan. «Climate-Friendly and Nutrition-Sensitive Interventions Can Close the Global Dietary Nutrient Gap While Reducing GHG Emissions». *Nature Food*, 23 de diciembre de 2022. <https://doi.org/10.1038/s43016-022-00648-y>.
- Hsu, Patrick D., Eric S. Lander, y Feng Zhang. «Development and Applications of CRISPR-Cas9 for Genome Engineering». *Cell* 157, n.º 6 (junio de 2014): 1262-78. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2014.05.010>.

- Jasanoff, Sheila. «Sheila Jasanoff: We need technologies of humility». *Rathenau Instituut* (blog), 2018. <https://acortar.link/hBbLbb>.
- Jasanoff, Sheila, y J. Benjamin Hurlbut. «A Global Observatory for Gene Editing». *Nature* 555, n.º 7697 (marzo de 2018): 435-37. <https://doi.org/10.1038/d41586-018-03270-w>.
- Kaminski, Michael M., Omar O. Abudayyeh, Jonathan S. Gootenberg, Feng Zhang, y James J. Collins. «CRISPR-Based Diagnostics». *Nature Biomedical Engineering* 5, n.º 7 (16 de julio de 2021): 643-56. <https://doi.org/10.1038/s41551-021-00760-7>.
- Kemp, Luke, Laura Adam, Christian R Boehm, Rainer Breitling, Rocco Casagrande, Malcolm Dando, Appolinaire Djikeng, et al. «Bioengineering horizon scan 2020». Editado por Helena Pérez Valle, Peter Rodgers, y Ariel B Lindner. *eLife* 9 (29 de mayo de 2020): e54489. <https://doi.org/10.7554/eLife.54489>.
- Kolis, Nikolaos, y Fragiskos Kolis. «Synthetic Biology: Old and New Dilemmas—The Case of Artificial Life». *BioTech* 10, n.º 3 (20 de julio de 2021): 16. <https://doi.org/10.3390/biotech10030016>.
- Lente, Harro van, Tsjalling Swierstra, y Pierre-Benoît Joly. «Responsible Innovation as a Critique of Technology Assessment». *Journal of Responsible Innovation* 4, n.º 2 (4 de mayo de 2017): 254-61. <https://doi.org/10.1080/23299460.2017.1326261>.
- Lindner, R; Kuhlmann, S. «Navigating towards shared responsibility in research and innovation», 2016. <https://doi.org/10.24406/PUBLICA-FHG-297721>.
- Marqués P. «La historia de CRISPR/Cas9». *BioTech* (blog), 29 de mayo de 2019. <https://acortar.link/A4IXvd>.
- Marris, Claire, y Jane Calvert. «Science and Technology Studies in Policy: The UK Synthetic Biology Roadmap». *Science, Technology, & Human Values* 45, n.º 1 (enero de 2020): 34-61. <https://doi.org/10.1177/0162243919828107>.
- Marx, Vivien. «Method of the Year: Long-Read Sequencing». *Nature Methods* 20, n.º 1 (enero de 2023): 6-11. <https://doi.org/10.1038/s41592-022-01730-w>.
- National Intelligence Council-US. «Structural drivers of the future. Technology trends the future of biotech». National Intelligence Council of US, abril de 2021. <https://acortar.link/F46vZ7>.
- OECD, ed. *Future Prospects for Industrial Biotechnology*. Paris: OECD, 2011. <https://acortar.link/dlXnvv>.
- ONU. «ONU: Agenda 2030 para el desarrollo sustentable», 2015. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>.
- Salazar, Maite P., Daniel Valenzuela, Manuel Tironi, y Rodrigo A. Gutiérrez. «The Ambivalent Regulator: The Construction of a Regulatory Style for Genetically Modified Crops in Chile». *Tapuya: Latin American Science, Technology and Society* 2, n.º 1 (1 de enero de 2019): 199-219. <https://doi.org/10.1080/25729861.2019.1611992>.

- US Department of Agriculture. «BioPreferred Program-USDA, 2022», 2022.
<https://www.biopreferred.gov/BioPreferred/faces/pages/AboutBioPreferred.xhtml>.
- Wintle, Bonnie C, Christian R Boehm, Catherine Rhodes, Jennifer C Molloy, Piers Millett, Laura Adam, Rainer Breitling, et al. «A Transatlantic Perspective on 20 Emerging Issues in Biological Engineering». *ELife* 6 (14 de noviembre de 2017): e30247. <https://doi.org/10.7554/eLife.30247>.

VII. Anexos

Anexo 1: Listado completo de contenidos

Después de ordenar los contenidos relevantes, el paso siguiente es priorizar esos contenidos. En un primer esfuerzo por priorizar construimos la **tabla 1**. Para su construcción analizamos informes de agencias de Europa y UK ²⁶, US ²⁷, agencias multinacionales ²⁸ y artículos científicos ²⁹ (ver listado de referencias para lista completa de fuentes en el documento principal) e identificamos las áreas de conocimiento y tecnologías que se destacaban, así como su frecuencia de aparición (**tabla 1**). Adicionalmente, incorporamos a estos análisis contenidos que fueron destacados durante los últimos 5 años, en artículos editoriales o revisiones por invitación en dos revistas científicas de amplia circulación mundial y cobertura temática: Nature y Science.

En la **tabla 1**, listamos los temas identificados y los ordenamos de acuerdo con la cantidad de veces que fueron citados en todas las fuentes consultadas. Este análisis es una aproximación cuantitativa que nos permite visualizar 20 temas de gran connotación en los últimos 5 años a nivel mundial. En algunas temáticas, como “pandemias”, es evidente la razón por la cual este contenido ha sido sujeto de tanta discusión. Estamos conscientes que este análisis tiene limitaciones, particularmente para decidir qué conocimientos o tecnologías hay que priorizar en la discusión, pero creemos que resulta útil para construir el mapa general de los temas posibles. No todos los contenidos resaltados son igual de relevantes o tienen el mismo nivel de impacto para Chile, pero estos son probablemente todos los que vale la pena considerar.

²⁶ OECD, *Future Prospects for Industrial Biotechnology*; Lindner, R; Kuhlmann, S, «Navigating towards shared responsibility in research and innovation»; EU commission, «Commision Recommendation on a common approach to establish a systematic surveillance of SARS-CoV-2 and its variants in wastewaters in the EU».

²⁷ Cheever, «DARPA safe genes»; US Department of Agriculture, «BioPreferred Program-USDA, 2022»; FAO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2022*.

²⁸ National Intelligence Council-US, «Structural drivers of the future. Technology trends the future of biotech».

²⁹ Wintle et al., «A Transatlantic Perspective on 20 Emerging Issues in Biological Engineering»; Kemp et al., «Bioengineering horizon scan 2020»; Aransiola et al., «Challenges and Future Prospects of Biotechnology»; Kolisis y Kolisis, «Synthetic Biology»; von Braun et al., «Food Systems»; Geyik, Hadjikakou, y Bryan, «Climate-Friendly and Nutrition-Sensitive Interventions Can Close the Global Dietary Nutrient Gap While Reducing GHG Emissions».

Tabla 1. Listado de áreas del conocimiento o tecnologías más mencionadas al analizar fuentes técnicas de discusión de las biología durante los últimos 5 años. Para detalles de cómo se construyó esta tabla revisar la sección de metodología.

Item	Áreas del conocimiento y tecnologías de la biología en discusión	# Citas	Categoría*
1	Pandemias (vacunas, monitoreo de patógenos, datos y epidemiología)	14	I, V
2	Producción de plantas y animales para alimentos + nuevas variedades de seres vivos para consumo + nuevos métodos de producción alimento (tierra y mar)	14	I, II
3	Genomas y su acceso (infraestructura para secuenciación de genomas, bases de datos, bioinformática, respecto al información privada, etc.)	11	II
4	Microbiomas: para producción, salud, medioambiente (producción limpia agropecuaria, mejoras nutricionales y salud humana)	10	II
5	Modificación de ADN en seres vivos (edición genética en humanos, animales, plantas y microorganismos)	9	III
6	Drogas y diagnóstico de cancer (drogas biológicas, nuevos dispositivos médicos para diagnóstico, marcadores genéticos, para diferentes cancers)	8	IV
7	Manufactura de medicamentos (acceso justo y oportuno, nuevos procesos, regulación, etc.)	6	IV
8	Aumento artificial de capacidades neurobiológicas (sensores y optimizadores de capacidades cerebrales)	6	V
9	Optimización de enzimas y proteínas (Inteligencia Artificial para nuevos medicamentos, nuevos procesos de síntesis de precursores biológicos, bioprocesos más limpios en base de enzimas artificiales, etc.)	6	II, V
10	Biología Marina y Acuicultura (Medio ambiente limpio, alimentos y minería marina)	6	I
11	Biología Sintética (estudios en biología integrativa, creación de células desde cero con nuevas capacidades, nuevas rutas de síntesis, etc.)	5	III

12	Bioenergía (seres vivos como productores de energía, fotosíntesis para mejorar captación energía solar)	4	IV
13	Mejoras nutricionales y calidad de alimentos (nuevas variedades mejoradas de alimentos, nuevos métodos de cultivo y reproducción, reemplazo de alimentos animales por vegetales, trazabilidad, sanidad de alimentaria)	4	I, III, IV
14	Mejor Conocimiento sobre envejecimiento y adolescencia	3	III
15	Nuevos biomateriales (bioplásticos, alternativas a la celulosa, nanotecnología de fuentes biológicas, biomateriales para construcción, etc.)	3	IV
16	Drogas que modifican la conciencia (neuro-drogas para mejorar la salud y para usos prohibidos)	3	IV
17	Nuevos tejidos naturales y artificiales (órganos de origen animal para trasplantes en humanos, impresión 3D de tejidos, nanomateriales para trasplantes)	3	IV
18	Infraestructura crítica para alimentos y salud (biotecnologías para cuidado del agua, protección de suelos y mar, estructuras físicas que optimizan la producción de alimentos y drogas con bajo consumo de recursos)	3	I
19	Nuevo Conocimiento sobre enfermedades neurodegenerativas (asociadas o no al envejecimiento. Comprensión de Parkinson, Alzheimer, etc.)	3	II, III
20	Procesamiento de plástico (degradación, remplazo, impacto)	3	IV

* *Categorías: I, Interacción de seres vivos con su entorno; II, Tecnologías “ómicas”; III, Modificación de seres vivos; IV. Bio-productos y Bio-procesos; V. Intersección datos-máquinas y seres vivos.*

Este análisis nos muestra que existen mucho más de 20 nuevos conocimientos o tecnologías actualmente en discusión en espacios especializados del mundo. Cada una de las líneas de la **tabla 1** menciona los contextos en que fueron mencionados estos contenidos y cada uno de esos contenidos está siendo discutido en al menos tres contextos de aplicación diferentes.

Por lejos, los dos temas más discutidos han sido las *pandemias* y las *nuevas fuentes o metodologías para producir alimentos*. Ambos temas son

preocupaciones importantes incluso desde antes de la pandemia del COVID-19, puesto que las hambrunas están muy conectadas con las pandemias, y la crisis climática ha impactado negativamente a ambos problemas. A la vez que estos temas se mantienen como prioritarios en la discusión científico-tecnológica mundial, también han impulsado nuevos conocimientos y tecnologías.

Es interesante constatar que las problemáticas de la humanidad sí están siendo abordadas oportunamente por la investigación y desarrollo en el mundo, pero quizás no tienen la difusión que debieran. La necesidad de avanzar más en las comunicaciones efectivas y socialización de los conocimientos y tecnologías en la sociedad es un punto que ha sido relevado por todos los expertos consultados para este estudio y por múltiples reportes de prospectiva. *Vale la pena considerar para los diálogos futuros cómo y cuándo le corresponde al estado hacerse cargo de esta socialización.*

Anexo 2: Metodología

Recopilación de contenidos y tecnologías relevantes en biología

Para la recopilación de contenidos se revisaron informes propuestos por el Consejo CTCI, además de los informes y artículos que se indican en bibliografía, que incluyen: otros informes, artículos científicos, bases de datos, etc. Para hacer un barrido más exhaustivo de temas con base biológica de interés, recopilamos todos los artículos editoriales publicados por la revista Nature durante los últimos 5 años (n=476), y todos los artículos de revisión (reviews), publicados por las revistas Nature (n=142) y Science (n=291) también durante los últimos 5 años.

Tomamos toda la información anterior y la filtramos para rescatar solo los temas de relevancia biológica. Para esto analizamos los títulos de los artículos, excluyendo aquellos de la biología, pero que estaban centrados exclusivamente en temas de sustentabilidad. Luego, revisamos los temas abordados en cada artículo y los categorizamos en conocimientos o tecnologías. De esta manera, se construyó la lista de contenidos que se presenta en la tabla 1 y se rescataron aquellos que formaron parte de las cinco categorías identificadas. Cuando los artículos incorporaron más de un área de la biología, fueron contabilizados en cada una de las áreas cubiertas (en algunos casos en hasta 3 áreas del conocimiento o tecnologías). Finalmente, todas las áreas del conocimiento o tecnologías fueron ordenadas por el orden de prelación dado por la cantidad de veces que cada contenido fue mencionado (mayor cantidad de menciones significa estar más arriba en la lista). Para cada contenido o tecnología de la tabla 1 se identificaron además la o las categorías a las que pertenece.

Entrevistas cualitativas semi-estructuradas

Para integrar la visión de expertos nacionales, realizamos seis entrevistas cualitativas de preferencia presenciales³⁰ (ver tabla 2). Las entrevistas fueron semiestructuradas, usando una pauta general que se ajusta al área de cada experto (ver anexo con pauta). Grabamos las entrevistas con el consentimiento de los entrevistados y analizamos el contenido de la transcripción y/o el audio usando análisis de contenido cualitativo.

Las áreas escogidas y los profesionales entrevistados

Seleccionamos estos expertos de acuerdo a los criterios de: ser especialistas en áreas ya identificadas como relevantes a nivel mundial, y con una trayectoria de reconocimiento a nivel nacional. Sin duda, existen muchos otros expertos nacionales que podríamos haber entrevistado en esta etapa debido a su calidad académica y/o profesional. Por limitaciones de tiempo y del mandato que se nos entregó, acortamos el número de entrevistas a seis (una de ella incluyó a tres profesionales). Tal cómo indicamos anteriormente, es clave que el proceso de diálogo incluya una diversidad de miradas y experiencias para poder generar una reflexión robusta y pertinente a nuestro país.

Tabla 2: *Especialistas entrevistados, área de experiencia, institución y fecha de la entrevista.*

Número	Nombre	Área	Cargo/ Institución	Fecha
1	Dra. Andrea Slachevsky	Neuro-medicina, enfermedades neurodegenerativas y envejecimiento. Médico tratante.	Profesora de la Universidad de Chile e Investigadora del Centro GERO en envejecimiento.	05-12-22
2	Dr. Rafael Araos	Infectólogo. Epidemiólogo. Investigador en monitoreo de patógenos respiratorios en población chilena	Profesor de la Universidad del Desarrollo. Ex-director del Departamento de Epidemiología del MinSal en el primer año de la pandemia COVID-19.	12-12-22

³⁰ El mandato para la elaboración de este reporte consideraba la entrevista de al menos cuatro especialistas porque el tiempo para la elaboración era muy corto y porque este es un informe preliminar que será un insumo para diálogos amplios y diversos.

3	Dr. Miguel Allende	Bioquímico. Especialista en genómica y biología del desarrollo.	Profesor y director del Centro de Genómica de la Universidad de Chile.	16-12-22
4	Dr. Luis Larrondo	Bioquímico. Especialista en biología de hongos, en genética y biología molecular.	Director del Instituto Milenio de Biología Integrativa iBio. Profesor PUC	21-12-22
5	Dra. Cristina Dorador	Bióloga. Especialista en Microbiología Ambiental.	Profesora de la Universidad de Antofagasta.	27-12-22
6	Dra. Marlene Rosales	Bioquímica. Especialista en fitopatología vegetal.	Profesora y directora de Inv. y Post-grado de la Facultad de Agronomía, PUC	Entrevista grupal
6	Dra. Tania Zaviezo	Agrónoma. Especialista control biológico en frutas.	Profesora de la Facultad de Agronomía, PUC	Entrevista grupal
6	Dr. Juan Pablo Zoffoli	Agrónomo. Especialista en post-cosecha	Profesor de la Facultad de Agronomía, PUC	Por confirmar (entrevista grupal)

Pauta de entrevistas

Pauta general para las entrevistas (se modifica para cada entrevistado):

I. **Warm-up, intro y aspectos éticos**

Muchas gracias por recibirnos. Sabemos lo escaso que es el tiempo, sobre todo a fin de año. Nos presentamos...

Primero quisiéramos dar un poco de contexto a la entrevista. A partir de marzo 2023 aproximadamente el Consejo CTCI va a convocar a diversos actores a un proceso de “diálogos de futuro” sobre las oportunidades y desafíos los avances en ciertas áreas de la C&T y sus diferentes impactos para Chile, identificando los principales espacios de contribución de la CTCI en nuestro país. En ese contexto,

*estamos elaborando un informe que sirva de insumo para organizar e incentivar la discusión en relación al área de la biología y biotecnología. (El informe completo incluye cuatro áreas relacionadas a dos **fuerzas transformadoras** de la sociedad identificadas por el consejo: 1) revolución biológica y 2) revolución digital y **dos grandes desafíos**, 1) la sustentabilidad, 2) la democracia y gobernanza local).*

El objetivo de estas entrevistas es recabar información experta para generar ese insumo. También estamos revisando literatura (informes) sobre futuros, y vamos a entrevistar a otros 3-4 expertos en otras áreas.

Con su permiso, nos gustaría grabar la entrevista para poder analizar su contenido con mayor rigurosidad.

Analizaremos el contenido y realizaremos un resumen de las entrevistas para el informe-insumo y el Consejo. El nombre de los entrevistados se incluirá en el informe final, de nuestra autoría, que le entregaremos al Consejo y será parte del proceso de diálogo. No incluiremos citas exactas de lo conversado, sin pedir su autorización.

¿Está de acuerdo en que grabemos?

II. Conocimientos más relevantes y nuevos avances en el mundo

Quisiéramos partir conversando un poco sobre los conocimientos y luego avances más relevantes de [área] a nivel mundial

Conocimientos:

- 1. Desde su perspectiva, ¿cuáles son los principales conocimientos que han cambiado o transformado su [área].*
- 2. ¿De qué manera esos conocimientos se han desplegado a nivel de la sociedad? ¿Han sido transformadores para la sociedad?*
- 3. Preguntar por la relevancia de temas identificados en los informes que son de cada área.*

Avances

Ahora quisiéramos enfocarnos en avances -sobre todo con potencial de uso o aplicación- más relevantes en [especificar por área].

- 4. ¿Qué nuevos conocimientos sobre [temas específicos] han emergido que puede resultar transformadores y/o disruptivos para la sociedad?*
- 5. ¿Nos podría explicar un poco más por qué esos conocimientos pueden ser transformadores o disruptivos para la sociedad? (ejemplos)*
- 6. ¿De qué manera esos avances nos preparan para los desafíos de la sociedad? [especificar por área]*
- 7. ¿Qué otros aspectos de [área] se vislumbran relevantes para el futuro a nivel mundial? (preguntar por ejemplos)*

8. *Desde su perspectiva: ¿qué preguntas o dilemas generan estos avances o conocimientos en esta área?*

III. Conexión con los desafíos país y su relación con el avance

9. *En su opinión, ¿de qué manera estos conocimientos y avances podrían aportar a enfrentar desafíos presentes y futuros de la sociedad chilena?*
10. *Pregunta abierta y luego preguntas específicas por área/temas*
11. *De todos los avances ¿cuál o cuáles le parece que son relevantes para Chile hoy y a futuro ¿por qué?*
12. *¿Qué aspectos de la sociedad chilena se pueden ver modificados o transformados por estos avances?*

IV. Desarrollo del área en nuestro país

13. *¿Cómo aterrizan estos conocimientos y avances en nuestro país [precisar para c/area]?*
14. *¿Cuál es la importancia de la interdisciplinariedad en [área]?. Nos podrías dar ejemplos.*
15. *¿Quién debe decidir sobre los futuros tecnológicos y cómo?*

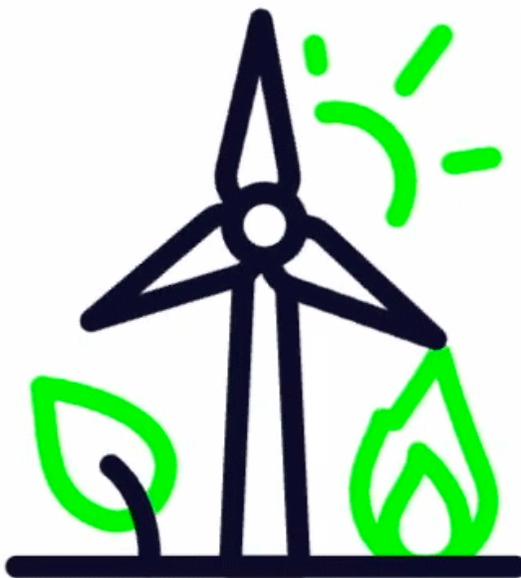
V. Final

16. *¿Quiere agregar algo más o hacer algún comentario/pregunta?*
17. *Nos gustaría pedirle sugerencias de personas que cree sería importante invitar al proceso de diálogo (no podemos garantizar que los inviten, pero si podemos sugerir nombres).*

DOCUMENTO TÉCNICO

REPORTE 4. DESAFÍOS DE SUSTENTABILIDAD para Chile

Alejandra Figueroa Fernández



Sustentabilidad humana en el contexto nacional y de crisis ecológica

Idea central. La sustentabilidad está determinada por las formas de desarrollo elegidas, y para realizar esa elección es imperativo comprender cómo se vincula la naturaleza y desarrollo, es a partir de esta relación que será viable o no la sustentabilidad humana. Cambios estructurales son urgentes para la sustentabilidad deseada, pero se evidencia resistencia.

La ciencia y tecnologías son necesarias, Chile ha sido pionero en áreas específicas, pero por sí solas no resolverán los problemas de sustentabilidad, principalmente porque no ha ido acompañado del capital social, ni de espacios escalables que puedan trascender en la construcción colaborativa e intersectorial del problema central, conservar y reparar la naturaleza para la sustentabilidad.

Palabras clave:

Desarrollo sustentable; Biodiversidad; Capital Social; Territorios; Políticas Públicas; Conocimiento; Ciencia; Modelo económico; Riesgo, Capital Natural.

I. Introducción

La ciencia y tecnología han avanzado sustantivamente a nivel global, tanto en las áreas de las ciencias biológicas como en el desarrollo de nuevas tecnologías. En ambos casos la dependencia de los componentes bióticos y abióticos son el pilar de estas áreas de investigación e innovación, sin embargo, existe una crisis con un deterioro sostenido sobre los pilares del desarrollo humano reportado desde hace décadas, agudizado y ampliamente comunicado por informes internacionales y nacionales de diversa índole. En este sentido los informes emitidos por los Grupos científicos de las Convenciones de Cambio Climático y de Biodiversidad, son tajantes, debemos desacoplar la degradación ambiental del crecimiento económico, la crisis ecológica tiene factores claros que influyen en su deterioro, a

saber: cambio en el uso de la tierra y deforestación, el cambio climático, la contaminación, la explotación de recursos naturales, y especies invasivas³¹. La Convención de Diversidad Biológica (CBD), y los informes de IPBES, han dejado de manifiesto la vinculación de la biodiversidad en todas sus formas, con todos los sectores productivos, culturales y grupos sociales, pero a nivel territorial y político, esto va en una dirección opuesta, con mayor consumo, más productividad, más enclaves económicos que no generan empleos de calidad, exacerbando las brechas con deterioro ecológico y ambiental.

Chile no está ajeno a esta dinámica de sobreexplotación de la biodiversidad para cubrir necesidades del mercado. Pero a pesar de las cifras desalentadoras, existen esfuerzos en diferentes direcciones y por diversos grupos para llevar la práctica de la sustentabilidad a un espacio efectivo, sin embargo, la inercia local y las prácticas habituales retardan cambios significativos. Especial atención se da a Chile en materia de energías renovables, dado que la transición energética ha sido y seguirá siendo uno de los ámbitos más exitosos para aportar en la reducción de emisiones, sin embargo, este cambio tiene implicancias para el futuro de Chile y el mundo, positivas y negativas si no atendemos de qué forma la expansión e intensificación de los modelos energéticos y de otras formas de explotación de la naturaleza, generan transformaciones continuas y sinérgicas en los territorios, de orden social y ecológico, con posibles nuevos enclaves económicos que mantienen errores del pasado.

Para la elaboración de este informe se han sostenido conversaciones con especialistas en diversas áreas del conocimiento, vinculados a la sustentabilidad desde la práctica, en diversas áreas de conocimiento³². Se acompaña con la revisión de abundante literatura científica y reportes internacionales y nacionales

³¹ IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. E. S. Brondizio, J. Settele, S. Díaz, and H. T. Ngo (editors). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 1148 pages.

³² Los especialistas entrevistados fueron Rodrigo Pizarro, Jonathan Barton, Carmen Paz Castro y Sebastián Ureta.

sobre los temas vinculados, incluido una revisión no exhaustiva a la política de Estado sobre sustentabilidad y biodiversidad³³. Se expresa la falta de una estrategia transversal sobre sustentabilidad y una definición clara sobre el modelo económico que nos rige. En palabras de especialistas entrevistados, existe ciencia, evidencia y comisiones de diversa índole que han aportado a los desafíos de la ciencia y tecnología, sin embargo, el tema pendiente, es cómo enfrentar las diferencias, la inequidad y la inconsistencia entre diseño y elaboración de políticas públicas y la ineficaz implementación de éstas, poniendo al centro de la discusión la conservación de la naturaleza.

Este informe se elabora como insumo para aportar a las discusiones que liderará el Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chile sobre diálogos de futuro.

³³ Se analizaron documentos internacionales y nacionales, publicaciones de grupos de investigación sobre sustentabilidad, sistemas socio-ecológicos, documentos preparados por el Panel de Expertos de Cambio Climático (IPCC) e IPBES, así como documentos elaborados por el Consejo de Ciencia, Tecnología e Innovación de Chile sobre desafíos futuros, relacionados a la temática de interés, la sustentabilidad de la humanidad.

Finalmente, a partir de entrevistas a un número acotado de investigadores nacionales se construye un relato y propuesta de contenidos que deberían considerar los diálogos sobre sustentabilidad que iniciará el CCTI en 2023. La información de las entrevistas, así como la de algunos reportes internacionales, fue procesada mediante Atlas.ti para identificar elementos clave y comunes, rescatando prioridades.

II. Antecedentes: marco conceptual, enfoques y contexto para LAC y Chile

Para la elaboración de este informe se ha considerado como punto de partida del análisis, el Informe Brundtland (1987), que entrega el marco conceptual tradicional sobre sustentabilidad, para luego analizar la evolución de este concepto en los sucesivos marcos internacionales de Naciones Unidas, hasta el marco de la Plataforma Intergubernamental de Biodiversidad y Servicios Ecosistémicos (IPBES), en el cual la sustentabilidad se analiza desde la relación humana con la biodiversidad, en el contexto socio-ecológico, ofreciendo además mecanismos para enfrentar la sustentabilidad.

En este sentido, los nuevos marcos de trabajo de IPBES sobre transformación y transición, desarrollan reflexiones para comprender las relaciones que se establecen entre los riesgos climáticos, la biodiversidad, el desarrollo económico, las instituciones y las políticas públicas.

Enfoques a nivel global sobre sustentabilidad de la humanidad

Desde 1972, momento de la primera Conferencia de Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente (UNEP) han pasado cuatro décadas de información, colaboración y estrategias políticas para evitar el colapso del planeta (Figura 1).

Han transcurrido 36 años desde el Informe “Nuestro Futuro Común”, también denominado Informe Brundtland, en el que se expresaba preocupación sobre la sustentabilidad de la humanidad, señalando que el desarrollo de las actividades humanas tienen dependencia directa con los límites de la biósfera y planteando que es, a través de la tecnología y la organización de la sociedad, la forma en la que se da uso a los recursos medioambientales, declarando que *“la tecnología y la*

organización social pueden gestionarse y mejorarse para dar paso a una nueva era de crecimiento económico". Informe Nuestro Futuro Común (1987). Pero es este último énfasis, el que ha prevalecido en desmedro de la biósfera, con efectos impredecibles para la naturaleza y consecuentemente para la sociedad.

Posterior al Informe Brundtland se han sucedido varios informes de carácter global que han reunido voluntades para empujar un esfuerzo colectivo tendientes a modificar los efectos negativos de la actividad humana, haciendo énfasis a las formas de desarrollo de las naciones, las brechas entre naciones pobres y desarrolladas y los efectos sobre el medio ambiente.

El desarrollo sustentable es o será resultado de acuerdos, mecanismos y acciones que tomará un conjunto de individuos, frente a incertidumbres, oscilaciones políticas, climáticas y ambientales que se han explicado de manera simplificada, pero no necesariamente correcta, mediante factores que responden al crecimiento económico, equidad y sustentabilidad ambiental³⁴.

Fue en la Cumbre de Río donde se estableció la relación entre modelos de desarrollo socio-económico y la naturaleza, siendo uno de los aspectos que resulta interesante destacar la incorporación de instrumentos que consideran el nivel local en las acciones³⁵.

³⁴ Dourojeanni, A. (1999). La dinámica del desarrollo sustentable y sostenible. División de Recursos Naturales e Infraestructura.

³⁵ Barton, J., Jordán, R., León S., y Solis, O. (2007). ¿Cuán sustentable es la región Metropolitana de Santiago). Metodologías de evaluación de la sustentabilidad. CEPAL; Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ); Ministerio Federal de Cooperación Económica y Desarrollo de Alemania (BMZ)

HISTORIA DE UN CONCEPTO ESQUIVO

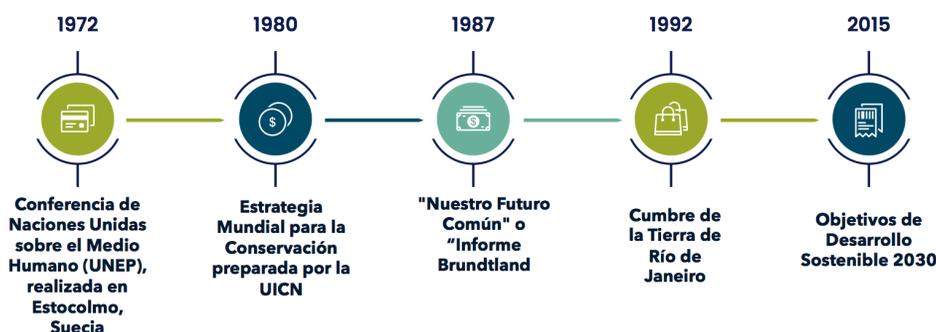


Figura 1. Evolución del marco internacional que ha considerado la sustentabilidad como eje de la discusión entre naturaleza y sociedad y su vinculación antagónica, lo que ha impulsado en varias décadas, a promover, a nivel global, nuevas formas de desarrollo humano para la sostenibilidad de la vida en el planeta.

Adicionalmente, se han definido indicadores para evaluar la sustentabilidad de los países y desarrollado diferentes metodologías, como por ejemplo el Índice de Bienestar Económico Sustentable (IBES), la Huella Ecológica y el Análisis de Flujo de Materiales (AFM). Todas estas metodologías requieren de información y datos permanentes. La falencia de datos muchas veces dificulta los procesos o los hace lentos lo que es una constante en países pobres o en vías de desarrollo.

Por otro lado, y de acuerdo a la Evaluación del Milenio, los componentes del bienestar, tal como los experimentan y perciben las personas, dependen de la situación y reflejan la geografía, la cultura y las circunstancias ecológicas locales³⁶,

³⁶ Martin, A., O'Farrell, P., Kumar, R., Eser, U., Faith, D.P., Gomez-Baggethun, E., Harmackova, Z., Horcea-Milcu, A.I., Merçon, J., Quaas, M., Rode, J., Rozzi, R., Sitas, N., Yoshida, Y., Ochieng, T.N., Koessler, A.K., Lutti, N., Mannetti, L., and Arroyo-Robles, G. (2022). Chapter 5. "The role of diverse values of nature in visioning and transforming towards just and sustainable futures". In: Methodological Assessment Report on the Diverse Values and Valuation of Nature of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Christie, M., Balvanera, P., Pascual, U., Baptiste, B., and González-Jiménez, D. (eds). IPBES secretariat, Bonn, Germany

siendo la definición propuesta para sustentabilidad la siguiente: *"Característica o estado por el cual las necesidades de la población actual y local pueden satisfacerse sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras o de las poblaciones de otros lugares para satisfacer sus necesidades"*³⁷.

Más allá de los indicadores, es interesante constatar que el concepto y ámbitos de la sustentabilidad concentra interés desde diversas perspectivas, y apela a "tres objetivos de justicia: (a) *justicia entre diferentes personas de la generación actual (justicia intrageneracional)*, (b) *justicia entre personas de diferentes generaciones (justicia intergeneracional)*, y (c) *justicia entre los seres humanos y la naturaleza (justicia ecológica)*"^{38,39}

En 2015, Naciones Unidas redefine una nueva agenda internacional para promover esfuerzos globales en relación a todas las materias que influyen y son a la vez los factores subyacentes del deterioro ambiental a nivel planetario, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 2030). Los ODS 2030, marcan una agenda internacional para hacer frente a la sustentabilidad, basada en 17 objetivos y 169 metas para reducir las brechas sociales, ambientales y económicas de forma integrada, especial atención en países, más pobres, desprovistos y vulnerables (Naciones Unidas 2015). A pesar de lograr indicadores positivos en relación a salud, más educación, reducción de la pobreza y acceso al agua, persisten brechas y conflictos que impiden mejorar la vida para todas las personas. Los países que integran Naciones Unidas se comprometieron a diseñar, implementar y conducir esfuerzos para el cumplimiento de estos Objetivos, sin embargo, el mundo está lejos de cumplir con todos ellos.

Respecto de lo anterior, cabe reflexionar sobre las críticas a la forma en que se tratan los ODS 2030, cuyos objetivos y metas estarían separando los procesos

³⁷ EEM, 2005.

³⁸ Stumpf, K. H., Baumgärtner, S., Becker, C. U., & Sievers-Glotzbach, S. (2015). The justice dimension of sustainability: A systematic and general conceptual framework. Sustainability (Switzerland). <https://doi.org/10.3390/su706743>

³⁹ Eser, U., Seyfang, H., Neureuther, A.-K., & Muller, A. (2014). Prudence, justice and the good life: A typology of ethical reasoning in selected European national biodiversity strategies.

ecológicos y sociales e ignorando las dinámicas culturales lo que implicaría dejar en un segundo plano las formas interdependientes en las se llevan a cabo las vías de desarrollo^{40,41}.

En el mismo sentido, cabe destacar la mirada disruptiva que desarrolla un grupo de investigadores del Stockholm Resilience Centre reinterpretando el desarrollo sustentable, con el siguiente énfasis *"un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente salvaguardando al mismo tiempo el sistema de soporte vital de la Tierra, del que depende el bienestar de las generaciones actuales y futuras"*⁴². En 2014, Rockström y Sukhdev⁴³ insisten y proponen un cambio de paradigma para comprender y evaluar los ODS 2030 (Ver Figura 2), lo que implica considerar que la base del desarrollo requiere de un espacio operacional seguro de límites planetarios^{44,45} (Ver figura 2): la salud de la biósfera es la base de la sustentabilidad.

⁴⁰ Poole, A.K. 2018. Where is Goal 18? The need for biocultural heritage in the sustainable development goals. *Environmental Values* 27: 55–80.

⁴¹ Reyers, B., and E.R. Selig. 2020. Global targets that reveal the social– ecological interdependencies of sustainable development. *Nature Ecology & Evolution* 4: 1011–1019.

⁴² Griggs, D., Stafford Smith, M., Gaffney, O., Rockström, J., Öhman, M.C., Shyamsundar, P., Steffen, W., Glaser, G., Kanie, N. and Noble, I. (2013) Sustainable development goals for people and planet. *Nature* 495: 305-307.

⁴³ Rockström, J. and Sukhdev, Pavan (2014) Transition to a Development paradigm of human prosperity within a safe operating space on Earth. Input to 11th Session of the UN OWG. Disponible online:

⁴⁴ Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., De Wit, C. A., Hughes, T., Van Der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., ... Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. In *Nature* (Vol. 461, Issue 7263, pp. 472–475).

⁴⁵ Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., De Vries, W., De Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sörlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223).

A healthy biosphere is the foundation of sustainable development

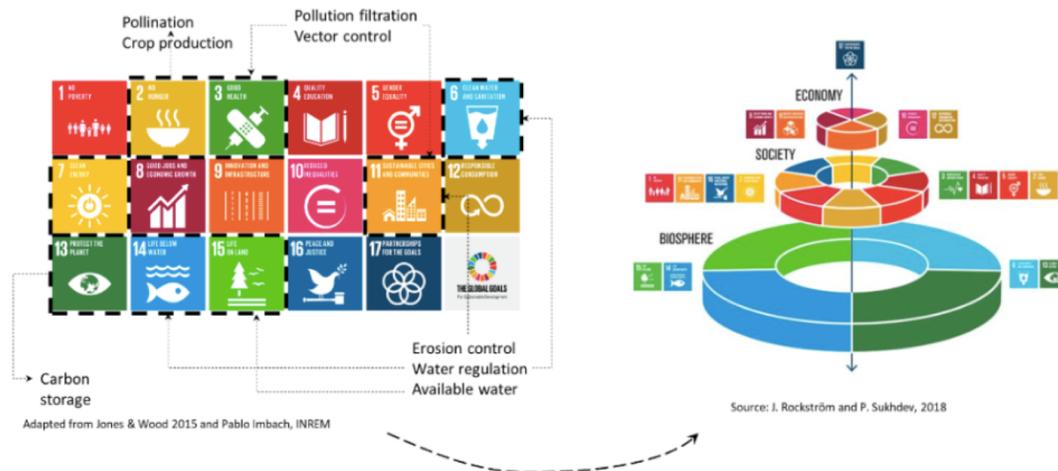


Figura 2. Representación gráfica sobre la relación entre los ODS 2030 y la jerarquía de los sistemas naturales y humanos en estos. Nada es posible sin el soporte de la biósfera. Tomado de Rockström and Sukhdev, 2018.

Lo anterior, nos debe recordar que la implementación de acciones asociadas a la Conservación, Restauración, Conectividad y Protección son fundamentales para sociedades y economías locales, nacionales y globales robustas y resilientes, por lo tanto no es casual que la COP 27 de Cambio Climático, así como la COP15 de Biodiversidad y la COP14 de Ramsar, que tuvieron lugar entre noviembre y diciembre 2022, situaran reflexiones, conclusiones y objetivos en el mismo sentido, detener la pérdida de biodiversidad para lograr el desarrollo sostenible.

Adicionalmente, en el escenario global, las inequidades deben ser resueltas y una que afecta el desempeño global, nacional y local dice relación con las brechas de género. Las organizaciones internacionales han reconocido a las mujeres como agentes de sustentabilidad, así lo muestran diversos proyectos e iniciativas a nivel regional. Reconocer, involucrar y dar nuevos espacios mejorará las condiciones de

desarrollo de las mujeres, lo que permite crear oportunidades ambientales de la mano de espacios de innovación.

De lo anteriormente expuesto, es pertinente comprender qué es y cómo se relaciona la biodiversidad con la sustentabilidad, lo que será descrito en el capítulo siguiente.

III. Biodiversidad y Sustentabilidad

En el capítulo anterior se ha descrito el concepto de sustentabilidad, así como la vinculación y dependencia de la sociedad y de la economía con la biodiversidad. Se desarrolla a continuación el concepto y las singularidades de la biodiversidad, con foco en Latinoamérica y Chile.

La biodiversidad integra a todos los organismos vivos, incluidos los ecosistemas terrestres, marinos o continentales, así como los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie, entre las especies y de los ecosistemas. La biodiversidad aporta a la seguridad alimentaria, a la nutrición, a las economías locales de manera directa, ofreciendo oportunidades invaluable y poco valoradas, contribuyendo al bienestar humano. Las funciones y estructura de los ecosistemas permiten el desarrollo de los ciclos de nutrientes, del agua y de todos los procesos biogeoquímicos, los que han hecho posible el desarrollo de los hábitats de especies y de la humanidad.

Los esfuerzos políticos, científicos y de la sociedad civil respecto de su involucramiento en la protección de ecosistemas que promueven tratados internacionales tienen larga data.

El marco internacional que define lineamientos globales (no vinculantes) sobre la conservación de la biodiversidad a nivel global, es la Convención de Diversidad Biológica (CBD), se firma en 1992, cuyo objetivo es:

“la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa en los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos, mediante, entre otras cosas, un acceso adecuado a esos recursos y una transferencia apropiada de las tecnologías pertinentes, teniendo en cuenta todos los derechos sobre esos recursos y a esas tecnologías, así como mediante una financiación apropiada”. Artículo 1, Convenio sobre Diversidad Biológica⁴⁶. Se entiende a la biotecnología como tecnología.

Se define la "utilización sostenible" a la utilización de componentes de la diversidad biológica de un modo y a un ritmo que no ocasione la disminución a largo plazo de la diversidad biológica, con lo cual se mantienen las posibilidades de ésta de satisfacer las necesidades y las aspiraciones de las generaciones actuales y futuras.

Otro tratado internacional específico sobre un tipo de ecosistemas es el de la Convención sobre la conservación de humedales, conocida como Convención Ramsar, que tiene su origen en 1971, a la que Chile adhiere en 1982, luego firma el Convenio sobre la Diversidad Biológica (CBD) y la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático en 1994, y en 2005 firma el Marco de Acción de Hyogo (MAH), todo lo anterior se ha traducido en leyes y políticas de Estado.

En relación a lo anterior, un avance importante ha tenido la presencia y participación del mundo científico en los últimos COP de Cambio Climático y de Biodiversidad, esto llevó a la creación de grupos de trabajo en todas las áreas, volcando el conocimiento que hay en Chile sobre los temas que inciden en la crisis

⁴⁶ Convenio de Diversidad Biológica (1992). Naciones Unidas. Disponible online <https://www.cbd.int/doc/legal/cbd-es.pdf>

climática, en la pérdida de biodiversidad y en las formas de usar los ecosistemas, los territorios y las políticas públicas⁴⁷.

Biodiversidad en la región Latinoamericana, singularidad y contribuciones

La región Latinoamericana posee la mayor diversidad de especies y ecorregiones del mundo⁴⁸ y América del Sur, concentrando a nivel mundial el 40% de la biodiversidad, el 26% de los recursos de agua dulce y el 25% de los bosques. En Los Andes del Norte y del Sur de América del Sur está más del 20% de la biodiversidad de todo el planeta y el 10% del agua dulce del mundo, críticos en la provisión de bienestar a la población mundial, tanto es así que se estima que su contribución monetaria alcanza a los 24,5 millones de dólares, mayor al PIB regional⁴⁹, por lo tanto, su valor ecológico y social, es indiscutible y hace imposible postergar medidas para su sustentabilidad. La importancia de los ecosistemas para las economías nacionales y locales es directa e irremplazable, lo que exige una visión política para abordar la sustentabilidad.

A pesar de su valor ecológico, socio-cultural y económico, los ecosistemas sudamericanos están altamente amenazados (Ver Figura 4), con graves consecuencias para la sociedad y particularmente para quienes viven en la zona andina de la región⁵⁰.

Desde LAC, las acciones de conservación y restauración, bajo el enfoque de Soluciones basadas en Ecosistemas, podrían contribuir en más de un tercio de la mitigación del clima necesaria desde ahora hasta el 2030 para estabilizar el

⁴⁷ Marquet, P., Lara, A., Altamirano, A., Alaniz, C., Álvarez, C., Castillo, M., Galleguillos, M., Grez, A., Gutiérrez, Á., Hoyos-Santillán, J., Manushevich, D., Marie Garay, R., Miranda, A., Ostria, E., Peña-Cortéz, F., Pérez-Quezada, J., Sepúlveda, A., Simonetti, J. y Smith, C. (2019). Cambio de uso del suelo en Chile: oportunidades de mitigación ante la emergencia Climática. En P. A. Marquet et al. (editores), Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

⁴⁸ Bovarnick A, F Alpizar & C Schnell (eds) (2010) Op.Cit.

⁴⁹ Lehm, Z., Pliscoff, P., bardi, F., Rodríguez, C., Martínez-Salinas, A. (2019). Importancia de los ecosistemas terrestres en América Latina y el Caribe. En Koleff, P., Figueroa, A., Saavedra, B., Rojas, C., Lehm, Z., Tironi M., et. al (Eds) Biodiversidad, Género y Cambio Climático: Propuestas basadas en conocimiento. Iniciativa Latinoamericana y el Caribe. Santiago de Chile.

⁵⁰ Arroyo MTK. et al., (2019) Op. Cit.

calentamiento del planeta por debajo de los 2 °C⁵¹, confirmando que la región cumple un rol vital en la regulación del clima planetario⁵². Algunos de los ecosistemas que más aportan a esta captura y secuestro de carbono son los océanos y algunos tipos de humedales, tales como las turberas, manglares, marismas, por ejemplo, los humedales a nivel global estarían reteniendo aproximadamente 830 Tg/año de carbono, así como las turberas patagónicas cuyas reservas son 4,7 veces mayores que el carbono acumulado en todos los bosques de Chile⁵³.

Asimismo, el suelo cumple un rol fundamental, ya que es el espacio arquitectónico de procesos biológicos y químicos, de hecho la biodiversidad del suelo podría llegar a unas 360.000, y parte de la biota microbiana del suelo es utilizada como agente antibacteriano (fármacos). De acuerdo al Informe sobre el Estado Mundial de los Suelos (FAO, 2015), la condición de estos a nivel global es desalentadora y las amenazas principales a la función del suelo son erosión, pérdida del carbono orgánico del suelos y desequilibrio de nutrientes⁵⁴, siendo las amenazas descritas para la biodiversidad del suelo a nivel de Ecorregiones: urbanización, especies invasoras, agricultura intensiva, pérdida del carbono orgánico del suelo, fuego, entre otras⁵⁵. En Chile, suelos y bosques mantienen importantes reservas de carbono (Figura 3), su restauración tiene una brecha gigantesca, amenazando la productividad nacional y la mitigación al cambio climático⁵⁶.

⁵¹ Griscom BW, Adams J, Ellis P, Houghton RA, Lomax G, Miteva DA, Schlesinger WH, Shoch D, Siikamäki JV, Smith P, Woodbury P, Zganjar C, Blackman A, Campari J, Conant RT, Delgado C, Elias P, Gopalakrishna T, Hamsik MR, Herrero M, Kiesecker J, Landis E, Laestadius L, Leavitt DM, Minnemeyer S, Polasky S, Potapov P, Putz FE, Sanderman J, Silvius M, Wollenberg M & Fargione J (2017) Natural climate solutions. PNAS 114: 44 (11645–11650)

⁵² Bovarnick A, F Alpizar & C Schnell (eds) (2010) The Importance of Biodiversity and Ecosystems in Economic Growth and Equity in Latin America and the Caribbean: An economic valuation of ecosystems, United Nations Development Programme.

⁵³ Marquet, Pablo A., Maisa Rojas, Alejandra Stehr, Laura Farías, Humberto González, Juan Carlos Muñoz, Elizabeth Wagemann, Carolina Rojas, Ignacio Rodríguez y Jorge Hoyos (2021). Soluciones basadas en la naturaleza. Coordinado por Pablo A. Marquet y Maisa Rojas. Santiago: Comité Científico de Cambio Climático; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación. doi: 10.5281/zenodo.5736938

⁵⁴ FAO y GTIS (2015). Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia.

⁵⁵ FAO (2021). Keep soil alive, protect soil biodiversity. Global symposium on soil biodiversity, 19–22 April 2021 – Outcome document. Rome, Italy.

⁵⁶ Arroyo MTK, A Pauchard, D Alarcón, J Armesto, F Bozinovic, R Bustamante, C Echeverría, SA Estay, RA García, A Gaxiola, M Miranda, P Plissock, D Rozas, C Salas-Eljatib11 & R Rozzi (2019) Impactos del cambio climático en la biodiversidad y las funciones ecosistémicas en Chile. Informe de la mesa Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

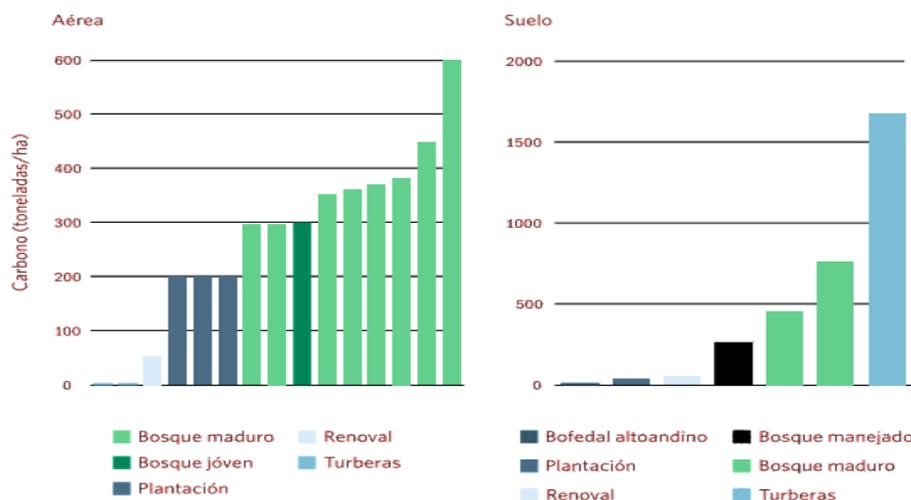


Figura 3. Reservorios de carbono estimado en la biomasa aérea (izquierda) y carbono (t/ha) estimado en el suelo (derecha), en Chile. Los valores han sido transformados en escala logarítmica Modificado de Marquet et al, (2019)⁵⁷

Todo lo anterior ocurre bajo presión constante de la población, que va en aumento sostenido, así América Latina y el Caribe (LAC) mantienen la mayor población mundial y ésta se proyecta en 2058 a 767 millones de personas⁵⁸. Esto deja en evidencia los desafíos que debemos enfrentar para cambiar las dinámicas de desarrollo Latinoamericano y girar hacia la sustentabilidad, ya que no es posible pensar en Chile sin mirar el escenario regional: sequía, migración, demanda de viviendas y alimentos, agudización de los conflictos⁵⁹. Prepararse para este escenario, que ya estamos viviendo, exige fortalecimiento de la democracia, de gobernanza, de procesos integrales en las decisiones económicas, de planificación y de política, considerando los sistemas ecológicos y sociales, sabiendo que los primeros sostienen a los segundos.

⁵⁷ Saavedra B & A Figueroa (2022) Soluciones basadas en la naturaleza como oportunidad para Chile y Perú en el contexto minero. Documento preparado para CESCO-GIZ. "Factores críticos para el desarrollo de nichos socio-tecnológicos de alto valor e impulsores de una minería sostenible en la Región Andina", el cual fue liderado por CESCO con el apoyo del proyecto MinSus de la Cooperación Alemana"

⁵⁸ CELADE- CEPAL (2019). Tendencias recientes de la población de Latinoamérica y el Caribe. Online: https://www.cepal.org/sites/default/files/static/files/dia_mundial_de_la_poblacion_2019.pdf

⁵⁹ Rojas, C., Podvin, K., Barbosa, O. (2019). Desafíos y oportunidades para un desarrollo urbano sustentable, equitativo y resiliente. En Koleff, P., Figueroa, A., Saavedra, B., Rojas, C., Lehm, Z., Tironi M., et. al (Eds) Biodiversidad, Género y Cambio Climático: Propuestas basadas en conocimiento. Iniciativa Latinoamericana y el Caribe. Santiago de Chile.

El enfoque latinoamericano no sólo es pertinente desde el punto de vista geopolítico, la identidad cultural y geográfica, junto a los valores de biodiversidad compartidos hacen que la investigación de los sistemas ecológicos y socio-ecológicos tenga singularidades. El conocimiento sobre funcionamiento, dinámica y la relación entre los sistemas naturales y ecológicos es aún deficiente, en especial en LAC⁶⁰.

La incorporación de las Soluciones basadas en la Naturaleza puede ser una oportunidad en la planificación de zonas urbanas por ejemplo, o en espacios rurales afectados por eventos catastróficos, antrópicos o climáticos, que pueden tener efectos sinérgicos amplificados sobre la población humana que habita ambientes con ecosistemas altamente perturbados (viviendas, tala de bosque, ocupación borde río, etc.), lo que incrementa la vulnerabilidad y el riesgo de desastres que afecta a las personas⁶¹.

Es en este contexto, donde se pone en juego la sustentabilidad de la humanidad y en los que la sociedad actúa sin una comprensión integral de las consecuencias devastadoras que tiene esa pérdida para la sustentabilidad humana.

Síntesis de la biodiversidad en Chile

No podemos ser sustentables sin valorar, conocer y reparar la naturaleza humana, y Chile es un país excepcional, con diversidad de ambientes, climas y geografía que permiten la expresión de una diversidad de ecosistemas y especies.

⁶⁰ Koleff, P., Urquiza, T., Ruiz, S., Cuervo, A. (2019). Conocimiento y Ciencia. En Koleff, P., Figueroa, A., Saavedra, B., Rojas, C., Lehm, Z., Tironi M., et. al (Eds) (2019) Biodiversidad, Género y Cambio Climático: Propuestas basadas en conocimiento. Iniciativa Latinoamericana y el Caribe. Santiago de Chile

⁶¹ Castro-Correa, C. P., Aldunce Ide, P., Wyndham Vásquez, K., Mena Maldonado, D., & Pérez Tello, S. (2020). Transformation of social capital during and after a disaster event: the cases Chañaral and Diego de Almagro, Atacama Region, Chile. *Natural Hazards*, 103(2), 2427–2440. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04091-9>

Se han descrito para el país 127 ecosistemas terrestres (pisos vegetacionales)⁶², de este a oeste corren 101 ríos principales, en cuencas endorreicas y exorreicas, a lo largo de los cuales se expresan multiplicidad de humedales, de diversas formas, que ocupan 5,6 millones de hectáreas aproximadamente, cuya mayor superficie corresponde a los humedales de turberas, sistemas que se expresan mayoritariamente al sur de los 45 °S, otros, no menos importantes como los andinos y costeros, se expresan a lo largo del país⁶³.

Respecto de la diversidad de especies, y a diferencia de otros países Latinoamericanos, Chile presenta una baja diversidad con solo 31.000 especies nativas de animales, plantas, hongos e insectos, sin embargo, su alto endemismo refleja los atributos y singularidades irrepetibles, equivalente al 25% del total de especies conocidas que habitan en condiciones únicas, como el monito del monte (pequeño marsupial), peces de lagos andinos de la Puna árida, anfibios, briófitas. La mayor diversidad de especies se encuentra en los ecosistemas áridos del norte del país y los grupos de especies más amenazados son los anfibios y los peces, con un 71% de especies en alguna categoría de amenaza en el primer caso y con 83% para el segundo grupo⁶⁴.

Lo anterior no son solo cifras, es el espacio donde se mueve nuestra economía y la vida de millones de personas, es la biodiversidad que nos mantiene junto a un conjunto de procesos ecológicos complejos, imperceptibles para las personas, no por ello podemos ser indiferentes, porque dependemos de este frágil equilibrio.

⁶² Plissock, P. 2015. Aplicación de los criterios de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (IUCN) para la evaluación de riesgo de los ecosistemas terrestres de Chile. Informe Técnico para el Ministerio del Medio Ambiente. 63 p. Santiago, Chile

⁶³ Figueroa, A. (2018). Wetlands of Chile: Biodiversity, Endemism and Conservation Challenges. In C. M. Finlayson et al. (eds.), *The Wetland Book* (Ed.), *The Wetland Book* (pp. 824–836). https://doi.org/10.1007/978-94-007-6173-5_247-2

⁶⁴ Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2020) Estado del Medio Ambiente de Chile. Disponible online <https://sinia.mma.gob.cl/estado-del-medio-ambiente/>

Contribuciones de la Naturaleza

Distintos conceptos han sido utilizados para dar cuenta del valor intrínseco y los aportes de la naturaleza. De forma creciente se está adoptando el concepto de Contribuciones de la Naturaleza a las personas (CNP)⁶⁵, que incluye diversas formas de relación con la naturaleza, dando cabida a la relación cultural y espiritual, pero en 2003 el Marco para la Evaluación del Milenio⁶⁶ (EM, 2003), utilizó el concepto de capital natural^{67,68} y de servicios ecosistémicos para sustentar la relación existente entre los patrones de pérdida y uso de la biodiversidad y los factores que estaban incidiendo sobre esa dinámica. El marco conceptual de los Servicios Ecosistémicos ha sido una forma de demostrar la importancia de la biodiversidad en las actividades humanas, productivas y no productivas.

El desarrollo del concepto de servicios ecosistémicos y capital natural⁶⁹ (plantas, minerales, suelo, animales, entre otros), ocurre en el espacio de la economía, considerando que ya no es suficiente declarar el PIB de un país, que de forma creciente se considera una medida obsoleta^{70,71} porque éste no expresa la pérdida de biodiversidad (peces, árboles, degradación del suelo, del agua o de los humedales), ni refleja cómo la economía depende de los ecosistemas, ni cómo las personas usan estos los elementos de la naturaleza en forma de recursos, directamente o modificando el entorno (sistemas socio-ecológicos).

⁶⁵ IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

⁶⁶ Millennium Ecosystem Assessment, MA (2003). Ecosystems and Human Well-being. A Framework for Assessment. Island Press.

⁶⁷ Schumacher EF. 1973. Small is Beautiful: Economics as if People Mattered. Blond and Briggs, London. 288 pp

⁶⁸ Costanza R, Daly HE. Natural capital and sustainable development. Conservation biology. 1992;6(1):37-46.

⁶⁹ Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R. et al. The value of the world's ecosystem services and natural capital. Nature 387, 253–260 (1997).

⁷⁰ Stiglitz, J., A. Sen, and J.-P. Fitoussi. 2010. Report by the Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress. Paris: The Commission on the Measurement of Economic Performance and Social Progress.

⁷¹ Dasgupta, P. (2021). The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. London: HM Treasury. Disponible online : www.gov.uk/official-documents

Todos esos beneficios han sido definidos como Servicios Ecosistémicos (SSEE) y fue a partir de la Evaluación del Milenio (EM) en 2005 donde dicho concepto se popularizó, sin embargo, el marco conceptual se desarrolló en los años '97 y desde entonces su desarrollo ha sido amplísimo. Uno de los enfoques que permite aproximarse de manera integral sobre el aporte y vínculos de la naturaleza con las personas es el de la Cascada de los Servicios Ecosistémicos (CSE) (Figura 4), la que considera todos los valores, beneficios y servicios que son producto de los procesos y funcionamiento que ocurren en la biósfera, así como el sistema económico y social que depende de ésta. La figura 4 representa la CSE de forma simplificada, sin que represente la complejidad de los procesos ecológicos que permite proveer del bienestar a la humanidad.

Vínculos entre salud, medio ambiente y economía

La salud humana, por ejemplo, tanto física como mental depende de la calidad del agua y del aire, la industria de fármacos de la biota microbiana, la salud mental de un entorno saludable, la medicina ancestral de plantas y semillas, la industria de los alimentos de los hongos, la agricultura del suelo y de la biota microbiana responsable de la producción primaria⁷². La Convención de Diversidad Biológica (CBD) tiene un marco específico para el resguardo y el uso sostenible de los recursos genéticos y “la participación equitativa de los beneficios”, el Protocolo de Nagoya (del cual Chile no es parte). En este contexto, las ciencias biológicas y la tecnología han cumplido un rol vital en el uso y transformación del pilar estructurante de la biodiversidad, la genética de la vida, por ello cumplen un rol de responsabilidad ética en el futuro, lo mismo que el Estado para conducir una estrategia clara al respecto.

⁷² World Health Organization and Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2015) Connecting Global Priorities: Biodiversity and Human Health. A state of knowledge review.

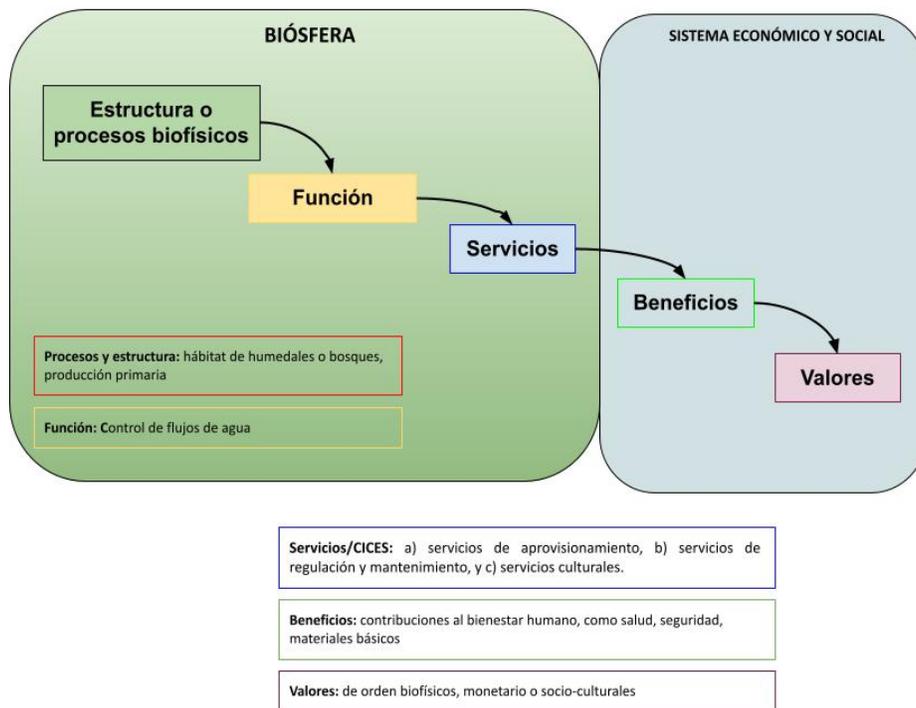


Figura 4. Cascada de los Servicios Ecosistémicos . Fuente: Modificado de a partir de Haines-Young & Potschin (2018)⁷³.

En el siguiente capítulo se revisa la evidencia científica sobre las perturbaciones que estamos percibiendo en la naturaleza, incluida la humanidad, lo que nos obliga a pensar en nuevas y urgentes estrategias para girar hacia la sustentabilidad.

⁷³ Haines-Young, R.H. & Potschin, M.P. (2018): Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and Guidance on the Application of the Revised Structure. Available from www.cices.eu.



Interacción y perturbaciones en sistemas socio-ecológicos

Toda la evidencia científica coincide, la prosperidad ha ido de la mano de un desarrollo no sustentable del planeta, la amplificación de amenazas, socialmente creadas, son un factor de riesgo sobre la población humana, con una gestión deficiente en especial en América Latina. El grupo del Centro de la Resiliencia de Estocolmo identificó en 2009⁷⁴, los nueve procesos que regulan la estabilidad planetaria y que están siendo sobrepasados, degradando la biósfera. Nuevos estudios en 2021⁷⁵ y 2022⁷⁶ (Figura 5), han permitido actualizar esta información y se confirma que solo empeora nuestra relación con los ecosistemas. Dentro de estos límites, los contaminantes químicos (nuevos tipos o entidades

⁷⁴ Rockström, J., W. Steffen, K. Noone, Å. Persson, F. S. Chapin, III, E. Lambin, T. M. Lenton, M. Scheffer, C. Folke, H. Schellnhuber, B. Nykvist, C. A. De Wit, T. Hughes, S. van der Leeuw, H. Rodhe, S. Sörlin, P. K. Snyder, R. Costanza, U. Svedin, M. Falkenmark, L. Karlberg, R. W. Corell, V. J. Fabry, J. Hansen, B. Walker, D. Liverman, K. Richardson, P. Crutzen, and J. Foley. 2009. Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society* 14(2): 32. [online] URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>

⁷⁵ Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R.J. *et al.* A planetary boundary for green water. *Nat Rev Earth Environ* 3, 380–392 (2022). <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>

⁷⁶ Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hassellöv, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Søgaard Jørgensen, P., Villarrubia-Gómez, P., Wang, Z., & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science and Technology*, 56(3), 1510–1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>

contaminantes)⁷⁷ son la causa potencial de problemas en salud de ecosistemas y la salud humana. La vida en el planeta está siendo erosionada por las actividades humanas, con una trayectoria peligrosa y en algunos casos sin retorno.

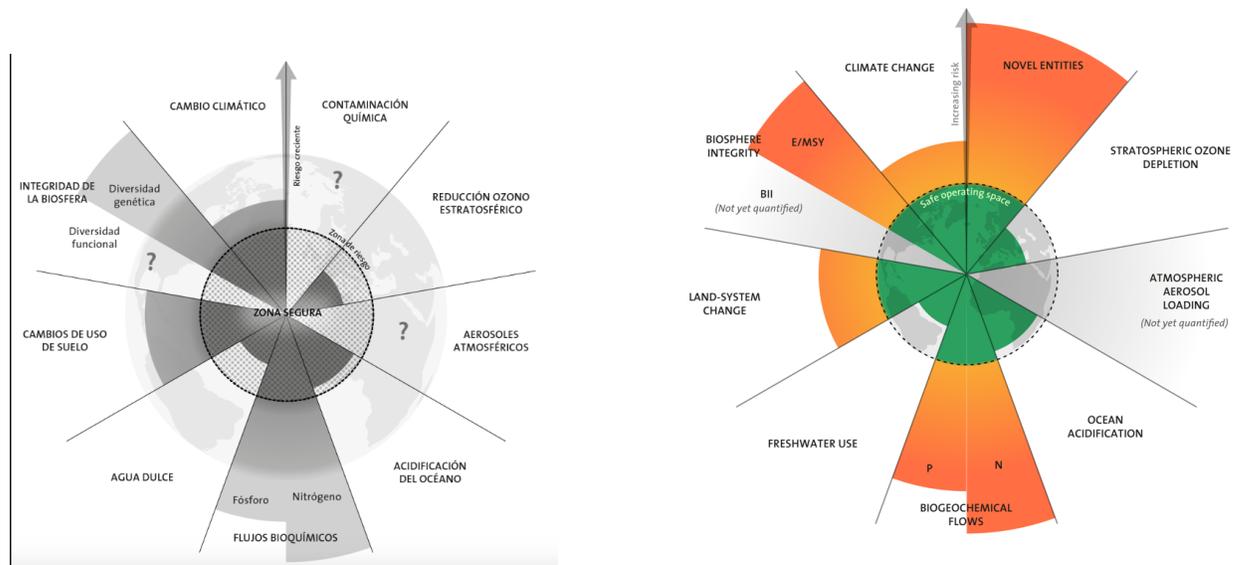


Figura 5. Límites operacionales del planeta. Se describen los procesos críticos del sistema terrestre: Contaminación química; Cambio climático; Integridad de la biósfera; Cambio en el uso del suelo; Agua dulce; Flujos biogeoquímicos; Acidificación del océano; Aerosoles; Reducción del ozono. La imagen a la izquierda representa la información de los nueve umbrales de los límites planetarios estudiados a nivel global con información al 2015. La imagen a la derecha muestra nuevos límites para los “nuevos contaminantes” con información al 2022. Créditos: A) J. Lokrantz/Azote based on Steffen et al. 2015 ; B) Azote for Stockholm Resilience Centre, based on analysis in Wang-Erlandsson et al 2022.

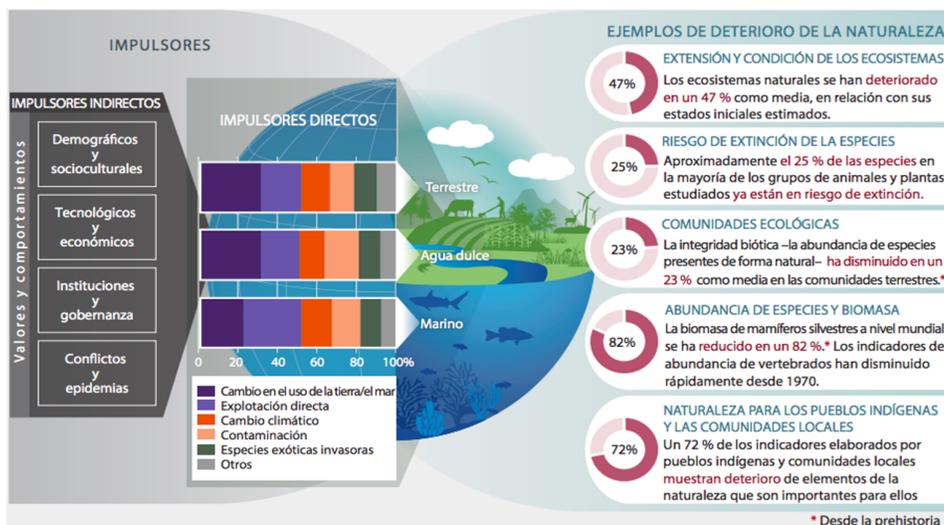
Los efectos adversos de estos cambios afectan de manera desigual a grupos sociales, a mujeres, hombres, niños y niñas. En 2020 vivimos una de las tantas pandemias globales, el COVID-19, que se interrelaciona con otros factores subyacentes, con efectos devastadores para la salud humana y la economía global. Aunque las ciencias biológicas aceleraron la investigación y lograron una

⁷⁷ Steffen, W.; Richardson, K.; Rockstrom, J.; Cornell, S. E.; Fetzer, I.; Bennett, E. M.; Biggs, R.; Carpenter, S. R.; de Vries, W.; de Wit, C. A.; Folke, C.; Gerten, D.; Heinke, J.; Mace, G. M.; Persson, L. M.; Ramanathan, V.; Reyers, B.; Sorlin, S. (2015). Planetary Boundaries: Guiding Human Development on a Changing Planet. *Science*. 347 (6223), 1259855–1259855.

vacuna en tiempo récord, una vez resuelta la emergencia sanitaria, olvidamos lo relevante, que el origen de ésta y otras pandemias, es el uso y abuso de especies y ecosistemas por la especie humana y que la globalización de las actividades tiene efectos catastróficos. En este sentido las interacciones deben ser entendidas de forma no lineal, se debe considerar que los *drivers* de cambio pueden generar impactos tanto en la salud de las personas como en la biodiversidad (sequía, especies exóticas invasoras, entre otros), así como la industria de la salud o la alimentación puede generar impactos negativos directos sobre la biodiversidad (aumento de contaminantes emergentes desde la industria farmacéutica; semillas mejoradas que compiten con nativas o inciden en la diversidad genética).

La condición básica para la sustentabilidad implica comprender los sistemas complejos y la relación que las personas establecen con la naturaleza. En este contexto los sistemas socio-ecológicos han contribuido de manera acelerada y sinérgica en los cambios visibles sobre los ecosistemas y la biósfera, y en aquellos que son invisibles pero que entregan alertas, que son las que debemos aprender a observar e integrar en nuestros diseños e implementación de acciones, políticas e investigación. No basta con tener cifras si no comprendemos la temporalidad de los cambios en la naturaleza, o las interacciones de la sociedad en múltiples escalas. La interacción en estos sistemas complejos ha generado cambios profundos, no lineales y permanentes, gatillados por impulsores directos e indirectos sobre todos los componentes de la biodiversidad (Figura 6).

IMPULSORES DE CAMBIO Y PÉRDIDA DE BIODIVERSIDAD



Informe IPBES, 2019. *Global Assessment on biodiversity and ecosystem services*

Figura 6. Los impulsores de cambio directos e indirectos afectan de manera sistémica y continua a los componentes de la biodiversidad. Los impulsores indirectos corresponden a aquellos patrones sociales que crean cambios sobre ecosistemas, mediante acciones como el cambio de uso de suelo, reduciendo el número de especies en ecosistemas marinos, terrestres y de agua dulce, modificando los hábitat como se resume en la figura.

Los esfuerzos internacionales para detener la crisis climática han tenido alertas desde todos los marcos internacionales científicos desde hace décadas, a saber; IPCC (cinco informes de evaluación desde 1988)⁷⁸, Evaluación del Milenio (2005), Convención de Diversidad Biológica (cinco reportes desde 2001)⁷⁹, IPBES (2016 al 2022)⁸⁰, Convención Ramsar (2018, 2021)⁸¹, entre las principales entidades intergubernamentales cuya base científica ha entregado evidencias claras, con diferentes niveles de certeza, pero inequívocamente coincidentes, sobre la crisis ecológica y ambiental a nivel planetario.

⁷⁸ <https://www.ipcc.ch/reports/>

⁷⁹ Global Biodiversity Outlook (GBO). <https://www.cbd.int/gbo/>

⁸⁰ Assessment Report. <https://ipbes.net/>

⁸¹ Perspectiva Mundial sobre los humedales. <https://www.ramsar.org/es/recursos/perspectiva-mundial-sobre-los-humedales>

Cuando se devela la amenaza de extinción global de 1 millón de especies⁸², es necesario comprender que junto con ello se pierde o altera la dinámica funcional de los ecosistemas, procesos que están íntimamente ligados en un equilibrio frágil y silencioso, y que ha hecho posible la vida en el planeta y el desarrollo de la humanidad. Un ejemplo son los organismos extremófilos, cuyos registros de vida en el planeta Tierra datan de unos 3.500 millones de años^{83,84}, y que ocupan actualmente zonas de lagos andinos relictos, pequeñas lagunas de salares en la Puna de Sudamérica (Chile y Argentina).

A escala mundial, el 75 % del suelo y el 66% del medio marino se han visto afectados⁸⁵, como resultado del uso de suelo por la agricultura no sostenible y de contaminantes directa e indirectamente vertidos al ambiente marino. Cada año se aplican alrededor de 115 millones de toneladas de fertilizantes nitrogenados minerales en las tierras de cultivo; una quinta parte del nitrógeno se acumula en el suelo y biomasa, y el 35% llega a los océanos.

De acuerdo a Hanbury (2021)⁸⁶ la deforestación de la Amazonía tendrá efectos en el ciclo de precipitaciones y en la producción de alimentos, derivando consecuentemente en otro tipo de ecosistema, en el que la selva tropical se convertiría en sabana, cuyos costos podrían ser de 257.000 millones de dólares sólo para la región, de acuerdo al reporte del Institute for Sustainability de la

⁸² IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

⁸³ Fariás, M.E., Contreras, M., Rasuk, M.C. et al. Characterization of bacterial diversity associated with microbial mats, gypsum evaporites and carbonate microbialites in thalassic wetlands: Tebenquiche and La Brava, Salar de Atacama, Chile. *Extremophiles* 18, 311–329 (2014). <https://doi.org/10.1007/s00792-013-0617-6>

⁸⁴ Pérez, V., Cortés, J., Marchant, F., Dorador, C., Molina, V., Cornejo-D'Ottone, M., Hernández, K., Jeffrey, W., Barahona, S., & Hengst, M. B. (2020). Aquatic Thermal Reservoirs of Microbial Life in a Remote and Extreme High Andean Hydrothermal System. *Microorganisms*, 8(2), 208. <https://doi.org/10.3390/microorganisms8020208>

⁸⁵ IPBES (2019) "Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services"

⁸⁶ Hanbury, S. (2021, February 23) As Amazon forest-to-savannah tipping point looms, solutions remain elusive. Retrieved from: <https://news.mongabay.com/2021/02/as-amazon-forest-to-savanna-tipping-point-looms-solutions-remain-elusive/>

Universidad de Cambridge⁸⁷. Lo anterior, sin considerar las consecuencias globales para la seguridad alimentaria y el cambio climático sobre el PIB, como destaca el mismo reporte, en que se enfatiza además, que “proteger adecuadamente los bosques genera 329.000 millones de dólares de riqueza adicional”⁸⁸.

Una evaluación sobre el estado de salud de los ecosistemas terrestres de América y el Caribe en 2019⁸⁹, estableció diferentes niveles de amenaza para los tipos vegetacionales (Figura 7), gran parte de la superficie americana está en alguna categoría de amenaza de acuerdo a la clasificación universal desarrollada por UICN⁹⁰. El 80% de los tipos de bosque y el 85% de la superficie forestal actual están potencialmente amenazados.

⁸⁷ University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL). (2022). Integrating Nature: The case for action on nature-related financial risks. Cambridge: University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership.

⁸⁸ Hanbury, S, (2021) Op. Cit.

⁸⁹ Ferrer-Paris, J. R., Zager, I., Keith, D. A., Oliveira-Miranda, M. A., Rodríguez, J. P., Josse, C., González-Gil, M., Miller, R. M., Zambrana-Torrel, C., & Barrow, E. (2019). An ecosystem risk assessment of temperate and tropical forests of the Americas with an outlook on future conservation strategies. *Conservation Letters*, 12(2), 1–10.

⁹⁰ Bland, L.M., Keith, D.A., Miller, R.M., Murray, N.J. and Rodríguez, J.P. (eds.) (2016). Directrices para la aplicación de las Categorías y Criterios de la Lista Roja de Ecosistemas de UICN, Versión 1.0. Gland, Suiza: UICN. ix + 96pp.

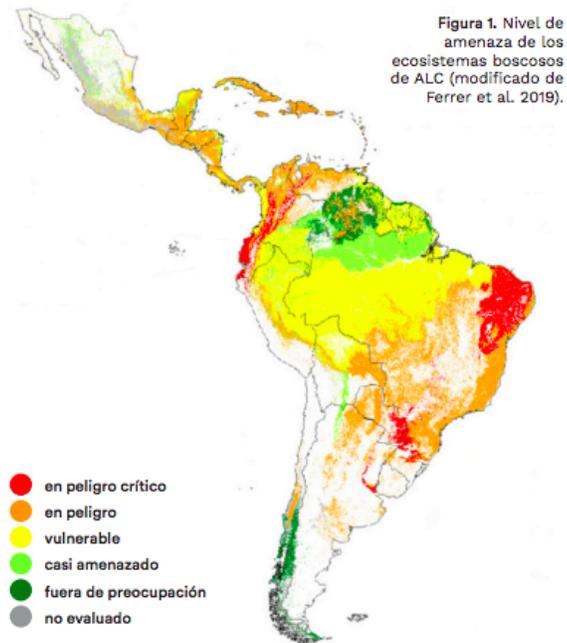


Figura 7. Estado de salud de los ecosistemas terrestres en América del Sur⁹¹. Tomado de Lehm et al., 2019.

Lo anterior sitúa la crisis climática y la sustentabilidad como ámbitos sinérgicos. Lo insustentable es la expresión de la crisis climática planetaria, siendo los cambios en los patrones de temperatura y precipitaciones síntomas de un enfermo cuyos cimientos se degradan: la biodiversidad.

Los efectos y riesgos no son lineales y los puntos de no retorno en la naturaleza son conocidos. A nivel país, ejemplos de ello se dan en zonas costeras, humedales altiplánicos, turberas y lagos templados, donde la eutrofización, la fragmentación de hábitat, la pérdida de cubierta vegetal, el drenaje, y la desecación, son los drivers directos, impulsores de cambios que ponen en riesgo las economías locales. En la Figura 8, se muestran como ejemplo, los diferentes grados de vulnerabilidad ante el cambio climático y las presiones antrópicas a nivel de cuencas hidrográficas, otro ejemplo es el cambio de uso de suelo y la

⁹¹ Tomado de Lehm Z, Plissock P, Bardi F, Rodriguez C, Martínez-Salinas A (2019) Importancia de los ecosistemas terrestres en América Latina y el Caribe. En: Koleff P, Figueroa A, Saavedra B, Rojas C, Lehm Z, Tironi M et. al (2019).

deforestación, con efectos directos sobre la pérdida de especies, cubierta vegetal nativa y ecosistemas de humedales^{92, 93}.

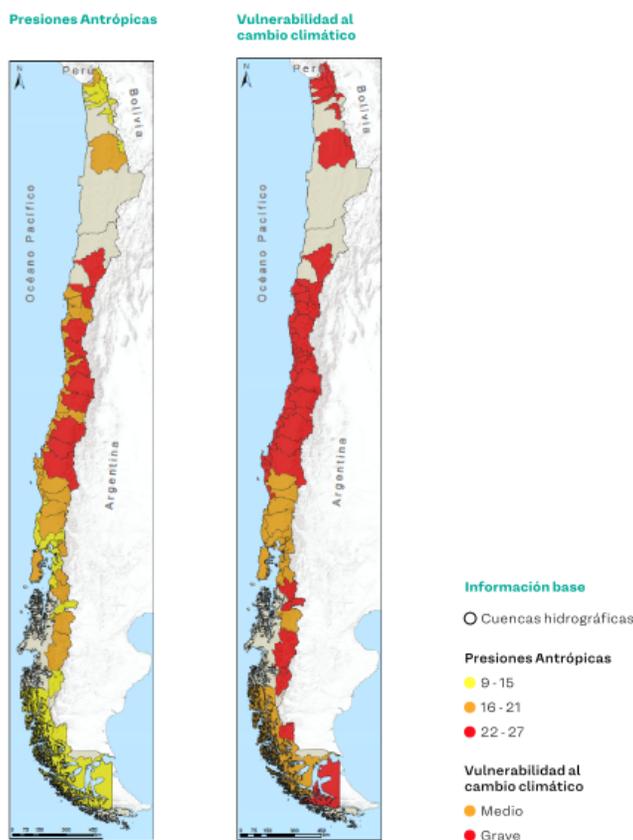


Figura 8. Vulnerabilidad ante cambio climático y presiones antrópicas sobre ecosistemas acuáticos⁹⁴.

La Puna y cuencas endorreicas presentan una condición de vulnerabilidad grave, así como en toda la zona centro (rojo, mapa a la derecha), y las presiones antrópicas se concentran más fuertemente en la zona central del territorio (rojo, mapa a la derecha)

⁹² Marquet, P., Lara, A., Altamirano, A., Alaniz, A., Álvarez, C., Castillo, M., Galleguillos, M., Grez, A., Gutiérrez, Á., Hoyos-Santillán, J., Manuschevich, D., Garay, R. M., Miranda, A., Ostria, E., Peña-Cortéz, F., Pérez-Quezada, J., Sepúlveda, A., Simonetti, J., & Smith, C. (2019). Cambio de uso del suelo en Chile: Oportunidades de mitigación ante la emergencia climática. In Informe de la mesa Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación

⁹³ Figueroa, A., Tapia, D., Chiang, G., Urrutia, J., Rodríguez, T. (2022). Diseñando gobernanza para la conservación de humedales en la comuna de Toltén, Región de La Araucanía, Chile. Corporación Capital Biodiversidad

⁹⁴ Habit E, K Górski, D Alò, E Ascencio, A Astorga, N Colin, T Contador, P de los Ríos, V Delgado, C Dorador, P Fierro, K García, Ó Parra, C Quezada- Romegialli, B Ried, P Rivera, C Soto-Azat, C Valdovinos, I Vera-Escalona & S Woelfl (2019) Biodiversidad de ecosistemas de agua dulce. En: PA Marquet et al. (editores), Biodiversidad y cambio climático en Chile: Evidencia científica para la toma de decisiones. Informe de la mesa de Biodiversidad. Santiago: Comité Científico COP25; Ministerio de Ciencia, Tecnología, Conocimiento e Innovación.

Del mismo modo, deben ser integrados los efectos de estas perturbaciones sobre la capacidad de resiliencia de los sistemas socio-ecológicos ante el riesgo, para generar medidas complementarias, innovadoras y basadas en ecosistemas.

En resumen, la sustentabilidad humana depende de los equilibrios de la biósfera y de la conservación de la biodiversidad en todas sus formas, la degradación del “**capital natural**” tiene íntima relación con el “**capital social**”, su capacidad para enfrentar cambios, riesgos o reponerse, ambos son sistemas complejos y cambiantes, por ello es preciso profundizar y escalar estudios y ejercicios concretos en el país.

Los esfuerzos a nivel global, incluido del Estado de Chile, así como aquellos a instancias académicas y de organizaciones no gubernamentales (ONGs), cuyos informes alimentan la evidencia, parecen diluirse frente a impactos negativos de multiescala. Los niveles de consumo y pérdida de biodiversidad son problemas sinérgicos, con causales asociadas a la forma de diseñar e implementar políticas sectoriales, a la distribución, a los accesos y los mercados.

Por lo anterior, es necesario dirigir esfuerzos en dos direcciones, una que permita incidir en la comprensión integrada de la biodiversidad, desarrollo económico y bienestar humano, y la otra en la oportunidad de analizar nuevos enfoques que permitan conducir procesos, modificar o mejorar espacios de colaboración y políticas públicas hacia un desarrollo resiliente con foco en la recuperación de equilibrios naturales para iniciar un camino a la sustentabilidad. Las decisiones que tomamos inciden directamente en la posibilidad de aumentar el bienestar humano o aumentar el riesgo (Figura 11).

Nuevos espacios de diálogo e investigación pueden modificar esta trayectoria, lo que será analizado en las últimas secciones de este informe.

La Economía del Clima y de la Biodiversidad.

El actual sistema socioeconómico mundial está erosionando tanto determinadas estructuras sociales e institucionales como los fundamentos biofísicos (biodiversidad y, en conjunto, ecosistemas y sus procesos asociados), a diversas escalas. Las evaluaciones de la IPBES también han constatado que será necesario un cambio transformador profundo para abordar oportunamente la doble exigencia de justicia y sostenibilidad

El Foro Económico Mundial (WEF, siglas en inglés) ha declarado en su serie Nueva Economía Natural⁹⁵, la necesidad de transitar hacia otros modelos de desarrollo para restablecer los equilibrios de la naturaleza y el involucramiento de las empresas en este contexto.

¿Por qué el WEF está preocupado?, muy simple, las actividades económicas dependen de la biodiversidad y la vida de las personas también, ninguna de las actividades que realizamos está ajena a la biodiversidad. La expresión de esta dependencia se constata en los alimentos, el agua de uso cotidiano, las materias primas para la industria textil y farmacéutica, entre muchas otras, cada una toma lo necesario para hacer funcionar la maquinaria metabólica planetaria, usando lo que llamamos “recursos naturales”, todos provistos por la biodiversidad.

Una de las preocupaciones a nivel global respecto de la sustentabilidad se centra en los modos de producción y de consumo, en este sentido tanto el Foro Económico Mundial como la CBD, relevan la necesidad urgente de considerar a la naturaleza como parte de los negocios y al mismo tiempo de los riesgos. En este sentido, entre los acuerdos del Marco Kunming-Montreal⁹⁶ (“un marco para toda la

⁹⁵ Foro Económico Mundial (2020). Incremento de los riesgos naturales: Por qué la crisis que está engullendo la naturaleza es importante para la empresa y la economía.

⁹⁶ Kunming-Montreal Global biodiversity framework. CBD/COP/15/L.25. (19 de diciembre de 2022). <https://www.cbd.int/doc/c/e6d3/cd1d/daf663719a03902a9b116c34/cop-15-l-25-en.pdf>

vida en la Tierra”) de la COP15 de CBD, que cuenta con 23 metas, se plantea la necesidad de:

“Velar por que las empresas transnacionales y las instituciones financieras controlen, evalúen y difundan con transparencia y regularidad sus riesgos y efectos en la biodiversidad, junto con sus operaciones, sus cadenas de suministro y de valor y sus carteras”.

Adicionalmente, el Foro Económico Mundial incorpora el riesgo climático y la pérdida de biodiversidad como una urgencia a ser resuelta para alcanzar la sustentabilidad⁹⁷ (Figura 9).

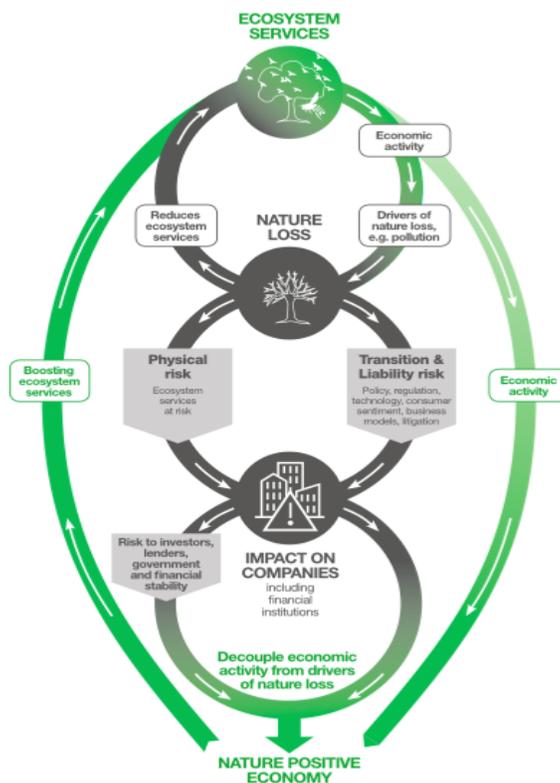


Figura 9. Relación entre naturaleza, actividades económicas y riesgos financieros⁹⁸.

⁹⁷ World Economic Forum. (2020). Incremento de los riesgos naturales: ¿Por qué la crisis que está engullendo a la naturaleza es importante para la empresa y la economía?. 1–36. http://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Nature_Economy_Report_2020_ES.pdf

⁹⁸ University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership (CISL). (2022). Integrating Nature: The case for action on nature-related financial risks. Cambridge: University of Cambridge Institute for Sustainability Leadership.

Ya en 2006 el conocido Informe Stern⁹⁹, llama la atención sobre la urgencia de frenar el cambio climático, siendo la “Economía del cambio climático” la cuestión principal como elemento de discusión. Casi dos décadas más tarde, aparece el Informe Dasgupta¹⁰⁰, un informe encargado por el Ministerio del Tesoro de Reino Unido, que sin embargo, pone de relieve como elemento prioritario la forma en la cual la biodiversidad nutre a la humanidad, las formas en que la hemos usado y cómo hemos deteriorado la relación con ésta y su importancia como capital natural para las naciones y el mundo.

El capital natural se incorpora en los sistemas de contabilidad de los países, considerando que la naturaleza forma parte de los “activos” de una nación, de esta forma la depreciación o mantención de la naturaleza es una medida directa respecto del bienestar para la sociedad, actual y futura y lo es para identificar si el desarrollo económico es o no sostenible. Por lo tanto, la conceptualización de capital natural no debe ser interpretada como la materialización y mercantilización de la biodiversidad, por el contrario, una forma efectiva es incluir en las cuentas económicas nacionales el estado de uno de los activos más importantes para que la vida del planeta se preserve, la biodiversidad. Naciones Unidas asocia tres categorías respecto del capital natural, que son: a) los activos naturales, que incluyen bióticos y abióticos; b) activos y servicios ecosistémicos; c) biodiversidad. A nivel internacional se ha ido consolidando la contabilidad del capital natural, lo que permite evaluar y medir cómo se está usando la biodiversidad bajo un mismo sistema: las cuentas ambientales. Esto ha sido consolidado bajo el Sistema de Cuentas Ambientales de Naciones Unidas (System of Environmental-Economic Accounting, SEEA en sus siglas en inglés)¹⁰¹. Así, el sistema de cuentas ambientales evalúa por ejemplo la extensión de un ecosistema y cómo varía en el tiempo; el estado de salud de un ecosistema, considerando pérdida de funcionalidad de un humedal, por ejemplo; y considera al mismo tiempo los SSEE.

⁹⁹ Stern, N. 2006. Stern Review on the Economics of Climate Change.

¹⁰⁰ Dasgupta, P. (2021). The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review. (London: HM Treasury).

¹⁰¹ Sistema de Contabilidad Ambiental y Económica 2012. Marco Central. Online: <https://seea.un.org/>

Ahora bien, para que esto sea un aporte, no basta con medir, es necesario comprender la complejidad de los sistemas, comprender que los cambios y los procesos ecológicos tienen una dinámica propia que se ve perturbada por la acción humana (no sustentable) que está impidiendo la resiliencia ecológica y social. En estos procesos el rol de la ciencia es relevante, pero debemos ser conscientes que el desarrollo de más ciencia y tecnología por sí sola, no ha resuelto el problema de fondo.

El capital natural no es infinito ni podemos reemplazarlo, el uso de tecnologías para mejorar la producción implica efectos negativos, por ello debemos evaluar la forma en la cual se usa, para movilizar acciones de esfuerzo colectivo, coherentes y pertinentes para restaurar la biósfera. Así las cosas, cuidar la biodiversidad es una inversión para el futuro de la humanidad y permite establecer una relación de respeto con las especies y ecosistemas que cohabitan con las personas.

IV. Síntesis y Propuestas

“Salvo en escenarios que incluyan un cambio transformador, las tendencias negativas en la naturaleza, las funciones de los ecosistemas y muchas de las contribuciones de la naturaleza a las personas, continuarán hasta 2050 y más allá debido a los impactos previstos del creciente cambio en el uso de la tierra y el mar, la explotación de los organismos y el cambio climático”. Reporte IPBES 2022.

1. Análisis para orientar diálogos sobre sustentabilidad

Desempeño ambiental al amparo del actual marco institucional en Chile

Una de las evaluaciones internacionales a las que se someten los países de forma voluntaria para evaluar su desempeño ambiental es el que realiza la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE). Chile se ha sometido a dos evaluaciones de desempeño ambiental, 2005 y 2015. El resultado de la última EDA arrojó varias recomendaciones que dicen relación directa con la sustentabilidad humana y la institucionalidad. Una de las variables de importancia y que no debe ser desestimada, es la base social e institucional para la gobernanza ambiental. El informe EDA-OCDE/CEPAL de 2015, señala que Chile posee la mayor desigualdad de ingresos con altas tasas de pobreza, lo que puede ser significativo para una gobernanza ambiental descentralizada, adaptativa y justa.

En Chile, los avances en institucionalidad ambiental son lentos, lo mismo que el desarrollo normativo sobre el agua. Los instrumentos de planificación del territorio están adscritos a una Ley de Urbanismo y Construcción y el suelo rural no posee normativa al respecto. La gestión local (municipal) ha tenido avances, pero se mantiene una brecha en capacidades y financiamiento, al igual que falencias en la descentralización. El Ministerio de Medio Ambiente recién se crea en 2010, con una estructura que no logra ser concluida. Aspectos a destacar respecto del marco institucional;

1. El Ministerio de Medio Ambiente empuja una agenda de cambio climático y biodiversidad ambiciosa, lo que ha permitido contar con una Ley Marco de Cambio Climático (junio 2022). Se trata de una política para establecer medidas de mitigación y adaptación, así como responsabilidades.
2. La institucionalidad ambiental mantiene un marco jurídico inconcluso para hacer frente a los desafíos de biodiversidad, de hecho desde 2011 se discute

una Ley para crear un Servicio de Biodiversidad y Áreas Protegidas (en 2014 se aprueba la idea de legislar y desde entonces ha tropezado inexplicablemente).

3. El Estado de Chile adoptará las cuentas ambientales y creó el Comité de Capital Natural. El Ministerio de Hacienda y de Medio Ambiente lideran esta acción que permitiría concertar esfuerzos transversales para caminar hacia la sustentabilidad y modificar conductas tanto productivas como institucionales para conservar, restaurar y proteger la biodiversidad del país.

Pese a lo anterior, no es posible descansar en esas medidas para suponer que seremos más sustentables, por el contrario, estos marcos requerirán la construcción de un nuevo escenario en relación al conocimiento, ciencia, tecnología, así como coherencia institucional, regulatoria y fortalecimiento de la democracia.

Ciencia y tecnología están avanzando a pasos vertiginosos para solucionar una serie de problemas de la humanidad, pero en cada avance queda una huella en el planeta, en ocasiones imperceptibles y no cuantificadas.

2. Perspectiva internacional sobre biodiversidad y sustentabilidad

Algunos de los principales temas que se reiteran a nivel internacional respecto de sustentabilidad son: la descarbonización para reducción de emisiones y reducción de la temperatura del planeta; economía baja en carbono; nuevas energías; los riesgos climáticos en las finanzas; la pérdida de biodiversidad que sostiene la vida de la humanidad; las economías locales, nacionales y globales; modelos de consumo, producción y estilos de vida.

Asimismo, estos ámbitos están vinculados a los temas de preocupación que también son considerados como desafíos globales que están amenazando la vida de generaciones presentes y futuras, como: pobreza extrema, degradación

ambiental, enfermedades infecciosas, crisis de refugiados, sistemas alimentarios deficientes, falta de acceso a una educación apropiada.

También está bien documentada con evidencia y ejemplos, la relación entre cambio climático, biodiversidad y salud humana y sus diversas expresiones como la salud física y la mental, lo que ha derivado en el desarrollo conceptual de *One Health* que permite comprender lo importante que resulta enfrentar con políticas transversales¹⁰², con capital social habilitado y con prácticas escalables la conducción de un nuevo marco de trabajo.

Los referentes internacionales sobre perspectivas de orden institucional y político relacionadas a medio ambiente, biodiversidad y sustentabilidad (Naciones Unidas, UNESCO, OCDE, CEPAL, CBD, UNCCD) y científico (IPCC; IPBES; Convención Ramsar), coinciden en los diagnósticos sobre los efectos de las actividades que estarían incidiendo mayoritariamente en la crisis global y pérdida de biodiversidad; cambio de uso de suelo, agricultura, impactos oceánicos planetario y urbanización. Los enfoques pueden ser diversos, pero la necesidad de nuevos marcos institucionales y sociales, eliminación de subsidios perversos hacia la naturaleza, transparencia de datos e información, son algunos de los énfasis planteados.

3. Síntesis de entrevistas

Para representar gráficamente los resultados de estas conversaciones, se realiza una codificación de temáticas y conceptos para identificar prioridades que permitan fortalecer el enfoque final, así como relevar aquellos elementos de mayor importancia dada por los entrevistados (tabla 1). Para el caso de los reportes se realizó el mismo ejercicio que se expresa en la tabla 2. Respecto de los documentos revisados en relación a tendencias sobre el futuro se consideró el

¹⁰² Marselle, Melisa, Stadler, Jutta; Korn, Horst; Irvine, Katherine; Bonn, A. (2019). Biodiversity and health in the face of climate change; Perspectives for Science, Policy and practice. In A. Marselle, Melisa, Stadler, Jutta; Korn, Horst; Irvine, Katherine; Bonn (Ed.), Biodiversity and Health in the Face of Climate Change. Springer Open. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02318-8_8

conjunto de documentos que integra el “Reporte de Futuro 2020 de CTCI.” Adicionalmente se identificó otro conjunto de reportes internacionales y nacionales sobre biodiversidad, sustentabilidad y finanzas, en el marco de la sustentabilidad y biodiversidad. La revisión de estos documentos permite priorizar elementos de preocupación global, rescatar el enfoque del problema respecto a la sustentabilidad y dar forma a los contenidos que debería considerar el Consejo Nacional de CTCI en los diálogos de futuro que conducirá próximamente.

Cabe destacar que, para la construcción de la propuesta de temáticas y análisis final, fue considerada toda la literatura usada en este reporte, sin embargo, se acotó el análisis cualitativo a 8 reportes, considerando los tiempos disponibles para la entrega de resultados y volúmen de información.

Tabla 1. Los códigos representan un conjunto de ideas que se agrupa en un concepto. Se han definido 14 códigos para agrupar las ideas desarrolladas en las entrevistas. Gs: nº de documentos agrupados (4 entrevistados); Gr (columna entrevistas): n2 de citas que han sido codificadas por un código determinado; Gr (en Fila): nº de citas en cada documento o en el Grupo de documentos

	Grupo ENTREVISTAS Gr=169; GS=4
● Biodiversidad/Naturaleza Gr=30	36
● Capital Natural Gr=16	98
○ Capital Social Gr=8	86
● Ciencia y sistemas socioecológicos Gr=14	153
● Descarbonización Gr=6	43
● Gobernanza y equidad Gr=4	64
● Gobierno y Fortalecimiento institucional Gr=16	158
● Nueva economía y transformación Gr=18	131
● Nuevas fuentes de energía Gr=9	24
● Oportunidades y avances Gr=19	148
● Resistencias al cambio Gr=6	74
● Resolución de conflictos Gr=11	116
● Riesgos y Desastres Gr=16	85
● Sustentabilidad Gr=14	120
● Territorios y Ecosistemas Gr=14	173
Totales	1509

Tabla 2. Los códigos representan un conjunto de ideas que se agrupa en un concepto. Se han definido 14 códigos para agrupar las ideas identificadas en los documentos analizados. Gs: n° de documentos agrupados (8); Gr (columna): n2 de citas que han sido codificadas por un código determinado; Gr (Fila): n° de citas en cada documento o en el Grupo de documentos.

	Grupo INFORMES INTERNACIONALES Gr=117; GS=8
● Biodiversidad/Naturaleza Gr=30	498
● Capital Natural Gr=16	145
○ Capital Social Gr=8	62
● Ciencia y sistemas socioecológicos Gr=14	63
● Descarbonización Gr=6	0
● Gobernanza y equidad Gr=4	0
● Gobierno y Fortalecimiento institucional Gr=16	77
● Nueva economía y transformación Gr=18	99
● Nuevas fuentes de energía Gr=9	0
● Oportunidades y avances Gr=19	167
● Resistencias al cambio Gr=6	0
● Resolución de conflictos Gr=11	0
● Riesgos y Desastres Gr=16	201
○ Riesgos y empresas Gr=11	187
● Sustentabilidad Gr=14	84
● Territorios y Ecosistemas Gr=14	35
Totales	1618

Se destaca a partir de este análisis que hay una marcada tendencia y sensibilidad, por parte de los académicos y científicos entrevistados, por los temas relacionados a gobernanza, nueva economía y transformaciones, territorios y ecosistemas, así como sobre la importancia de la resolución de conflictos. Lo que permitiría, en primera instancia, sostener la necesidad de integrar a otros actores y otros sectores en este enfoque de conversación.

A continuación algunos énfasis que se dieron en las entrevistas:

“La ciencia basada en la evidencia ya se expresó, lo que se requiere hoy es: Coherencia institucional y normativa; Dirigir la investigación a espacios de acción en los territorios, efectivas, coherentes y sintonizadas con la política pública”.

“los investigadores debemos hacer un esfuerzo colectivo por incrementar la interdisciplinariedad, real, en todos los niveles”.

“La institucionalidad debe incidir de manera coherente en la protección y restauración de la biodiversidad”.

“La dispersión de información y formas de expresar datos es absolutamente inconsistente con el esfuerzo de habilitar las cuentas ambientales para medir capital natural”.

“Las brechas de conocimiento y ciencia no son una limitante ante el desafío de la sustentabilidad, a pesar de las incertidumbres, existe suficiente evidencia sobre los efectos del actual escenario en el que nos movemos”.



Figura 10. Representación gráfica de palabras que tuvieron mayores repeticiones al analizar las entrevistas (diciembre 2022).

“Chile ha tenido grandes avances, es necesario reconocer el buen comportamiento en materia de compromisos internacionales, pero eso no se ve reflejado al momento de implementar las políticas y normas, damos un paso adelante y dos hacia atrás”.

“Debemos comprender la importancia de la biodiversidad en la sustentabilidad”.

“La única forma de hacer creíble y trascender en el discurso de capital natural es que el Ministerio de Hacienda y Economía puedan dar señales contundentes sobre la implementación de dicho instrumento”.

“Para habilitar las cuentas ambientales es necesario consolidar la institucionalidad ambiental, de forma efectiva. La dispersión y falencia de la información que maneja el Estado hacen imposible cubrir información”.

“El camino hacia el hidrógeno verde, tal cual se está planteando es un error, demuestra que no se ha comprendido lo fundamental del problema”.

Existe unanimidad entre los especialistas entrevistados para este informe, en que es fundamental profundizar en la ciencia interdisciplinaria, generar un espacio de transformación y destrabar las resistencias que han frustrado los esfuerzos de diversos grupos de la sociedad para cambiar modelos y estructuras. Del mismo modo, algunas de las reflexiones de los especialistas entrevistados señalan que se requiere de una política pública coherente, que no solo se dicte, sino que se implemente.

La integración de enfoques sociales y ecológicos juegan un papel fundamental para gatillar nuevos procesos que motiven el cambio hacia la sustentabilidad, administrando el poder, el conocimiento y las necesidades territoriales de manera equitativa y objetiva.

En ambos se declara la importancia de la biodiversidad y la necesidad de actuar, sin embargo, los matices de aproximación son diferentes, dada la naturaleza de las prioridades y de quienes desarrollan las propuestas, reportes, informes o documentos científicos. Lo anterior deja un espacio y establece el desafío de mejorar objetivos comunes y aproximaciones compartidas respetando énfasis.

4. Propuesta de contenidos para los diálogos de futuro

Se requiere una comprensión integral para la sustentabilidad, de lo anterior se propone trabajar en tres dimensiones (ver Figura 13 y 14):

Tema	Descripción	Justificación
Política Pública	El desarrollo institucional, reformas a marcos regulatorios nocivos para la biodiversidad y uso de suelo, nuevas y mejores políticas públicas para enfrentar los desafíos de la sustentabilidad	Los actuales instrumentos que inciden sobre el capital natural no han favorecido su recuperación ni mantención. Los diseños de política pública deben ser comprensivos para todos los involucrados, el desarrollo de instrumentos no diferenciadores y sin pertinencia, frustra metas y expectativas sociales y del Estado.
Creación del conocimiento y ciencia	Desarrollar la creación de conocimiento transdisciplinario para enfrentar los problemas y aproximarse a las soluciones.	Existe literatura y experiencias prácticas sobre mejores resultados mediante el desarrollo de plataformas de aprendizaje en sistemas socio-ecológicos que gatillan nuevos y mejores resultados sociales para alcanzar resiliencia y sustentabilidad de acciones individuales y colectivas.
Capital Social	Aproximarse a nuevas formas que requieren los sistemas socio ecológicos para reducir y revertir riesgos y pérdidas, bajo nuevos equilibrios y valores.	El capital social conserva la memoria, permite la adopción de acuerdos, aporta diversas miradas. Consolida espacios de vinculación de individuos y organizaciones donde se pueden crear confianzas, y heredar aprendizajes y experiencias. Prepara para la transformación de la gobernanza para la sostenibilidad social y ecológica.

Algunas preguntas que podrían acompañar el ejercicio de reflexión¹⁰³:

¿Cuáles son los diversos valores que se han tenido en cuenta a la hora de desarrollar y crear visiones y escenarios de futuro?;

¿Cómo construir escenarios especialmente relacionados con futuros más deseables, más justos y sostenibles?;

¿Cómo se han llevado a cabo las intervenciones para introducir valores más diversos y valorar la naturaleza?;

¿Cómo pueden, estos valores, servir como puntos de apoyo para permitir la transformación hacia un futuro justo y sostenible?

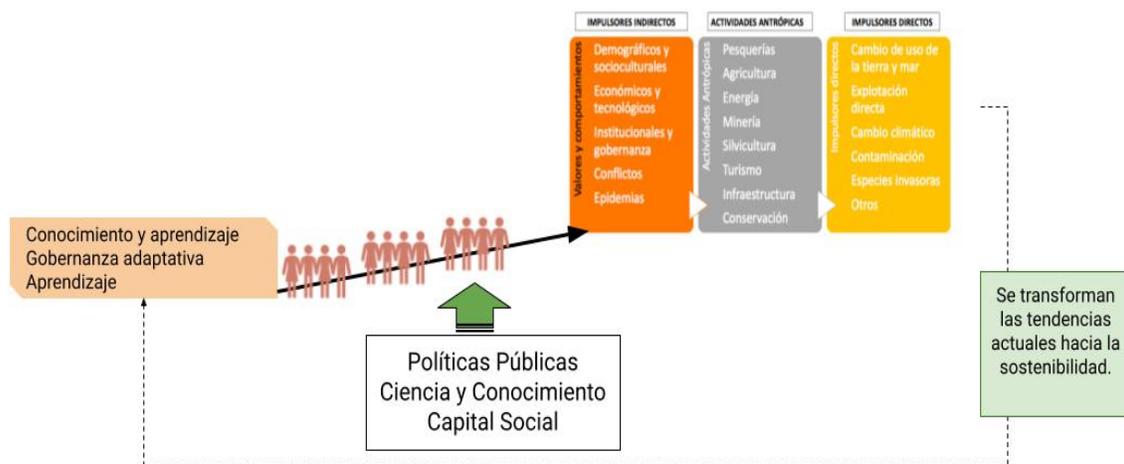


Figura 12. Posibles espacios de transformaciones para actuaciones sostenibles. Fuente: Elaboración propia a partir de REP9

Si se colabora en la ejecución de intervenciones prioritarias en materia de gobernanza (palancas) dirigidas a puntos de intervención fundamentales (puntos de apoyo) podría impulsarse un cambio que transformará las tendencias actuales en otras más sostenibles. Se espera que las intervenciones puedan llevarse a cabo por diversos actores; organizaciones intergubernamentales, gobiernos,

¹⁰³ Basado en el trabajo desarrollado por: IPBES (2019): Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondízio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneeth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis, and C. N. Zayas (eds.). IPBES secretariat, Bonn, Germany. 56 pages.

organizaciones no gubernamentales, grupos comunitarios, pueblos indígenas, organismos donantes, organizaciones científicas y educativas, el sector privado, según el contexto. Es importante considerar instrumentos existentes y nuevos, aplicar intervenciones de gobernanza: integradas, fundamentadas, inclusivas, adaptables y específicas para cada lugar, combinando políticas de forma estratégica y aprendiendo de las observaciones. (Ver detalle de la propuesta metodológica en Cuadro REP1, p¹⁰⁴).

Para fundamentar el alcance y enfoque previo, el desarrollo de Martin et al, 2022¹⁰⁵ expone una forma integral para un proceso de construcción que considera la transformación hacia la sustentabilidad, incluyendo: un re-equilibrio de los valores y considerando valores basados en el cuidado y respeto por la naturaleza (no humana). En este mismo sentido, se promueve el proceso de gobernanza adaptativa¹⁰⁶, diferentes formas de gobernanza para la sustentabilidad implican comprender la complejidad y aceptación entre diversos actores, absorber la incerteza y las diversas perspectivas. Esto implica de igual forma tener procesos democráticos robustos. “La promoción de procesos de aprendizaje sociales es necesaria para los sistemas de gobernanza que intentan contribuir a la creación de justicia y futuros sustentables”. (Martin et. al, 2022 p.6)¹⁰⁷. La creación de gobernanza debe ser comprendida como un proceso que vincula, facilita acuerdos, que es integradora y adaptativa.

5. Justificación

El desarrollo histórico de sustentabilidad ha contemplado varios enfoques e interpretaciones, que en términos generales, centran su atención inicialmente en el uso de los recursos que provee la naturaleza para el crecimiento y luego se enfatiza en el bienestar de las personas atendiendo a los límites de la biósfera.

¹⁰⁴ IPBES (2019). Op. Cit.

¹⁰⁵ Martin, A., et al., (2022). Op.Cit.

¹⁰⁶ Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annual Review of Environment and Resources*, 30, 441–473. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.30.050504.144511>

¹⁰⁷ Martin et al., (2022). Op.Cit.

Las evidencias con respaldo científico sobre la pérdida de biodiversidad y crisis climática coinciden y establecen el orden de la crisis, el colapso del planeta tiene umbrales que han sido sobrepasados y el deterioro creciente de la biodiversidad tiene implicancias sobre las actividades humanas, incluidos los sistemas económicos. Parece ser necesario avanzar hacia principios que guíen valores y en la producción de conocimiento integrado como mecanismo de investigación para abordar los retos de la sostenibilidad¹⁰⁸, replicando experiencias exitosas en todos los niveles.

El IPCC¹⁰⁹ plantea también que los riesgos emergentes del cambio climático, así como la pérdida de biodiversidad, ocurren al interactuar los sistemas acoplados; clima, ecosistemas (incluida su biodiversidad) y sociedad humana, sin embargo, para optar a un “desarrollo resiliente” es preciso que la sociedad y los ecosistemas pasen a un estado resiliente (Transición). Las acciones para recuperar equilibrios y pasar del riesgo al desarrollo resiliente, implican: “la gobernanza, la financiación, el desarrollo de conocimientos y capacidades, la tecnología y las condiciones catalizadoras”, considerando a su vez las transformaciones y transiciones sistémicas que apoyarán la resiliencia ecológica y de la humanidad^{110,111}.

La evidencia en forma de datos ha sido acompañada de nuevos marcos conceptuales desde las ciencias sociales y ecológicas, para promover nuevas formas de enfrentar el actual escenario, surge así la comprensión de los sistemas socio ecológicos. Diversas formas de gobernanza y creación de plataformas de aprendizaje, permite escalar experiencias para favorecer la sustentabilidad de los sistemas socio-ecológicos, al tiempo que la recuperación de la biodiversidad. Se

¹⁰⁸ Norström, A. V., Cvitanovic, C., Löff, M. F., West, S., Wyborn, C., Balvanera, P., Bednarek, A. T., Bennett, E. M., Biggs, R., de Bremond, et al., (2020). Principles for knowledge co-production in sustainability research. *Nature Sustainability*, 3(3), 182–190.

¹⁰⁹ IPCC, 2022: Summary for Policymakers [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, M. Tignor, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löscke, V. Möller, A. Okem (eds.)]. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löscke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, pp. 3–33.

¹¹⁰ IPCC, (2022). Op.Cit.

¹¹¹ Figueroa, A. (2021). Integrated analysis in social-ecological systems based on case studies in Chile as a mechanism to strengthen risk management and reduce biodiversity loss. (Magister of Science, Universidad de Heidelberg).

trata de situarse con diferentes enfoques para propender a cambios en sistemas complejos, en especial sistemas sociológicos. Se precisan enfoques innovadores y transformadores que puedan hacer frente a los retos complejos, dinámicos e interconectados del desarrollo sostenible, la resiliencia es uno de esos enfoques^{112,113}.

La sustentabilidad debe ser entendida bajo un conjunto armónico de procesos que requiere asimilar el conjunto de la sociedad chilena, con responsabilidad, generosidad y abriendo paso a la resolución de las diferencias en los modelos y mecanismos de uso de la biodiversidad y ocupación de los territorios.

Pensar en los desafíos futuros de la sustentabilidad humana en Chile, requerirá de un esfuerzo político y social, para conducir estrategias futuras de ciencia y tecnología. Los avances en compromisos ambientales, deben ser en todas las políticas, regulaciones y leyes, evitando desgaste e inconsistencias. En este sentido el país debe enfrentar con alternativas plausibles aquellos instrumentos que van en dirección opuesta a la sustentabilidad, habilitar de capacidades técnicas y apoyar con la ciencia y tecnología pertinente y oportuna. Por ejemplo, el Programa Global de Sustentabilidad (GPS) del Banco Mundial integra datos económicos y de servicios ecosistémicos, promoviendo políticas que puedan reducir la degradación de los ecosistemas y mejorar los resultados económicos. Las políticas analizadas incluyen desacoplamiento de las ayudas agrícolas a los agricultores, la implementación de esquemas de pago globales y nacionales de carbón forestal y la inversión en investigación y desarrollo para la agricultura.

La sustentabilidad no será viable sin declarar la manera en la cual daremos paso al desarrollo sustentable y qué tipo de modelo económico mantendremos para el país. El actual modelo impide, a juicio de los entrevistados avanzar en esto. Si se alcanza el desarrollo sustentable en el tiempo se alcanzará el desarrollo sostenible.

¹¹² Reyers, B., Moore, M. L., Haider, L. J., & Schlüter, M. (2022). The contributions of resilience to reshaping sustainable development. *Nature Sustainability*, 5(8), 657–664. <https://doi.org/10.1038/s41893-022-00889-6>

¹¹³ Haider, L. J., Schlüter, M., Folke, C., & Reyers, B. (2021). Rethinking resilience and development: A coevolutionary perspective. *Ambio*, 50(7), 1304–1312. <https://doi.org/10.1007/s13280-020-01485-8>

Es preciso enfrentar de manera decidida a través de grupos transversales, más allá de la frontera científica y sectorial, cómo damos paso a la sustentabilidad futura, qué significado tiene para cada uno, desde dónde se mira y define. Chile requiere visualizar las formas locales, sociales y ecológicas, para dar paso a los requerimientos de sustentabilidad futura.



Figura 13. Elementos de decisión que inciden en la sustentabilidad y consecuentemente en la salud ecológica y humana o en el aumento de la vulnerabilidad y el riesgo. Fuente: elaboración propia.

V. Anexos

ANEXO 1.

Condición y tendencia de las diez amenazas al suelo a nivel mundial¹¹⁴.

La tabla a la derecha del mapa global describe las amenazas sobre el suelo y su biodiversidad y la condición por zona geográfica.



Amenaza en función del suelo	Condición y Tendencia				
	Muy pobre	Pobre	Justa	Buena	Muy Buena
Erosión del Suelo	↘ NENA	↘ A ↘ LAC ↘ SSA	↗ E ↗ NA ↗ SP		
Cambio de Carbono orgánico		↗ A ↗ E ↗ LAC ↗ NENA ↗ SSA	↗ NA ↗ SP		
Desequilibrio de nutrientes		↘ A ↘ E ↘ LAC ↘ SSA ↘ NA	↘ SP	↗ NENA	
Salinización y Sodificación		↗ A ↗ E ↗ LAC	↘ NENA ↘ SSA	↗ NA ↗ SP	
Sellado de suelo y ocupación del territorio	↘ NENA	↘ A ↘ E	↗ LAC ↘ NA	= SSA ↘ SP	
Pérdida de la biodiversidad del suelo		↘ NENA ↘ LAC	↗ A ↘ E ↘ SSA	↗ NA ↗ SP	
Contaminación	↘ NENA	↘ A ↘ E	↗ LAC	↘ SSA ↘ NA ↘ SP	
Acidificación		↘ A ↘ E ↘ SSA ↘ NA	↗ LAC ↘ SP	↗ NENA	
Compactación		↘ A ↘ LAC ↘ NENA	↗ E ↗ NA ↗ SP	= SSA	
Anegamiento			↘ A ↘ E = LAC	↗ NENA = SSA ↗ NA ↗ SP	

Stable = Variable ↗ En amelioración ↘ En deterioración ↘

¹¹⁴ Tomado de FAO y GTIS. 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia

ANEXO 2.

Cambio de uso de suelo y la deforestación. Ejemplo a nivel local

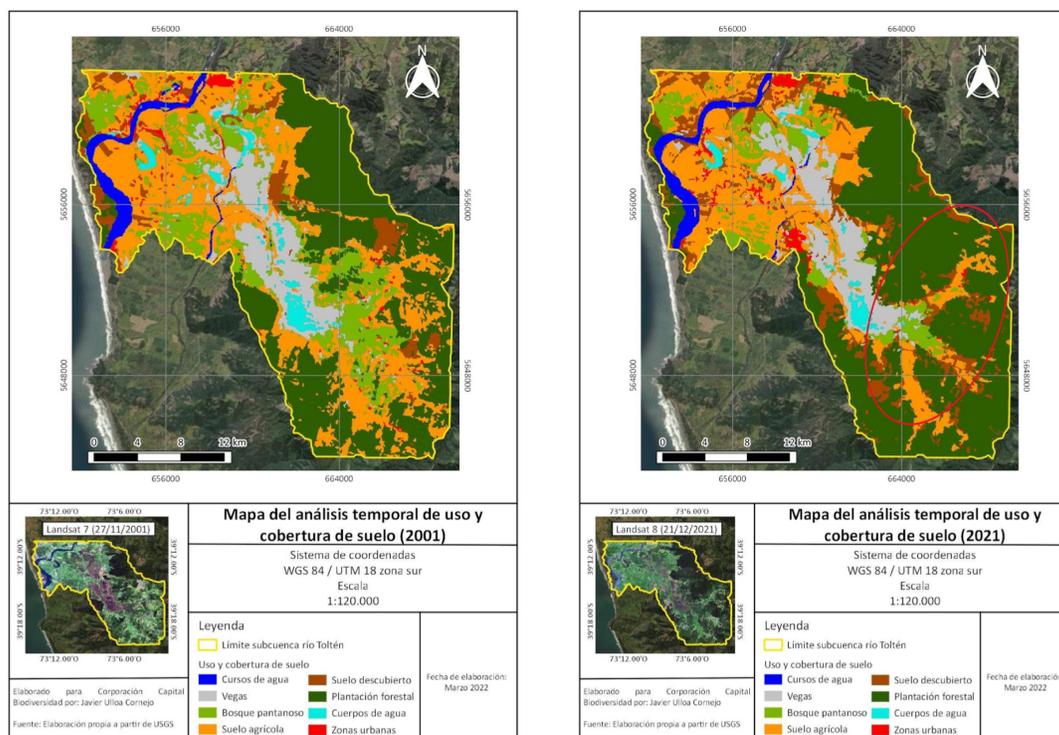


Figura 15. Análisis temporal en la localidad de Tolten sobre cambio de uso de suelo, año 2001 y 2021¹¹⁵. Algunas conclusiones producto de este estudio Los humedales de Tolten han tenido una reducción aproximada de 31% en su superficie en dos décadas, entre 2001 y 2021. Los humedales boscosos de Tolten presentan un deterioro moderadamente alto, aunque presentan el mejor estado de conservación de todos los tipos de humedales del área de estudio.

*Los humedales de Tolten son refugio de especies nativas y endémicas, algunas en estado vulnerable.

¹¹⁵ Figueroa, A., Tapia, D., Chiang, G., Urrutia, J., Rodriguez, T. (2022). Diseñando gobernanza para la conservación de humedales en la comuna de Tolten, Región de La Araucanía, Chile. Corporación Capital Biodiversidad



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