



CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE:
ANÁLISIS DE IMPACTOS Y PROPUESTAS PARA FORTALECER
LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN SECTORES RELEVANTES

CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE:
ANÁLISIS DE IMPACTOS Y PROPUESTAS PARA FORTALECER
LA MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO
EN SECTORES RELEVANTES

Honorable Diputado Iván Flores García
Presidente de la Cámara de Diputados
Director Manuel Alfonso Pérez Guñez
Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

Edición y Coordinación

Pablo Morales Peillard

Registro de Propiedad Intelectual N°2020-A-1415

ISBN: 978-956-7629-48-0

Tirada: 500 ejemplares

Concepción Visual

Unidad de Comunicaciones BCN

Diseño Gráfico

Bernardita Mardini Osés

Fotografías

Portada: Nicolás Bravo M.

Interior: Nicolás Bravo M., Tomás Olivares M.,
Petorca Despierta, Carlos Salazar A.

Compilación y edición de textos

Biblioteca del Congreso Nacional de Chile (BCN)

Leonardo Arancibia J.

Eduardo Baeza G.

Verónica de la Paz M.

Boris Lopicich C.

Enrique Vivanco F.

Rafael Torres M.

Publicación no comercial

Hecho en Chile

Marzo 2020

ÍNDICE

Palabras Presidente Cámara de Diputados.....9

Palabras Director Biblioteca del
Congreso Nacional de Chle.....13

Introducción.....14

CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR SILVOAGROPECUARIO.....17

Introducción.....18

1. Los posibles impactos del cambio
climático sobre nuestra agricultura.....19

2. Los componentes esenciales de una
estrategia hacia la adaptación.....21

3. Los componentes de un plan de adaptación.....22

4. Líneas transversales.....26

5. Reflexión final.....27

Referencias.....28

CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR PESCA Y ACUICULTURA.....31

1. Impactos del cambio climático en el clima,
meteorología y oceanografía de Chle.....32

2. Impactos del cambio climático
en la pesca y acuicultura.....36

Referencias.....41

CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS HÍDRICOS.....53

Introducción.....54

1. Tendencias de cambio observadas
en el ciclo hidrológico en Chile.....54

2. Efecto futuro del cambio climático
sobre el ciclo hidrológico.....56

3. Impactos del cambio climático
sobre la seguridad hídrica.....60

Referencias.....67

CAMBIO CLIMÁTICO Y BIODIVERSIDAD.....73

1. Biodiversidad, aspectos conceptuales.....74

2. Efectos y consecuencias del cambio climático sobre la biodiversidad marina.....	74
3. Una mirada desde la experiencia personal del autor.....	80
4. Un llamado a la acción: propuestas de políticas públicas.....	85
Referencias.....	88
CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR SALUD.....	91
Introducción.....	92
1. Cambio climático y enfermedades infecciosas virales.....	92
2. Cambio climático y enfermedades infecciosas bacterianas.....	97
3. Cambio climático y florecimientos algales nocivos.....	99
4. Cambio climático y enfermedades crónicas.....	100
Referencias.....	103
CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR ENERGÍA.....	109

CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO TERRITORIAL.....	121
Introducción.....	122
1. Antecedentes Generales.....	122
2. Discusión.....	129
3. Conclusiones.....	130
Referencias.....	131



Honorable Diputado Iván Flores García
Presidente de la Cámara de Diputados

■ Palabras Presidente Cámara de Diputados

Chile es un país que está en riesgo producto del cambio climático. La evidencia científica es contundente y advierte la condición acelerada de los efectos del cambio climático en el mundo y particularmente en nuestro país. La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), considera a Chile como un país vulnerable al fenómeno global ya que tiene condiciones geográficas particulares, tales como áreas de borde costero de baja altura, zonas áridas, semiáridas y de bosques susceptibles a desastres naturales, áreas propensas a sequía y desertificación, zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica y, especiales ecosistemas montañosos como las cordilleras de la Costa y de los Andes, entre otros.

A nivel global se han implementado una serie de iniciativas para enfrentar esta amenaza creciente, principalmente en dos vertientes: 1) Aumento en la captura de CO₂ y 2) reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), reconocidos como los causantes del calentamiento atmosférico. Entre algunas medidas destacan la conformación de la Convención Marco para el Cambio Climático de Naciones Unidas a inicios de los años 90, de la que derivan acuerdos internacionales como el Protocolo de Kioto el año 1997 y el Acuerdo de París el año 2015.

A nivel nacional, se han suscrito y ratificado los mencionados acuerdos, excepto el de Escazú, lo que se ha traducido lentamente, en la formulación e implementación de planes y estrategias en materia de adaptación y mitigación, como parte de los compromisos que Chile ha adquirido para combatir los efectos del cambio climático. Por su parte, en la reciente Conferencia de las Partes de Madrid (COP 25), que le correspondió presidir a nuestro país, pese a que no tuvo los logros esperados que el planeta demanda con urgencia, se puso énfasis en la búsqueda de acuerdos que permitan impulsar acciones de alto nivel para los correspondientes planes nacionales de adaptación de cara al año 2020 y propender al logro de la estabilización del aumento de la temperatura en 1,5°C por encima de los niveles preindustriales.

En este contexto de alta preocupación y con el objetivo de contribuir al debate y la reflexión sobre este asunto de extrema relevancia nacional e internacional, la Cámara de Diputados pone a disposición de la comunidad la presente publicación. En ella, destacados autores presentan su visión y análisis de los impactos del cambio climático en sectores relevantes para la economía nacional, entregando recomendaciones, propuestas de acciones concretas y lineamientos de política pública que permitan tomar decisiones a fin de preparar mejor a nuestro país en áreas de adaptación climática, limitando los riesgos y efectos que el cambio global está generando sobre dichos sec-

tores productivos, con evidentes consecuencias sociales.
Convencido que este nuevo esfuerzo de la Cámara de Diputados de la República de Chile, será un aporte al debate y toma de decisiones, les saludo con preocupación, pero a la vez con optimismo y convencimiento de que la Cámara de Diputados estará a la altura de lograr lo que nuestras familias y la comunidad nacional requieren.



Iván Flores García
Presidente de la Cámara de Diputados



Manuel Alfonso Pérez Guíñez
Director Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

■ Palabras Director Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

A inicios del año pasado, la Biblioteca del Congreso Nacional de Chile asumió un compromiso con la Presidencia de la Cámara de Diputados, para colaborar en la elaboración de la presente publicación, donde diversos autores abordan los impactos del cambio climático en diferentes sectores y ámbitos estratégicos de nuestro país, y entregan propuestas que permitan a estos sectores adaptarse de mejor forma a este fenómeno.

Para tales efectos fueron convocados importantes investigadores del mundo científico y académico nacional, quienes abordaron la problemática de clima y sus efectos en distintos ámbitos relevantes para nuestro país, tanto desde sus estudios y conocimientos teóricos así como también desde sus valiosas experiencias en terreno.

Además, participaron de esta iniciativa profesionales de la asesoría técnica parlamentaria de nuestra Biblioteca, con el objetivo de complementar la información científico-técnica con antecedentes vinculados a las políticas públicas en cada uno de los temas sectoriales tratados.

Este trabajo da cuenta de cómo las alteraciones climáticas que están teniendo lugar a nivel global y local han afectado de manera creciente a nuestros recursos hídricos, biodiversidad y sectores productivos, situación que hace imperativo diseñar e implementar a la brevedad

estrategias de adaptación y mitigación orientadas a reducir nuestras emisiones y enfrentar los impactos del calentamiento atmosférico.

Como una forma de relevar el patrimonio político-legislativo del país, las publicaciones de la Biblioteca del Congreso Nacional buscan situar al alcance de toda la comunidad el intercambio de ideas generado a propósito de las grandes discusiones de nuestra sociedad. Así, especial valor le otorga la Biblioteca a la posibilidad de contribuir al debate y la información sobre ésta y otras importantes materias determinantes para el desarrollo de Chile y de su gente.


Manuel Alfonso Pérez Guíñez
Director Biblioteca del Congreso Nacional de Chile

■ Introducción

Actualmente, existe un amplio consenso científico respecto a que el fenómeno del cambio climático es un hecho incuestionable y causado principalmente por la acción del hombre. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) desde mediados del siglo XX muchos de los cambios observados no han tenido precedentes en los últimos siglos.

La atmósfera y el océano se han calentado, los volúmenes de nieve y hielo han disminuido, el nivel del mar se ha elevado y las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero alcanzaron una vez más niveles récord el año 2019.

De acuerdo con el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), el calentamiento global ya alcanzó un 1 °C con respecto a los niveles preindustriales a causa de las emisiones de gases de efecto invernadero pasadas y presentes, y hay evidencia contundente de que ello implicará consecuencias graves para los ecosistemas y las personas.

La evidencia científica también señala una tendencia creciente en la frecuencia e intensidad de los eventos meteorológicos extremos en los últimos cincuenta años, la que está causando episodios de calor sin precedentes, graves sequías y grandes inundaciones en muchas regiones, con serias consecuencias para los ecosistemas y los

servicios ecosistémicos que ellos proveen.

Por otra parte, Chile cumple con lo señalado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en su artículo 4, número 8, sobre países que se consideran especialmente vulnerables: cuenta con áreas de borde costero de baja altura; con zonas áridas, semiáridas; zonas con cobertura forestal y zonas expuestas al deterioro forestal; es un país propenso a desastres naturales; presenta zonas propensas a la sequía y la desertificación; presenta zonas urbanas con problemas de contaminación atmosférica; y zonas de ecosistemas frágiles, incluidos los sistemas montañosos.

En el último informe especial del Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), publicado el año 2018, se destaca la necesidad de actuar con urgencia con el objetivo de priorizar iniciativas oportunas y coordinadas que permitan abordar alteraciones en la atmósfera y los océanos que no tienen precedentes. En el informe se ponen de manifiesto los beneficios que supondría la adopción de medidas de adaptación oportunas y eficaces que apunten a un desarrollo sostenible y, a la inversa, se plantea que postergarlas implicaría un incremento de los costos y los riesgos asociados a los efectos de los cambios en el clima.

A recomendación del IPCC, la CMNUCC ha desarrollado dos principales ejes estratégicos de acción para hacer frente a los desafíos de un clima cambiante: mitigación y

adaptación. La mitigación consiste en disminuir las emisiones de los gases de efecto invernadero y/o incrementar la absorción de dióxido de carbono de la atmósfera mediante sumideros. Por su parte, la adaptación se refiere a actividades realizadas por individuos o sistemas, para evitar, resistir o aprovechar los cambios y los efectos del clima, actuales o previstos a distintos niveles.

Si bien es fundamental seguir realizando esfuerzos que permitan reducir las emisiones de GEI para limitar los niveles de calentamiento muy por debajo de los 2°C en relación con los niveles preindustriales, tal como fue establecido en el Acuerdo de París el año 2015, la mitigación por sí sola no será suficiente.

El calentamiento del planeta ya está en desarrollo y es urgente desplegar estrategias que permitan aumentar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático de aquellos sectores productivos relevantes para cada país, de manera de garantizar la seguridad de la población y de sus bienes, incluyendo los ecosistemas y sus servicios.

En los capítulos siguientes destacados académicos e investigadores nacionales, abordan los impactos que el cambio climático está teniendo sobre siete sectores relevantes de la economía nacional, considerados vulnerables de acuerdo con la Tercera Comunicación Nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre

Cambio Climático (CMNUCC) elaborada el año 2016, y proponen recomendaciones, acciones y lineamientos de política pública que permitan mejorar la adaptación climática y limitar los riesgos y efectos que las alteraciones climáticas están generando sobre dichos sectores.



Carlos Salazar A.

CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR SILVOAGROPECUARIO

Fernando Santibáñez Q.

Ingeniero Agrónomo; Dr. Ingenieur in Bioclimatology, Université Paris IV.

■ Introducción

La agricultura es probablemente la actividad que hace un uso más extensivo de los recursos naturales del territorio. De la relación entre la agricultura y los recursos naturales surgen una serie de cuestionamientos que se van acentuando en la medida de que la crisis ambiental se hace más patente a los ojos de la sociedad. A la necesidad de productiva, se ha agregado el de sustentabilidad ambiental, económica y social. Esto exige, en la actualidad, minimizar los pasivos ambientales o la huella que dejan los procesos productivos. Se reconoce que la agricultura ha dejado en el pasado varias huellas tales como la reducción de la biodiversidad, la erosión de los suelos, la contaminación de las aguas, la fragmentación de los ecosistemas y, aunque en menor medida que otras actividades humanas, el cambio climático.

Por otra parte, la agricultura es una de las más potentes herramientas de que dispone la humanidad para luchar contra la pobreza y la marginación social. Paradójicamente, son las propias huellas que la humanidad está dejando en la biosfera, las que están amenazando con desestabilizar a millones de pequeños agricultores en el mundo, sobre los cuales podrían caer con mayor rigor las consecuencias de un cambio climático generalizado.

Es esto lo que ha llevado a la revisión de los procesos productivos y la filosofía que hay detrás de esta actividad. Parece urgente la necesidad de revisar los paradigmas de la producción agroalimentaria, de modo de sintonizar una tan básica necesidad humana, como es la producción de alimentos, con una biosfera que está dando señales de un agotamiento que podría complicar la seguridad alimentaria de los 9000 a 11000 millones de habitantes que habrá que alimentar hacia el fin de este siglo. Esta tarea será dificultada por el calentamiento global, fenómeno que está cambiando los regímenes climáticos, al punto de amenazar la capacidad productiva de importantes zonas productoras de alimentos en el mundo.

En Chile, la mayor amenaza asociada al cambio climático se traduce en una disminución de las precipitaciones en la mayor parte del territorio, lo que amenaza fuertemente a la agricultura tanto de secano como de riego. La escasez hídrica ya se está haciendo sentir con fuerza de Maule al Sur. No obstante esta amenaza al desarrollo nacional, las formas de enfrentar esta situación existen, pero ellas pasan por un plan de gestión hídrica a nivel nacional que incluya inversiones en infraestructura, cambios tecnológicos, educación y mecanismos legales que ordenen el territorio provocando una sintonía entre los nuevos escenarios climáticos y el tipo e intensidad de la agricultura que el país necesitará en las próximas décadas

para seguir su avance hacia convertirse en potencia silvoagropecuaria.

■ 1. Los posibles impactos del cambio climático sobre nuestra agricultura

El clima del planeta ha estado cambiando durante todo el último siglo. En algunas zonas del mundo ha sido más evidente que en otras, dependiendo de los mecanismos macroclimáticos que operan en cada zona. La temperatura media ha aumentado en casi un grado, aunque en áreas muy específicas, las temperaturas han disminuido como consecuencia del propio calentamiento que acelera los flujos de aire polar hacia las latitudes medias, o los flujos de aire marino que ingresan a las costas occidentales de los continentales. Las precipitaciones han tendido a disminuir en las áreas cuyo clima se ve influido por los anticiclones (altas presiones) y a aumentar en las regiones bajo influencia ciclónica (de bajas presiones).

Los modelos planetarios señalan que los anticiclones que originan desiertos, se moverán hacia los polos haciendo migrar la aridez hacia zonas templadas ricas en agricultura. Este es el caso de la zona central de Chile y sería la razón principal del descenso de la precipitación que vienen observando nuestros climas. Una atmósfera más caliente tiende a generar lluvias de mayor intensidad,

lo que ha hecho que en muchos casos se haya acelerado la hidrología, acelerando el escurrimiento, disminuyendo la recarga de las napas y aumentando la aridez aun en zonas donde la caída anual de lluvias no ha cambiado de manera importante (Valdes et al., 2010, Cotê et al., 2010, Santibáñez et al, 2014).

Otros fenómenos que parecen estar en fase de intensificación son el viento, las temperaturas extremas, el granizo, las ondas de calor y de frío, las heladas polares y las sequías prolongadas. Todos estos fenómenos se traducen en amenazas para la agricultura en Chile y el mundo.

Todos estos cambios, se alinean perfectamente con lo que la ciencia climática espera como consecuencia del calentamiento global. El calentamiento global ha provocado una “aceleración” de los fenómenos climáticos, haciendo a los climas más inestables, intensos e inciertos para una actividad como la agricultura. La incertidumbre sobre la conducta futura de los climas va más allá de lo que la ciencia actual puede predecir si la temperatura global se aproxima a los 18°C desde los actuales 15°C. En la cercanía de dicho umbral se podrían generar nuevos equilibrios entre la energía cinética de los vientos, las corrientes marinas, los gradientes de presión océano continente, densidad del aire, contenido de vapor, que podrían cambiar completamente la climatología actual del planeta, poniendo a la humanidad en problemas ma-

yores. Menos conocida aun es la conducta que tendrían los océanos si sus aguas se calientan a un ritmo similar al de la atmosfera, como ha venido ocurriendo en el último siglo. Esto justifica la preocupación de la COP 21 (Paris) para llegar a un acuerdo que evite el calentamiento global más allá de los 2°C. (IICA, 2015)

Un alza de 2°C deterioraría significativamente la condición climática de las zonas tradicionalmente agrícolas del país. Un similar calentamiento podría provocar una caída de rendimientos o un desplazamiento de las zonas de cultivo hacia zonas más australes (Santibáñez et al., 2014). No sabemos si un cambio de zona geográfica no se encontrará con otros problemas que en la actualidad son difíciles de pronosticar, además de los desajustes sociales que ello provocaría a las comunidades humanas que se verían forzadas a cambiar el tipo de agricultura que han venido haciendo por siglos (FAO, 2007).

De este hecho es que surge la necesidad de trabajar en adaptación, de modo de encontrar las estrategias que menos desajustes sociales, ambientales y territoriales generen. La sustentabilidad de la agricultura pasará por realizar los cambios en los sistemas de producción, en la genética, en la gestión de los recursos naturales, en la administración de los insumos y prácticas de protección, en la gestión del riesgo, en el procesamiento y almace-

namiento, todo lo cual es parte de una agricultura más resiliente y competitiva.

Las exportaciones silvoagropecuarias aportaron en 2018, unos 17.745 millones de dólares a la economía del país. Para proyectar el posible efecto que podría tener el cambio climático, sin medidas de adaptación, basta mirar hacia el pasado y ver cuál ha sido el costo de las sequías intensas o las heladas destructivas. Si bien no existen estimaciones precisas, una sequía intensa puede afectar en más de un punto al PIB (CEPAL 2012), provocando además un alza en el costo de vida de las personas. El cambio climático podría hacer permanente estos efectos ocasionales producidos por coyunturas como estas.

Los sistemas de producción agrarios están diseñados para producir la mayor cantidad de producto en el menor tiempo posible, bajo sistemas de manejo en los cuales se controlan la mayor parte de los factores de producción. Esto no debiera cambiar radicalmente bajo un nuevo escenario climático, pero el aumento de los riesgos provocados por los extremos climáticos hará necesario el uso de sistemas de protección que prevengan el efecto negativo de las amenazas, que atenúen la mayor agresividad de los agentes biológicos y que proporcionen un ambiente microclimático favorable. Es probable que cualquier proyecto silvoagropecuario en el futuro consi-

dere con mucho más rigor la naturaleza e intensidad de los riesgos agroclimáticos antes de decidir la viabilidad de un determinado uso del suelo, o el sistema de producción a adoptar en cada caso.

Los sistemas de protección contra extremos climáticos vienen recién emergiendo en la agricultura moderna (sistemas de riego de alta eficiencia, protecciones sintéticas superiores, malla anti-insectos, cortavientos, pantallas químicas, productos anti estrés). Cuando, cómo y qué utilizar no ha sido una cuestión sistemáticamente abordada y queda a la intuición de cada gestor de proyecto.

Frente a estas decisiones se requiere además un gran acervo de información en tiempo diferido y real, la cual recién está emergiendo como una necesidad, pero faltan los canales de difusión de ella, los sistemas para traducir los datos instrumentales en información con mayor valor agregado para los agricultores y las plataformas que incorporen los riesgos en tiempo real y diferido a los sistemas de decisión.

Finalmente, falta una pieza clave, cual es la capacitación de los actores (agricultores, administradores y asesores técnicos) para interpretar tanto la información climática como los riesgos derivados, traduciéndola en decisiones que reduzcan la exposición de los sistemas de producción.

Iguales niveles de capacitación se requieren para diseñar sistemas menos vulnerables y más resilientes frente a un clima más inestable y amenazante (Gobierno de Chile, 2013).

■ 2. Los componentes esenciales de una estrategia hacia la adaptación

Dentro de los grandes desafíos de la agricultura chilena están la adaptación a los cambios climáticos y escasez hídrica, la tecnificación de la agricultura, la calificación de la fuerza laboral y la sustentabilidad ambiental de la actividad (ODEPA, 2017).

Una estrategia de adaptación al cambio climático necesita equilibrar acciones orientadas a: disminuir la exposición a los riesgos, mitigar el efecto de los fenómenos adversos y mejorar la resiliencia de los sistemas de cultivo (MMA-MINIAGRI (Chile), 2011).

La primera dimensión implica un planeamiento del uso del suelo acorde con los niveles de riesgo, buscando la máxima sintonía entre el tipo de agricultura y la potencialidad productiva de cada región. La segunda dimensión representa a aquellas intervenciones tecnológicas que permitan enfrentar los riesgos, minimizando su acción negativa sobre los rendimientos y la calidad de los pro-

ductos. En este grupo están las tecnologías de protección de cultivos, el diseño inteligente de sistemas de cultivo y las acciones de recuperación en caso de materializarse un impacto indeseado. La tercera dimensión está referida a la capacitación de los actores, tomadores de decisión y hacedores de políticas, para diseñar las estrategias que le den sustentabilidad a la agricultura bajo la presión de las nuevas conductas del clima. Ninguno de estos tres conceptos puede ser descuidado si se desea avanzar hacia la adaptación permanente de la agricultura (Ministerio del Medio Ambiente y Recursos Naturales (México), 2013). Es decir, una estrategia eficaz debe contener elementos de reordenamiento territorial del uso del suelo, tecnológicos del sistema de cultivo y la instalación de capacidades humanas permanentes que haga de la adaptación un proceso dinámico y flexible.

■ 3. Los componentes de un plan de adaptación

En esta sección se resumen las líneas de acción donde se requiere investigación, innovación y capacidades humanas e institucionales que contribuyan eficazmente al éxito de los procesos de adaptación en cada país.

Dimensión uno: reducir la exposición

Las principales líneas que conducen a reducir la

exposición están referidas a:

1. Evaluación y gestión de riesgos agroclimáticos. El riesgo resulta de la combinación de la sensibilidad de las plantas frente a un fenómeno y la exposición a este. Se necesita conocer, cuantificar y modelar la sensibilidad de los cultivos en sus diferentes fases, frente a diferentes fenómenos climáticos. Esto se puede lograr a través de protocolos experimentales o a través de registros de campo tomados en largos periodos y en una diversidad de condiciones climáticas. A través de grandes cantidades de datos de terreno se pueden validar modelos que luego pueden ser usados en la evaluación espacio-temporal del riesgo de modo de apoyar el diseño de políticas de fomento, de seguro agrícola y directamente al sistema de decisión de los agricultores. El manejo cuantitativo del riesgo puede conducir a zoneamientos de riesgo, establecimiento de potenciales de producción y sistemas de apoyo a las decisiones de los agricultores.
2. Sistemas de alerta temprana. En la actualidad es una necesidad proveer apoyo a la agricultura mediante sistemas de alerta de corto plazo (horas), mediano plazo (semanas) y largo plazo (meses). Existen numerosos centros mundiales y de cada país que generan información de apoyo para elaborar información que alerte a los agricultores en áreas donde ellos tienen la capacidad de reaccionar (gestión del agua de riego, protección contra lluvias y granizos, protección sanitaria, programación de

siembras, de cosecha, gestión del forraje y cargas animales).

Dimensión dos: atenuar los impactos

Las principales líneas que conducen a mitigar los impactos están referidas a:

3. Diseño de sistemas silvoagropecuarios.

El monocultivo no parece ser la mejor estrategia para la pequeña y mediana agricultura, por cuanto conlleva elevados niveles de inestabilidad productiva incompatible con los objetivos de pequeños productores. El aumento de la variabilidad climática aconseja el uso de sistemas de cultivo mixtos, donde la simple diversidad de especies atenúa considerablemente el riesgo agroclimático. Adicionalmente, la combinación de especies leñosas altas con pisos de plantas anuales puede beneficiar a estas últimas por la reducción del estrés térmico y radiativo proporcionado por la semi-sombra del estrato alto. La diversidad específica podría igualmente contribuir a un mejor control de las amenazas biológicas, mejorando el equilibrio de predadores o de enemigos naturales de las plagas principalmente. En los sistemas pecuarios serán de particular utilidad las herramientas para optimizar las cargas animales en función de los pronósticos agroclimáticos, los sistemas de pastoreos biodiversos multi-estratificados, los sistemas de conservación de forraje, todo ello

ayudará a disminuir la incertidumbre (FAO, 2007).

4. Cultivos protegidos y gestión del estrés bioclimático. Son numerosas las tecnologías que permiten proteger a las plantas cultivadas de los extremos climáticos y reducir los niveles de estrés provocados por estos. Se hace necesario investigar la eficacia de estas, así como la reducción de costos de las estructuras y sistemas de manejo, de modo de hacerlas compatibles con la pequeña y mediana agricultura. Estas tecnologías van desde las cubiertas sintéticas, los sistemas de control de heladas, de enfriamiento por mallas, hasta productos químicos para reducir la exposición solar.

5. Recursos genéticos resistentes y resilientes. Prácticamente en todas las áreas de la región, se cuenta con variedades y razas de especies cultivadas que, por razones comerciales, se han dejado de cultivar. Estas representan un interesante potencial genético las cuales pueden ser mejoradas o servir como fuente de genes para agregar rusticidad a variedades comerciales. Se necesita hacer un exhaustivo catastro de recursos genéticos locales (land races) por especie. A partir de esto se puede iniciar un programa de intercambio de material entre regiones de modo de testear las conductas ambiente x genoma en una gran cantidad de combinaciones. Ello podría servir además, para identificar genes particularmente interesantes

para adaptar las especies a climas más extremos. Estas experiencias podrían ser usadas para crear un repositorio de material genético por especie.

Dimensión tres: Disminuir la vulnerabilidad, mejorando la capacidad de adaptación

Las principales líneas de acción que conducen a mejorar la capacidad de adaptación de la agricultura están referidas a:

6. Gestión eficiente del agua.

Por lo general el agua se administra con bajos niveles de eficiencia en la agricultura. No obstante, esta actividad en áreas de riego es la mayor consumidora de agua. La pequeña agricultura por lo general tiene limitado acceso a los recursos hídricos, lo que agrava el problema. Se requiere diseñar sistemas de riego y de conservación de agua que maximicen la eficiencia de uso, a bajo costo, aplicable a pequeñas escalas. Muchos de estos sistemas pueden ser de autoconstrucción como los sistemas de cosecha de aguas lluvia, los sistemas de infiltración, los sistemas de riego sub-superficial. Importante es realizar una recopilación de técnicas tradicionales, las cuales fueron abundantes en el periodo pre colonial en la región.

7. Gestión eficiente de la energía e insumos.

La competitividad de la agricultura depende fuertemente de la relación insumo/producto que cada sistema de producción pueda lograr. La autogeneración de energía (biogás, biomasa), el reciclaje de nutrientes y materia orgánica (compostaje, digestato, bioabono), la minimización de uso de agroquímicos mediante prácticas agroecológicas (biodiversidad, animales predadores, enemigos naturales, uso de productos de bajo impacto, manejo del suelo) pueden ayudar grandemente a mantener la sustentabilidad y competitividad de la pequeña agricultura, haciendo más eficiente la relación insumo/producto.

8. Sustentabilidad del patrimonio natural de la agricultura. La integración de la agricultura al paisaje (o al territorio) será un paradigma del siglo. Esta actividad es consumidora y productora de servicios ecosistémicos por lo que se deberán diseñar estrategias de integración que potencien estos servicios (biodiversidad, infiltración de agua, cadenas tróficas de organismos benéficos, valores estéticos, conservación de especies amenazadas, nichos ecológicos). Se requiere avanzar en protocolos de identificación, evaluación e integración de servicios ecosistémicos entre los sistemas agrícolas y el entorno (De Fries y Rosenzweig, 2010). El concepto de protección colectiva del patrimonio natural al interior de unidades territoriales (distritos de conservación, cuencas) ha sido

poco desarrollado. La pequeña agricultura puede ser oferente y receptora de estos servicios, incluido el agroturismo que podría derivar de estas acciones.

9. Diseño de sistemas de producción sustentables. Dar sustentabilidad a los sistemas de producción es mucho más que buenas prácticas agrícolas, se requiere un buen sistema de decisiones basada en riesgos, de información oportuna, de protocolos de gestión ambiental de bajo impacto (reducción de huellas de C, del agua y ecológica), de una administración racional de los recursos económicos, de los sistemas de comercialización de insumos y productos, de una capacidad de reacción frente a los imprevistos. Hasta ahora las instituciones han parcelado el conocimiento y lo han transferido como tal, sin una necesaria visión de conjunto. La apuesta es a desarrollar visiones sistémicas de la estructura y dinámica de las unidades de producción (granjas) que permita asistir a los agricultores en la gestión del conjunto de factores de éxito, frente a un clima cambiante que exigirá ajustes periódicos del sistema.

10. Capacitación para la adaptación al cambio climático. En la actualidad existe un importante déficit en las capacidades de los diferentes actores (agricultores, asesores técnicos, transferencistas, administradores públicos) en materia de adaptación al cambio climático. Hay una

cierta desorientación respecto de la naturaleza de las amenazas, la vulnerabilidad de los sistemas, los niveles y el tratamiento de los riesgos agroclimáticos, el rol de la tecnología, los cambios de uso del suelo, la jerarquización de las amenazas y sus soluciones. El déficit más grave podría estar radicado en los agentes públicos encargados de llevar adelante las políticas públicas en materia de adaptación, lo que limita la eficacia del Estado en la materia.

11. Políticas públicas para una agricultura sostenible (instrumentos de fomento, financiación, estrategias, participación, ética e inteligencia ambiental, prospectiva agrícola). Una línea de acción particularmente importante es la dinamización de las políticas públicas para la adaptación al cambio climático (PPA). El rol de las instituciones internacionales es clave, considerando que tienen la posibilidad de transferir experiencias exitosas entre los Estados. No todos los estados tienen las mismas fortalezas y experiencia, por lo que abrir canales de cooperación en PPA permitirá aprovechar los casos exitosos y prevenir los errores que ya se han cometido. Hay países con más avance en protección de la biodiversidad, otros con tecnología hídrica, otros con organización de los productores, con análisis de vulnerabilidad, con capacitación, con instrumentos de fomento a la adopción de sistemas sustentables. Crear una plataforma de “gestión

del conocimiento” en materia de políticas públicas para la adaptación al cambio climático permitiría a los estados ser más eficientes en su acción.

■ 4. Líneas transversales

Aparte de las tres dimensiones mencionadas, hay varias líneas trasversales que no pueden ser descuidadas. Entre estas cabe citar a la gobernanza, es decir, la armonización estructural y funcional de las instituciones encargadas de llevar adelante las políticas de adaptación.

Especial mención cabe hacer a la necesidad de crear grupos de trabajo multidisciplinarios que modelen el sistema agrario nacional, provincial y local, en orden a desarrollar una capacidad prospectiva agrícola que le permita a cada país incorporar las proyecciones de mediano y largo plazo del cambio climático y de las necesidades de adecuación de la agricultura en todas las dimensiones señaladas, así como los hotspots de vulnerabilidad y exposición que podrían crear problemas de marginalización agrícola y social. Esta capacidad es muy escasa en la actualidad y podría contribuir grandemente a que los países encaminen el desarrollo hacia senderos sustentables.

Un informe periódico sobre el “estado del futuro” sería fuertemente orientador para la acción de los estados.

Entre los centros de prospectiva en el mundo cabe mencionar al Future Studies (Hawai), World Future Studies Federation (WFSF), grupo Futuribles de Francia, la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), el proyecto Milenio. Sólo mirando el futuro podemos juzgar si se está actuando bien en el presente. Una línea muy vinculada a la prospectiva agrícola es la de la evaluación y modelación de la vulnerabilidad de los sistemas agrícolas, a diferentes escalas, desde la global por zonas agrícolas, hasta la vulnerabilidad de las granjas individuales.

Siendo la vulnerabilidad una característica intrínseca de cada sistema (Kiparsky et al, 2012), se trata de crear las capacidades multidisciplinarias para abordar el problema desde las perspectivas sociales, culturales, económicas, tecnológicas, biológicas y ambientales (Barrow, 2006). La modelación de la vulnerabilidad permitirá encontrar los cuellos de botella para el éxito de las estrategias de adaptación, lo que es esencial para orientar las acciones hacia estas barreras, cuya superación darán más fortaleza a la agricultura local para enfrentar los nuevos escenarios climáticos. Vulnerabilidad y capacidad de adaptación son conceptos contrapuestos, ningún país podrá implementar estrategias de adaptación exitosas sin disponer de completos y exhaustivos diagnósticos de vulnerabilidad. La adopción de protocolos comparables entre Estados

permitiría transferir experiencias exitosas entre ellos (Ahumada, 2015).

■ 5. Reflexión final

La tarea de dotar a la agricultura de una capacidad de adaptación a un clima más extremo e inestable, requiere de información, métodos de diagnóstico, modelos de evaluación que aporten visión sistémica, elevación de las capacidades humanas para diseñar y gestionar estrategias complejas, de tecnologías de protección de cultivos, de cambios en el uso del suelo, de sistemas de producción complejos y biodiversos, de nuevo material genético resistente y resiliente, de la existencia de canales de intercambio de experiencias y materiales entre regiones, de instituciones que canalicen esta información e intercambios, de una gobernanza local a la altura de la complejidad del proceso de adaptación.

Ningún Estado por sí solo tendrá la capacidad para abordar todas las facetas de un proceso de tal complejidad, razón por la que las instituciones internacionales están en una posición privilegiada para ser agentes catalizadores de un proceso regional donde se sumen éxitos y fracasos, permitiendo a los estados avanzar más rápido en atender a las necesidades de la agricultura local.

Especial énfasis debería ponerse en proveer métodos, técnicas y protocolos unificados que ayuden a la construcción de diagnósticos y evaluaciones de los problemas creados por el cambio climático, bases de datos estandarizados sobre factores de vulnerabilidad biofísica y socio-económica, impactos agrícolas, downscaling y escenarios, protocolos de evaluación, modelos de evaluación de sistemas agrarios, de evaluación de riesgos, modelos de evaluación económica de los impactos y costos de las medidas de adaptación, tecnologías tradicionales probadamente eficaces. En la medida de que exista un esfuerzo sistemático por reunir, validar y estandarizar estos aspectos, los países podrán avanzar más rápido en la implementación de estrategias, sobre bases comparables entre diferentes regiones.

Referencias

- Ahumada R., G. Velázquez, H. Rodríguez, E. Flores, R. Gastélum, J. Romero, A. Granados, 2015 An indicator tool for assessing local vulnerability to climate change in the Mexican agricultural sector. *Mitig Adapt Strateg Glob Change* (Springer), Published on line on 15 July, 2015, DOI 10.1007/s11027-015-9670-z
- Barrow C.J., 2006 *Environmental management for Sustainable Development* (Second Ed.), Routledge, London, New York, 454 p.
- CEPAL 2012, *La economía del Cambio climático en Chile*, 363 pp
- Côté M., P. Martin, J. Gonzales, A. Cardona, 2010 *Mainstreaming Climate Change in Colombia*, “Integrating climate change risks and opportunities into national development processes and United Nations country programming”, United Nations Development Programme. Bogotá
- De Fries, R. y C. Rosenzweig 2010. *Toward a whole-landscape approach for sustainable land use in the tropics*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 19627–32
- FAO, 2007. *Adaptation to climate change in agriculture, forestry and fisheries: Perspective, framework and priorities*, Rome, Italy
- Gobierno de Chile (Ministerios del Medio Ambiente y Agricultura), 2013 *Plan de adaptación al cambio climático del sector silvoagropecuario*. Cooperación Alemana, Santiago, Chile, 65 p.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), 2015 *Cambio climático y agricultura en la República Argentina*, aspectos institucionales y herramientas de información para la formulación de políticas. Buenos Aires, 124 p.
- Kiparsky M., A. Milman, S. Vicuña, 2012, *Climate and Water: Knowledge of Impacts to Action on Adaptation* *Annu. Rev. Environ. Resour.* 2012. 37:163–94
- Ministry of the Environment and Natural Resources (Mexico), 2013 *National Climate Change Strategy*. 10-20-40 Vision, 60 p.
- MMA-MINIAGRI (Chile), 2011 *Portafolio de propuestas para el programa de Adaptación del Sector Silvoagropecuario al cambio climático en Chile*, Ministerio del Medio Ambiente, Ministerio de Agricultura Santiago, 300 p
- ODEPA 2017, *Agricultura chilena, Reflexiones y desafíos al 2030*. 281 pp
- Ortiz R. 2012, *El cambio climático y la producción agrícola*. Banco Interamericano de Desarrollo Unidad de Salvaguardias Ambientales NOTAS TÉCNICAS # ESG-TN-383, 36 pp.
- Santibáñez F., P. Santibáñez, C. Caroca, P. González, P. Perry, 2014, *Atlas del Cambio Climático de las zonas áridas y semiáridas de Chile*, Universidad de Chile, 110 pp
- Valdes C., Ch. Arriola, A. Somwaru, J. Gasques, 2010, *Brazil’s Climate Adaptation Policies: Impacts on Agriculture* (MAPA), IATRC Public Trade Policy Research and Analysis Symposium “Climate Change in World Agriculture: Mitigation, Adaptation, Trade and Food Security” Stuttgart, Germany



Nicolás Bravo M.

CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR PESCA Y ACUICULTURA

Claudio Silva G.

Ingeniero Pesquero, Ph.D. in Marine and Coastal Management (cátedra UNESCO, FCMA-UCA, Cádiz, España)

■ 1. Impactos del cambio climático en el clima, meteorología y oceanografía de Chile

La gran mayoría de los científicos expertos en clima, meteorología y oceanografía está de acuerdo en que las actividades humanas, especialmente la combustión de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) la cual se masifica a partir de la Revolución Industrial, son las responsables de la mayor parte de los cambios e impactos ambientales actualmente observados en la tierra como océanos. El rol del océano es esencial en el equilibrio del clima del planeta: lo regula, absorbiendo el calor y capturando el carbono, ambos generados por actividades humanas, por otro lado, produce el oxígeno que respiramos y es el hábitat de la mayor biodiversidad global siendo ruta migratoria para muchas especies marinas.

A pesar que Chile aporta un porcentaje menor de los gases efecto invernadero globales generados por la combustión de combustibles fósiles, es un país altamente vulnerable al cambio climático. El océano y litoral de Chile, reúne siete de las nueve condiciones frente al impacto del cambio climático establecidos por Naciones Unidas: áreas costeras de baja estatura, zonas áridas y semiáridas, zonas de bosques, propensión a los desastres naturales, sequía y desertificación, zonas urbanas con contaminación atmosférica y ecosistemas montañosos.

Una serie de cambios físicos e impactos en el ecosistema se han observado en el océano y costas tanto a escala global como frente a Chile en estas últimas décadas, los cuales se describen a continuación:

1.1 Calentamiento global y pérdida de masa de hielo continental (glaciares, nieve) y hielo marino (océano Antártico, glaciares y nieve de la cordillera de los Andes, con una mayor frecuencia de altas temperaturas. Las capas de nieve, hielo y glaciares en la Antártica, Chile central y Patagonia han perdido masa debido a su acelerado derretimiento por efecto del calentamiento global (Aguayo et al., 2019; Burger et al.; 2019; Navarro et al., 2018; Wilson et al., 2018; Ragetti et al., 2017; Colavitto et al., 2012; Pizarro et al., 2013; Landaeta et al., 2012; Vicuña et al., 2011). El derretimiento de los glaciares y el caudal de descarga de los ríos tienen una alta influencia en la distribución de nutrientes y en el reciclado del carbono inorgánico disuelto que aumentan la productividad primaria, pero bajan el pH acidificando el océano (Vargas et al., 2018).

1.2. Tendencia al aumento de la temperatura global del océano desde 1970, olas de calor marina, acidificación y desoxigenación del océano. Desde 1993, la tasa de calentamiento del océano es el doble de antes y por lo tanto la absorción de calor de océano se ha duplicado,

atribuido al forzamiento antropogénico principalmente por los efectos de la emisión de gases con efecto invernadero. Este calentamiento global principalmente en el hemisferio norte, contrasta con la tendencia al enfriamiento observada a lo largo de la costa de Chile (Falvey y Garreaud, 2009) se ha relacionado con un fortalecimiento de la surgencia costera producida por los vientos sur predominantes (Garreaud y Falvey, 2009). Dado que los fuertes vientos sur son el resultado de un equilibrio semi-geostrófico entre el gradiente de presión a lo largo de la costa y la fricción superficial (Muñoz y Garreaud, 2005; Rahn y Garreaud, 2013), son sensibles a la expansión hacia el sur del anticiclón subtropical en conexión con el calentamiento climático global de origen antropogénico (Nguyen et al., 2015).

1.3. Olas de Calor Marinas (Marine heatwaves). A escala global, los eventos relacionados con el calor marino han aumentado; las olas de calor marinas (marine heatwaves), son definidas como áreas de la superficie del mar extremadamente cálidas, que persisten durante días, meses e incluso años. Durante el período 1982 a 2016, estas olas de calor han duplicado su frecuencia y se han vuelto más duraderas, más intensas y más extensas (Oliver et al., 2018). Al respecto, en Chile ya se manifestó un evento de olas de calor marinas que duró entre enero y agosto de 2019, y abarcó el área oceánica comprendida entre los

75°-120°W y 30°-55°S (entre Coquimbo y el Cabo de Hornos) (ver Anexo).

1.4. Acidificación del océano. El océano ha absorbido entre el 20 y el 30% de las emisiones antropogénicas totales de CO₂ desde la década de 1980, causando una mayor acidificación del océano. El pH de la superficie del océano abierto ha disminuido en un rango muy probable de 0.017-0.027 unidades de pH por década desde fines de la década de 1980. Estos cambios en el pH han reducido la estabilidad de las formas minerales de carbonato de calcio debido a una disminución de las concentraciones de iones de carbonato, más notablemente en las regiones de surgencia y latitudes altas del océano, como es el caso de Chile. En Chile, la escorrentía de los ríos y la surgencia costera producida por los vientos sur genera afloramiento de bajas temperaturas, incremento del CO₂ y su implicancia en la acidificación de la masa de agua oceánica, modulando la disponibilidad y aumento de la abundancia del plancton dominante (ejemplo: Floraciones de Algas Nocivas [FAN]) dado los rasgos funcionales, por ejemplo, durante el evento ácido cálido El Niño 2015 (Aguilera et al., 2019; Lagos et al., 2016; Lardies et al., 2017; Vargas et al., 2016; Iriarte et al., 2016).

1.5. Desoxigenación del océano. A escala global, las series históricas de datos que abarcan un período de 40 años que van desde 1970 hasta 2010, muestran que el

océano abierto ha perdido oxígeno en un rango muy probable de 0.5–3.3% sobre los 1000 m superiores, junto con una expansión del volumen de las Zonas de Mínimas de Oxígeno (ZMO) en un 3–8% (Cabré et al., 2015). La pérdida de oxígeno se debe principalmente al aumento de la estratificación oceánica, cambios de ventilación y de biogeoquímica.

1.6. Tendencia al aumento del Nivel Medio global del Mar. El nivel medio del mar ha tenido una marcada aceleración en las últimas décadas debido a las crecientes tasas de pérdida de hielo (Groenlandia y Antártida), aumentos en los vientos y olas extremas y expansión térmica del océano, exacerbando eventos extremos del nivel del mar (por ejemplo, marejadas, meteotsunami, tormentas, otros) y los riesgos costeros asociados (Winkler et al., 2019). Las estimaciones del cambio en el nivel medio del mar en la costa chilena entre 1994 y 2015, revelaron que Chile no sigue estrictamente la tendencia global de las últimas dos décadas ($\sim 3\text{mm año}^{-1}$), sino un ligero aumento (de 1.2 a 0.6mm año^{-1}) del nivel del mar (Montecino et al., 2017).

1.7. Tendencia al aumento de las alturas de olas extremas, que contribuyen a los eventos extremos del nivel del mar como marejadas, la erosión costera y las inundaciones, han aumentado en alrededor de 1.0 cm año^{-1} y 0.8

cm año^{-1} durante el período 1985–2018. La pérdida de hielo marino en el Ártico también ha aumentado las alturas de las olas durante el período 1992–2014. En Chile, los análisis del comportamiento de largo plazo de los parámetros de oleaje y de los eventos identificados, muestran una tendencia al aumento del valor de la altura significativa y disminución de la dirección de incidencia del oleaje (Campos, 2016). De mantenerse este comportamiento, dentro de los próximos 100 años se producirían aumentos de 30 cm en la altura significativa del oleaje (Cofré y Beyá, 2016).

1.8. Cambios en el rango de distribución espacial y estacional de varias especies como respuesta a las variaciones en las temperaturas del océano, a los cambios en el hielo y a los cambios biogeoquímicos como la acidificación y pérdida de oxígeno en sus hábitats marinos. Los cambios ecológicos en las especies han resultado en variaciones en su composición, abundancia y producción de biomasa de los ecosistemas, desde el ecuador hasta los polos. Las interacciones alteradas entre especies han causado impactos en cascada sobre la estructura y el funcionamiento del ecosistema que provoca que las especies se vean afectadas tanto por los efectos de la sobrepesca como por los cambios climáticos. En algunas áreas, las condiciones cambiantes del océano han contribuido a la expansión del hábitat apto y / o al aumento de la abundancia (número)

y biomasa (peso) de algunas especies (Jones and Cheung, 2015; Cheung and Pauly, 2016; Molinos et al., 2016). Son evidentes las tasas de desplazamiento hacia los polos en las distribuciones en diferentes especies marinas desde la década de 1950 son de 52 ± 33 km por década y 29 ± 16 km por década para organismos en los ecosistemas epipelágicos (superiores a 200 m de la superficie del mar) y de fondo marino, respectivamente (Poloczanska et al., 2016). La velocidad y la dirección de los cambios observados en las distribuciones están determinadas por la temperatura local, oxígeno disponible y las corrientes oceánicas a través de gradientes de profundidad, latitud y longitud (Poloczanska et al., 2013, 2016). Los Sistemas de Surgencia de Borde Oriental (SSBO) o Eastern Boundary Upwelling Systems (EBUS), se encuentran entre los ecosistemas oceánicos más productivos del planeta. Sin embargo, el aumento de la acidificación de los océanos y la pérdida de oxígeno están afectando negativamente a dos de los cuatro principales SSBO: Corriente de California (CC) y Corriente de Humboldt (CH).

En la Chile, tenemos ejemplos actuales de cambio en el rango de distribución geográfica de la Jibia (*Dosidicus gigas*), una especie y pesquería muy importante tanto para el sector artesanal como para las plantas de proceso. Lleva prácticamente un año con bajos o casi nulos niveles de captura y su distribución geográfica frente a Chile no

se puede anticipar. La distribución espacial de la Jibia depende de las condiciones ambientales que definen su hábitat natural. De este modo, el efecto combinado de la temperatura del mar, niveles de oxígeno y disponibilidad de alimento permite estimar las tasas de crecimiento y el comienzo de la madurez, definiendo así la longevidad y talla máxima de la Jibia. Este calamar podría beneficiarse indirectamente de la expansión de las ZMO debido a la agregación de su fuente principal de alimento, los peces micófilos (Stewart et al., 2014). Sin embargo, muchos peces e invertebrados no adaptados (como los migradores diurnos verticales) tendrán sus distribuciones de profundidad comprimidas y acotadas, lo que afectará el transporte de carbono y la eficiencia trófica de las redes alimentarias en la mesopelágica (Stramma et al., 2011; Brown y Thatje, 2014; Rogers, 2015). Además, a medida que la ZMO se expande, puede existir la posibilidad de una mayor disponibilidad y cosecha de especies tolerantes a la hipoxia, como la Jibia, thornyheads (*Sebastolobus* spp.) y dover sole (*Microstomus pacificus*) (Gilly et al., 2013; Gallo and Levin, 2016).

1.9. Disminución en el flujo de caudal y escorrentía de ríos. La descarga de agua dulce de los ríos aporta gran cantidad de nutrientes y aumenta la biomasa fitoplanctónica en las áreas adyacentes a las desembocaduras de los ríos. Desde mediados del siglo XX, la disminución de la

criósfera (nieve, glaciares) y precipitaciones han tenido un efecto negativo en la cantidad y estacionalidad de la escorrentía y recursos de agua de nieve. Esta disminución en el aporte de agua dulce de los ríos ha tenido un impacto predominantemente negativo en la seguridad alimentaria, los recursos hídricos, la calidad del agua, la salud y el bienestar, la infraestructura, el transporte, el turismo y la recreación, así como la cultura, particularmente para los pueblos originarios (Pérez et al., 2015, 2016, Vuille et al., 2018).

■ 2. Impactos del cambio climático en la pesca y acuicultura

El océano genera más 150 millones de trabajos en pesca y acuicultura y muchos más empleos indirectos en actividades relacionadas con el mar. Sin embargo, el impacto del cambio climático es una amenaza para la sostenibilidad de la pesca y acuicultura, y de los millones de personas en el mundo que dependen de estos servicios ecosistémicos.

Como se pudo ver en el punto 1.8, el principal impacto actual del cambio climático en el ecosistema marino de los recursos pesqueros es que modifica las condiciones abióticas y bióticas de su hábitat esencial, y por tanto hay variaciones (migraciones) en su distribución geográfica, abundancia, biomasa y ciclo de vida. Por cierto, estos

cambios en las condiciones del hábitat también afectan la calidad de agua y producción de los centros de cultivos, principalmente asociados a procesos de desoxigenación (pérdida de oxígeno disuelto en el mar) y floraciones de algas nocivas que generan fuertes impactos sociales, económicos, ambientales, sanitarios y por lo tanto graves pérdidas monetarias.

Por otro lado, los impactos más evidentes del cambio climático y que actualmente lo están sufriendo los pescadores artesanales en Chile, dicen relación con la disminución de los días efectivos de pesca debido a la reducción meteorológica generada por el aumento en la frecuencia e intensidad de eventos extremos de velocidad de viento y nivel del mar, tales como marejadas, meteotsunami, tormentas, trombas, otros. Estos eventos abruptos del nivel del mar asociados al cambio climático, impactan tanto las operaciones de pesca como la infraestructura y equipamiento costero, disminuyendo así la producción e ingresos para las comunidades costeras.

Para identificar los efectos actuales del cambio climático sobre sus operaciones productivas de pesca y acuicultura desarrollada por comunidades de pescadores artesanales en Chile, en el presente artículo se considera la información levantada en talleres participativos con los pescadores de 4 caletas piloto (Riquelme-Iquique,

Tongoy-Coquimbo, Coliumo-Concepción y El Manzano-Hualaihue), donde se identificaron, seleccionaron y validaron, según la percepción de los pescadores, los impactos y variables (operacionales y hábitat) que actualmente tienen un efecto sobre las operaciones de la pesca artesanal y acuicultura de pequeña escala (APE). El levantamiento de la información fue realizado en los proyectos FAO 07-2018 y FAO 12-2018 que se ejecutan actualmente dentro del marco del proyecto GEF-FAO 2018-2021.

A continuación, se describen los principales impactos operacionales y de hábitat que afectan los recursos pesqueros y acuícolas en Chile, los cuales están relacionados con los cambios e impactos.

Impactos operacionales

i) Disminución de los tiempos totales de operación en el mar. Los pescadores evidencian un incremento en la reducción meteorológica causada por condiciones de tiempo adversas a las operaciones extractivas, lo que se traduce en una reducción en los tiempos totales de operación, en los ingresos y en la rentabilidad de las pesquerías. El aumento de días con malas condiciones de mar es evidenciado por las comunidades de pescadores, principalmente debido a una mayor frecuencia de eventos extremos, tales como marejadas con cierres

de puerto, fuertes vientos, aumentos del nivel del mar y oleaje, tormentas, meteotsunamis, trombas, aluviones e inundaciones, erosión costera, entre otros.

ii) Aumento de daños en infraestructura y equipamiento de caletas pesqueras. Las tendencias de cambio climático manifestadas en el aumento del nivel del mar y de las alturas de olas, intensifican los eventos extremos y el riesgo a desastres naturales en las zonas costeras, donde habitan y desarrollan sus actividades productivas tanto pescadores como acuicultores. Se evidencia una mayor frecuencia de estos eventos extremos de oleaje en el borde costero que han impactado en la infraestructura y equipamiento de las caletas pesqueras, generando daños o destrucción de muelles y embarcaciones, daños en costaneras y obras de abrigo por sobrepasos, inundaciones en explanadas y cuartos, pérdida de aparejos de pesca, entre otros.

iii) Aumento del tiempo de las salidas (marea) de pesca. Dados los cambios en las condiciones abióticas del hábitat y en la distribución espacial de los recursos pesqueros, los tiempos de búsqueda y navegación son mayores, lo que implica mayores costos de operación y menor rentabilidad. Por ejemplo, la jibia y reineta cambiaron su distribución espacial y caladeros de pesca tradicionales, generando altos costos para los pescadores,

industriales, plantas de proceso y para las comunidades aledañas.

Impactos en el hábitat esencial

iv) Cambios en la distribución espacial, abundancia y biomasa de los recursos acuáticos. Todas las caletas, excepto Tongoy, manifestaron que se observa un aumento de la temperatura del mar que cambia las condiciones abióticas del hábitat de las especies generando cambios en la distribución espacial, abundancia y biomasa de los recursos pesqueros que habitualmente explotan. Por ejemplo, la distribución espacial de la anchoveta y sardina común se asocia a la presencia de aguas frías surgentes. En el caso de Tongoy, manifestaron que se observa con mayor frecuencia una disminución de las temperaturas debido al aumento en la frecuencia de vientos sur fuertes que generan surgencia de aguas frías que reducen la captación de semillas y el crecimiento del Ostión del Norte en y por otra parte los individuos crecen más lento debido al enfriamiento de las aguas. Esta percepción de los pescadores y acuicultores APE, está en concordancia con lo observado respecto a cambios físicos e impactos en el océano y costas tanto a escala global como frente a Chile.

El aumento de la turbidez en las áreas extractivas

costeras y caladeros de pesca por efecto de mayores surgencias costeras generadas por el viento que producen afloramiento de algas, eso sumado a la escorrentía de sedimentos esteros por los ríos o inundaciones y aluviones (ejemplo Tongoy, El Manzano), genera un cambio en el hábitat y caladeros de los recursos pesqueros, limitando las capturas y la rentabilidad.

Los patrones actuales de calentamiento de los océanos están conduciendo a la desoxigenación (hipoxia) de los océanos, causando la expansión y la formación de ZMO's, afectando la distribución y diversidad de peces demersales y las tramas tróficas en los márgenes afectados. Se espera una compresión del hábitat para las especies intolerantes a la hipoxia, lo que aumenta la susceptibilidad a la sobrepesca de las especies pesqueras. Las pesquerías demersales corren riesgo de ser fuertemente afectadas en general por la expansión de las ZMO. Al respecto, las Caletas pesqueras de Tongoy y Coliumo manifestaron que la desoxigenación es un problema/impacto actual que afecta sus actividades productivas como la pesca y cultivo de moluscos bivalvos. Investigaciones han evidenciado que los invertebrados marinos que habitan en los ecosistemas de surgencia costera en Chile muestran respuestas aditivas pero negativas a la hipoxia y al alto CO₂ y una resistencia relativamente relativa a los efectos combinados de los estresores como la desoxigenación y

acidificación asociada al cambio climático (Steckbauer et al., 2015).

El significativo aporte de nutrientes de la escorrentía de ríos a las aguas costeras de la zona centro-sur de Chile es muy relevante para la sobrevivencia y crecimiento de larvas de peces y recursos bentónicos de diferentes taxas, ya que mantienen una alta productividad primaria durante fines de invierno e inicios de primavera, contribuyendo así al bajo aporte de la surgencia en esta estación y coincidiendo con los reclutamientos de varias especies de peces (Castro et al., 2000; Landaeta et al., 2008, 2015; Vargas et al., 2006; Castro et al., 2000; Salamanca y Pantoja, 2009). Sin embargo, el impacto del cambio climático en la mega-sequía (2010-2019) ha generado una disminución consistente en el flujo de caudal y escorrentía de los ríos Maipo y Mataquito, reduciendo el aporte de nutrientes y la biomasa fitoplanctónica en las áreas costeras influenciadas por estos afluentes.

v) Aumento en la mortalidad de salmones en cultivo y eventos de toxicidad en moluscos bivalvos.

La interacción entre el calentamiento, aumento de carga de nutrientes (acidificación) y la hipoxia (desoxigenación) ha demostrado estar relacionada con el aumento de las Floraciones de Algas Nocivas (Anderson et al., 2015; Paerl et al., 2018b) y bacterias patógenas como las es-

pecies *Vibrio* (Baker-Austin et al., 2017; Kopprio et al., 2017). Chile también está siendo afectado con mayor frecuencia por eventos FAN. Durante 2015 y 2016 un fuerte y prolongado evento El Niño que tuvo los siguientes impactos en el mar de la Patagonia chilena: reducción flujo occidental (registro histórico más bajo); persistentes condiciones anticiclónicas en el Pacífico Sudeste y Sud América; disminución en la entrada de agua dulce al sistema; debilitamiento de estratificación en capa superior; aumento en la advección vertical de aguas salinas ricas en nutrientes; y como resultado se incrementa de forma explosiva la floración de *Pseudochattonella* cf. *Verruculosa*, alcanzando altísimas concentraciones celulares de esta microalga (Leon-Muñoz et al., 2018).

Impactos futuros: modelos ecosistémicos

Los resultados de los modelos ecosistémicos indican que los recursos pelágicos (es decir, especies que viven en aguas medias o cerca de la superficie), como la anchoveta y la sardina común, verían disminuida significativamente su abundancia y habría una sustantiva pérdida del hábitat al año 2055. Se espera que recursos como el jurel y el pez espada se distribuyan más al sur.

En el caso de recursos bentónicos, se predice un aumento en idoneidad hacia áreas costeras localizadas más al sur,

al sur de los 35° S para el loco (a la altura de Talca), y de los 42° S para el chorito (a la altura de Puerto Montt); mientras que para las macroalgas pardas se proyecta una mantención del hábitat esencial. Para los crustáceos y moluscos enterradores existe poca y escasa información acerca de su respuesta frente a los forzantes de cambio climático. Los estudios realizados en macroalgas, especialmente en la zona sur austral no muestran impactos.

Se espera una reducción en la rentabilidad de la pesquería, dados los costos de adaptación, seguridad y reconstrucción. Se espera también el aumento de la vulnerabilidad de los hogares costeros y de las familias dedicadas a la pesca, motivando en algunos casos a dejar la actividad o mudarse a otros lugares. Asimismo, se espera que las poblaciones migren dentro y fuera de la zona económica exclusiva (ZEE) y de las zonas insulares, ubicadas hasta 200 millas de la costa de Chile, áreas en la que cada país tiene derechos exclusivos de explotación y exploración.

Referencias

- Aguayo, R., León-Muñoz, J., Vargas-Baccheler, Montecinos, A., Gareaud, R., Urina, M., Soto, D & J I Iriarte. The glass half-empty: climate change drives lower freshwater input in the coastal system of the Chilean Northern Patagonia. *Climatic Change* (2019) 155: 417. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02495-6>
- Aguilera, C.M.; Escribano, R.; Vargas, C.A.; González, M.T. 2019. Upwelling modulation of functional traits of a dominant planktonic grazer during “warm- acid” El Niño 2015 in a year-round upwelling area of Humboldt Current. *PLoS ONE* 14 (1): e0209823. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209823>
- Aguilera, V.M., C.A. Vargas, M.A. Lardies & M.J. Poupin. 2015. Adaptive variability to low-pH river discharges in *Acartia tonsa* and stress responses to high PCO₂ conditions. *Marine Ecology* 37: 215-226.
- Anderson, C. R. et al., 2015: Living with harmful algal blooms in a changing world: strategies for modeling and mitigating their effects in coastal marine ecosystems. Elsevier BV, Amsterdam, 495-561.
- Bacigalupe, L.D., Juan D. Gaitan-Espitia, Aura M. Barria, Avia Gonzalez-Mendez, Manuel Ruiz-Aravena, Mark Trinder and Barry Sinervo Natural selection on plasticity of thermal traits in a highly seasonal environment. *Evolutionary Applications*. DOI: 10.1111/eva.12702
- Baker-Austin, C. et al., 2013: Emerging *Vibrio* risk at high latitudes in response to ocean warming. *Nature Climate Change*, 3 (1), 73-77, doi:10.1038/NCLIMATE1628.
- Barria, A.M., Bacigalupe L.D., Lagos N.A., Lardies M.A. 2018. Thermal physiological traits and plasticity of metabolism are sensitive to biogeographic breaks in a rock-pool marine shrimp. *Journal of Experimental Biology*. DOI: 10.1242/jeb.181008
- Benítez, S., C. Duarte, J. López, P.H. Manríquez, J.M. Navarro, C.C. Bonta, R. Torres & P.A. Quijón. 2016. Ontogenetic variability in the feeding behavior of a marine amphipod in response to ocean acidification. *Marine Pollution Bulletin*. DOI:org/10.1016/j.marpolbul.2016.07.016
- Benítez, S.; Duarte, C.; Opitz, T.; Lagos, N.A.; Pulgar, J.M. Vargas, C.A.; Lardies, M.A. (2017) Intertidal pool fish *Girella laevis* (Kyphosidae) shown strong physiological homeostasis but shy personality: The cost of living in hypercapnic habitats. *Marine Pollution Bulletin* 18: 57 – 63. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2017.02.011
- Blander, K., Cochran, K., Barange, M. & D. Soto. 2018. Climate Change Implications for Fisheries and Aquaculture. In: B. Phillips and M. Perez-Ramirez (Eds.). *Climate Change Impacts on Fisheries and Aquaculture: Global Analysis*. First Edition. John Wiley & Sons Ltd., pp 45-62.
- Broitman, B.R., M.A. Aguilera, N.A. Lagos and M.A. Lardies (2018) Phenotypic plasticity at the edge: contrasting population-level responses at the overlap of the leading and rear edge of the geographic distribution of two *Scurria* limpets. *Journal of Biogeography*. DOI:10.1111/jbi.13406
- Broitman, B.; Halpern, B.; Gelcich, S.; Lardies, M.; Vargas, C.; Vásquez, F.; Widdicombe, S.; Birchenough, S. (2017) Dynamic Interactions among Boundaries and the Expansion of Sustainable Aquaculture. *Frontiers in Marine Science* 4: 15. DOI: 10.3389/fmars.2017.0001
- Brown, A. and S. Thatje, 2014: The effects of changing climate on faunal

depth distributions determine winners and losers. *Global Change Biology*, 21 (1), 173-180, doi:10.1111/gcb.12680.

Bueno, P. & D. Soto. 2017. Adaptation strategies of the aquaculture sector to the impacts of climate change. 2017. FAO Circular 1142, 22 pp. <http://www.fao.org/3/a-i6943e.pdf>

Burger, F. et al., 2019: Interannual variability in glacier contribution to runoff from a high-elevation Andean catchment: understanding the role of debris cover in glacier hydrology. *Hydrological Processes*, 33 (2), 214-229, doi:10.1002/hyp.13354.

Cabré, A.; Marinov, I.; Bernardello, R.; Bianchi, D. 2015 Oxygen minimum zones in the tropical Pacific across CMIP5 models: mean state differences and climate change trends. *Biogeosciences*, 12 (18). 5429-5454. <https://doi.org/10.5194/bg-12-5429-2015>

Campos, Rodrigo. 2016. Análisis de Marejadas Históricas y recientes en las costas de Chile. Memoria de Título de Ingeniería Civil Oceánica de la Universidad de Valparaíso.

Castilla, J.; Godoy, N.; Tapia, S.; Donlan, C.; Cinner, J.; Gelcich, S. (2017) Fishers' Perceptions On The Chilean Coastal Turf System After Two Decades: Problems, Benefits, And Emerging Needs. *Bulletin Of Marine Science* 53(1): 53-67. DOI: 10.5343/bms.2015.1082.

Castillo, N.; Saavedra, L.M.; Vargas, C.A.; Gallardo-Escárate, C.; Detree, C. (2017) Ocean acidification and pathogen exposure modulate the immune response of the edible mussel *Mytilus chilensis*. *Fish and Shellfish Immunology* 70C: 149-155.

Castro, L. R., Salinas, G. R., and Hernández, E. H. (2000). Environmental influences on winter spawning of the anchoveta *Engraulis ringens* off central Chile. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 197, 247–258. doi: 10.3354/meps197247.

Cheung, W. W. L. and D. Pauly, 2016: Impacts and Effects of Ocean Warming on Marine Fishes. 239-253.

Cinner, JE, Adger WN, Allison EH, Barnes ML, Brown K, Cohen PJ, Gelcich S, Hicks CC, Hughes TP, Lau J, Marshall NA, Morrison TH (2018) Building adaptive capacity to climate change in tropical coastal communities. *Nature Climate Change* 8: 117-123.

Cochrane, K., C. De Young, D. Soto & T. Bahri (Eds.). 2009. Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No 530. <http://www.fao.org/3/i0994e/i0994e00.htm>

Cofré, C. & J. Beyá. 2016. Proyecciones y tendencias en el clima de oleaje en las costas chilenas bajo escenarios de cambio climático. VII Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria. Sociedad Chilena de Ingeniería Hidráulica. San Antonio, 26 al 28 de octubre de 2016, 15 pp.

Colavitto, B., D. Orts and A. Folguera, 2012: El caso del ourburst flood histórico de la laguna Derrumbe, Cholila, Chubut. Colpaso de dique morénico en la Cordillera Norpatagónica. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 69 (3), 457-465.

Crona, B.; Gelcich, S.; Bodin, O. (2017) The Importance Of Interplay Between Leadership And Social Capital In Shaping Outcomes Of

Rights-Based Fisheries Governance. *World Development* 91:70-83. DOI: 10.1016/j.worlddev.2016.10.006

Cuevas, L.A.; Tapia, F.J.; Iriarte, J.L.; González, H.E.; Silva, N.; Vargas, C.A. 2019. Interplay between freshwater discharge and oceanic waters modulates phytoplankton size-structure in fjords and channel systems of the Chilean Patagonia. *Prog. Oceanogr.* 173: 103-113.

De Silva, S. & Soto, D. 2009. Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. In: K. Cochrane, C. De Young, D. Soto & T. Bahri (Eds.). *Climate change implications for fisheries and aquaculture: overview of current scientific knowledge*. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, No. 530. Rome, FAO. pp. 151-212. <http://www.fao.org/3/i0994e/i0994e00.htm>.

Díaz, R.; Lardies, M.A.; Tapia, F.J.; Tarifeño, E.; Vargas, C.A. Transgenerational effects of pCO₂-driven Ocean Acidification on adult mussels *Mytilus chilensis* modulate physiological response to multiple stressors in larvae. *Frontiers in Physiology* 9, 1349. DOI: 10.3389/fphys.2018.01349

Duarte, C., J. López, S. Benítez, P.H. Manríquez, J.M. Navarro, C.C. Bonta, R. Torres, P. Quijón. 2015. Ocean acidification induces changes in algal palatability and herbivore feeding behavior and performance. *Oecologia*. DOI:10.1007/s00442-015-3459-3.

DUARTE C., D. LONCON, J.M. NAVARRO, P. QUIJON, R. TORRES, P.H. MANRIQUEZ, M. LARDIES, C.A. VARGAS, LAGOS N.A. 2018. The energetic physiology of juvenile mussels, *Mytilus chilensis* (Hupé): the prevalent role of salinity under current and predicted pCO₂ scenarios. *Environmental Pollution* 242: 156 - 163

Falvey, M., & Garreaud, R. (2009). Regional cooling in a warming world: recent temperature trends in the southeast Pacific and along the west coast of subtropical South America (1979–2006). *Journal of Geophysical Research*, 114. D04102.

FAO, 2018. *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Rome.

Fernández, J., R. Ponce, F. Vásquez, Y. Figueroa, S. Gelcich, J. Dresdner Exploring typologies of artisanal mussel seed producers in southern Chile. *Ocean and Coastal Management* 158: 24-31.

Flores, C.F., B.R. Broitman, D. Salazar and E. Gayó. δ18O of *Fissurella maxima* as a proxy for reconstructing Early Holocene sea surface temperatures in the coastal Atacama desert (25°S). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 499: 22-34. DOI:10.1016/j.palaeo.2018.03.031

Gaitán-Espitia, J.; Bacigalupe, L.; Opitz, T.; Lagos, N.; Osorio, S.; Lardies, M. (2017) Exploring physiological plasticity and local thermal adaptation in an intertidal crab along a latitudinal cline. *Journal of Thermal Biology* 68: 14-20. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2017.02.011

Gaitán-Espitia, J.D., L.D. Bacigalupe, T. Opitz, N.A. Lagos, T. Timmermann, M.A. Lardies. 2014. Geographic variation in thermal physiological performance of the intertidal crab *Petrolisthes violaceus* along a latitudinal gradient. *The Journal of Experimental Biology*. 217: 4379-4386.

Gallo, N. D. and L. A. Levin, 2016: Fish Ecology and Evolution in the World's Oxygen Minimum Zones and Implications of Ocean Deoxygenation. *Advances in Marine Biology*, Vol 58, 74, 117-198, doi:10.1016/bs.amb.2016.04.001.

García-Huidobro, M.R.; M. Aldana; C. Duarte; C. Galbán-Malagón and J. Pulgar. 2017. Seawater-temperature and UV-radiation interaction modifies oxygen consumption, digestive process and growth of an intertidal fish. *Marine Environmental Research*. DOI: 10.1016/j.marenvres.2017.06.013

Garreaud, R. D., & Falvey, M. (2009). The coastal winds off western subtropical South America in future climate scenarios. *International Journal of Climatology*, 29, 543–554.

Gelcich, S., J. Cinner, C.J. Donlan, S. Tapia-Lewin, N. Godoy & J.C. Castilla. 2016. Fishers' perceptions on the Chilean coastal TURF system after two decades: problems, benefits, and emerging needs. *Bulletin of Marine Science*. DOI.org/10.5343/bms.2015.1082

Gelcich, S., L. Peralta, C.J. Donlan, N. Godoy, V. Ortiz, S. Tapia-Lewin, C. Vargas, A. Kein, J.C. Castilla, M. Fernández & F. Godoy. 2015. Alternative strategies for scaling up marine coastal biodiversity conservation in Chile. *A Journal of the Human Environment*. DOI:10.1186/s40152-015-0022-0

Gelcich, S., Reyes-Mendy F, Arriagada R, Castillo B (2018) Assessing the implementation of marine ecosystem based management into national policies: Insights from agenda setting and policy responses. *Marine Policy* 92: 40-47.

Gilly, W. F., J. M. Beman, S. Y. Litvin and B. H. Robison, 2013: Oceanographic and Biological Effects of Shoaling of the Oxygen Minimum Zone. *Annual Review of Marine Science*, 5 (1), 393-420, doi:10.1146/annurev-marine-120710-100849.

Harvey, B., Soto, D., Carolsfeld, J., Beveridge, M. & Bartley, D.M. (Eds.). 2017. Planning for aquaculture diversification: the importance of climate change and other drivers. *FAO Technical Workshop, 23–25 June 2016*, FAO, Rome. *FAO Fisheries and Aquaculture Proceedings No. 47*. Rome, FAO. 166 pp. <http://www.fao.org/3/a-i7358e.pdf>

Hasan, M.R. & Soto, D. 2017. Improving feed conversion ratio and its impact on reducing greenhouse gas emissions in aquaculture. *FAO Non-Serial Publication*. Rome, FAO. 33 pp. <http://www.fao.org/3/a-i7688e.pdf>

Hurd, C.L., C.E. Cornwall, S. Dupont, J.P. Gattuso, O. Hoegh-G, K. Gao, N.A. Lagos. 2015. Ocean acidification: Laboratory seawater studies are justified. *Nature*. 525, 187.

IPCC, 2018: Global Warming of 1.5° C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 1.5° C Above Pre-industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the Context of Strengthening the Global Response to the Threat of Climate Change, Sustainable Development, and Efforts to Eradicate Poverty. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Iriarte, J.L., J. León-Muñoz, R. Marcé, A. Clément & C. Lara. 2016. Influence of seasonal freshwater streamflow regimes on phytoplankton blooms in a Patagonian fjord. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*. DOI.org/10.1080/00288330.2016.1220955

Jacob, B.G.; Von Dassow, P.; Salisbury, J.E.; Navarro, J.M.; Vargas, C.A. (2017) Impact of low pH/high pCO₂ on the physiological response and fatty acid content in diatom *Skeletonema pseudocostatum*. *Journal of*

The Marine Biological Association of United Kingdom, 97(1): 125 – 133.
DOI: 10.1017/s0025315416001570

JARAMILLO E, MELNICK D, BAEZ JC, MONTECINO H, LAGOS NA, ACUÑA E, ET AL. (2017) Calibrating coseismic coastal land-level changes during the 2014 Iquique (Mw=8.2) earthquake (northern Chile) with leveling, GPS and intertidal biota. *PLoS ONE* 12(3): e0174348. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0174348>.

Jones, M. C. and W. W. L. Cheung, 2015: Multi-model ensemble projections of climate change effects on global marine biodiversity. *Ices Journal of Marine Science*, 72 (3), 741-752, doi:10.1093/icesjms/fsu172.

Kopprio, G. A. et al., 2017: Biogeochemical and hydrological drivers of the dynamics of *Vibrio* species in two Patagonian estuaries. *Sci Total Environ*, 579, 646-656, doi:10.1016/j.scitotenv.2016.11.045.

Lagos, N.A., S. Benítez, C. Duarte, M. A. Lardies, B. R. Broitman, C. Tapia, P. Tapia, S. Widdicombe and C. A. Vargas. 2016. Effects of temperature and ocean acidification on shell characteristics of *Argopecten purpuratus*: implications for scallop aquaculture in an upwelling-influenced area. *Aquaculture Environment Interactions*. 8: 357–370.

Landaeta, M. F., Contreras, J. E., Bustos, C. A., and Muñoz, G. (2015). Larval growth of two lanternfishes at nearshore waters from an upwelling zone based in the otolith microstructure analysis. *J. Appl. Ichthyol.* 31, 106–113. doi: 10.1111/jai.12639.

Lara, C., G.S. Saldías, F.J. Tapia, J.L. Iriarte, B.R. Broitman. 2016. Interannual variability in temporal patterns of Chlorophyll-a and their

potential influence on the supply of mussel larvae to inner waters in northern Patagonia (41–44° S). *Journal of Marine Systems*. 155: 11–18.

Lardies, M.A., M. B. Arias, M. J. Poupin, P. H. Manríquez, R. Torres, C. A. Vargas, J.M. Navarro, N. A. Lagos. 2014. Differential response to ocean acidification in physiological traits of *Concholepas concholepas* populations. *Journal of Sea Research*. 90: 127–134.

Lardies, M.; Benitez, S.; Osoreo, S.; Vargas, C.; Duarte, C.; Lohrmann, K.; Lagos, N. (2017) Physiological and histopathological impacts of increased carbon dioxide and temperature on the scallops *Argopecten purpuratus* cultured under upwelling influences in northern Chile. *Aquaculture* 479: 455-466. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2017.06.008

León-Muñoz, Urbina, M, Iriarte J, Garreaud R. 2018. Hydroclimatic conditions trigger record harmful algal bloom in western Patagonia (summer 2016). *Scientific Reports* 8 (1330):1–10.

Mal, S., R. B. Singh, C. Huggel and A. Grover, 2018: Introducing Linkages Between Climate Change, Extreme Events, and Disaster Risk Reduction. In: *Climate Change, Extreme Events and Disaster Risk Reduction: Towards Sustainable Development Goals* [Mal, S., R. B. Singh and C. Huggel (eds.)]. Springer International Publishing, Cham, 1-14.
MANRÍQUEZ PH, JARA ME, MARDONES ML, TORRES R, LAGOS NA, LARDIES MA, VARGAS CA, DUARTE C, NAVARRO JM (2014) Effects of ocean acidification on larval development and early post hatching larval traits in *Concholepas* (loco). *Marine Ecology Progress Series* 214:87-103.

MANRIQUEZ PH., JARA ME., MARDONES L., NAVARRO JM.,

TORRES R., LARDIES MA., VARGAS CA., DUARTE C., WIDDICOMBE S., SALISBURY J., & LAGOS NA. 2013. Ocean acidification affects prey-predator interactions but not net prey shell growth. *PLOS ONE* 8(7): e68643. doi:10.1371/journal.pone.0068643.

Martinez-Harms, M.J., Gelcich S, Krug RM, Maseyk FJE, Moersberger H, Rastogi A, Wambugu G, Krug CB, Spehn EM, Pascual U (2018) Framing natural assets for advancing sustainability research: translating different perspectives into actions. *Sustainability Science* 131519–1531. <https://doi.org/10.1007/s11625-018-0599-5>

Molinos, J. G. et al., 2016: Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. *Nature Climate Change*, 6 (1), 83–+, doi:10.1038/NCLIMATE2769.

Moloney, S., H. Fünfgeld and M. Granberg, 2017: *Local Action on Climate Change: Opportunities and Constraints*. Routledge.

Montecino, H. D. C., Ferreira, V. G., Cuevas, A., Cabrera, L. C., Báez, J. C. S., & De Freitas, S. R. C. (2017). Vertical deformation and sea level changes in the coast of Chile by satellite altimetry and tide gauges. *International Journal of Remote Sensing*, 38(24), 7551–7565. doi:10.1080/01431161.2017.1288306.

Morchain, D., 2018: Rethinking the framing of climate change adaptation: knowledge, power, and politics. In: *A Critical Approach to Climate Change Adaptation*. Routledge.

Muñoz, R. C., & Garreaud, R. D. (2005). Dynamics of the low-level jet off the west coast of subtropical South America. *Monthly Weather*

Review, 133, 3661–3677.

NAVARRO J., DUARTE C., MANRIQUEZ PH., TORRES R., VARGAS C., LARDIES MA & LAGOS NA (2013) Impact of medium-term exposure to elevated pCO₂ levels on the physiological energetics of the mussel *Mytilus chilensis*. *Chemosphere* 90:242–1248.

Navarro, F., H. Andrés, F. Acuña and F. José, 2018: Glaciares rocosos en la zona semiárida de Chile: relevancia de un recurso hídrico sin protección normativa. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27 (2), 338-355, doi:10.15446/rcdgv27n2.63370.

Nakandakari, A.; Caillaux, M.; Zavala, J.; Gelcich, S.; Ghersi, F. (2017) The Importance Of Understanding Self-Governance Efforts In Coastal Fisheries In Peru: Insights From La Isilla And Ilo. *Bulletin Of Marine Science* 93(1): 199-216. DOI: 10.5343/bms.2015.1087.

Narváez, D. A; Vargas, C.A; Cuevas, A, García-Loyola, S.A; Lara, C. Segura, C; Tapia, F.J; Broitman, B.R. Dominant scales of subtidal variability in coastal hydrography of the Northern Chilean Patagonia. *Journal of Marine Systems*, Volume 193, May 2019, Pages 59-73. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.12.008>

Navarro, J.M., C. Duarte, P.H. Manríquez, M.A. Lardies, R. Torres, K. Acuña, C.A. 2016. Ocean warming and elevated carbon dioxide: multiple stressor impacts on juvenile mussels from southern Chile. *Journal of Marine Science*. 73(3): 764–771.

Nguyen, L. D., K. Raabe and U. Grote, 2015: Rural–urban migration, household vulnerability, and welfare in Vietnam. *World Development*,

71, 79-93.

Oliver, E. C. J. et al. Longer and more frequent marine heatwaves over the past century. *Nat. Commun.* 9, 1324, 1–12 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03732-9>

Osores, S.; Lagos, N.; San Martín, V.; Manríquez, P.; Vargas, C.; Torres, R.; Navarro, J.; Poupin, M.J.; Saldías, G.; Lardies, M. (2017) Plasticity and inter-population variability in physiological and life-history traits of the mussel *Mytilus chilensis*: A reciprocal transplant experiment, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 490: 1-12. DOI: 10.1016/j.jembe.2017.02.005.

Paerl, H. W., T. G. Otten and R. Kudela, 2018b: Mitigating the Expansion of Harmful Algal Blooms Across the Freshwater-to-Marine Continuum. *Environmental science & technology*, 52 (10), 5519-5529, doi:10.1021/acs.est.7b05950.

Pérez, C.A., M.D. DeGrandpre, N.A. Lagos, G.S. Saldías, E-K Cascales & C.A. Vargas, 2015. Influence of climate and land use in carbon biogeochemistry in lower reaches of rivers in central southern Chile: Implications for the carbonate system in river-influenced rocky shore environments. *J. Geophys. Res. Biogeosci.*, 120, 673–692, doi:10.1002/2014JG002699.

Pérez, C.A., N.A. Lagos, G.S. Saldías, G. Waldbusser & C.A. Vargas. 2016. Riverine discharges impact physiological traits and carbon sources for shell carbonate in the marine intertidal mussel *Perumytilus purpuratus*. *Limnology and Oceanography*. 61: 969–983.

Pizarro, R. et al., 2013: Influencia del cambio climático en el comportamiento de los caudales máximos en la zona Mediterránea de Chile. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 4.

Poloczanska, E. S. et al., 2013: Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3 (10), 919-925, doi:10.1038/NCLIMATE1958.

Poloczanska, E. S. et al., 2016: Responses of Marine Organisms to Climate Change across Oceans. *Frontiers in Marine Science*, 3 (28), 515, doi:10.3389/fmars.2016.00062.

Ponce, R.D.; Vázquez-Lavín, F.; San Martín, V.A.; Hernández, J.I.; Vargas, C.A.; Gonzalez, P.S.; Gelcich, S. Ocean Acidification, Consumers' Preferences, and Market Adaptation Strategies in the Mussel Aquaculture Industry. *Ecological Economics*, Volume 158, 2019, Pages 42-50. ISSN 0921-8009.

Ragetti, S., W. W. Immerzeel and F. Pellicciotti, 2016: Contrasting climate change impact on river flows from high altitude catchments in the Himalayan and Andes Mountains. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 113 (33), 9222-9227, doi:10.1073/pnas.1606526113.

Rahn, D. A., & Garreaud, R. D. (2013). A synoptic climatology of the near-surface wind along the west coast of South America. *International Journal of Climatology*, 34(3), 780–792. <https://doi.org/10.1002/joc.3724>.

Ramajo, L., E. Pérez-León, I.E. Hendriks, N. Marbà, D. Krause-Jensen,

M.K. Sejr, M.E. Blicher, N.A. Lagos, Y.S. Olsen & C.M. Duarte. 2016. Food supply confers calcifiers resistance to ocean acidification. *Scientific Reports, Nature*. doi:10.1093

Ramajo, L., N. Marva, L. Prado, S. Perón, M.A. Lardies, A.B. Rodríguez-Navarro, C.A. Vargas, N.A. Lagos & C.S.M. Duarte. 2016. Biom mineralization changes with food supply confer juvenile scallops (*Argopecten purpuratus*) resistance to ocean acidification. *Global Change Biology*. 22: 2025–2037.

Ramajo, L., L. Prado, A.B. Rodríguez-Navarro, M.A. Lardies, C.M. Duarte & N.A. Lagos. 2016. Plasticity and trade-offs in physiological traits of intertidal mussels subjected to freshwater-induced environmental variation. *Marine Ecology Progress Series*. 553: 93–109.

Ramajo I, Iris c. hendriks, Lagos na., Dorte krause-jensen, Núria marbá, Mikael sejr & Carlos m. duarte. 2018. Reply to “Increased food supply mitigates ocean acidification effects on calcification but exacerbates effects on growth”. *Scientific Reports* 8: 9799. DOI 10.1038/s41598-018-27670-0.

Rivera, A.; Gelcich, S.; García-Florez, L.; Acuña, J.L. (2017) Heterogeneous management and conservation perceptions within the gooseneck barnacle co-management system in Asturias (N. Spain). *Marine Policy* 81: 229-235. DOI: 10.1016/j.marpol.2017.03.020

Rivera, A.; Unibazo, J.; Leon, P.; Vasquez, F.; Ponce, R.; Mansur, L.; Gelcich, S. (2017) Stakeholder Perceptions Of Enhancement Opportunities In The Chilean Small And Medium Scale Mussel Aquaculture Industry. *Aquaculture*. 2017; 479: 423-431. DOI: 10.1016/j.aquacultu-

re.2017.06.015

Saavedra, LM.; Parra, D.; San Martín, V.; Lagos, NA.; Vargas, CA. 2017. Local habitat influences on feeding and respiration of the intertidal mussels, *Perumytilus purpuratus* exposed. *Estuaries and Coasts*, 41: 1559-2723. DOI: 10.1007/s12237-017-0333-z

San Martín, V.A.; Gelcich, S.; Vásquez-Lavin, F.; Ponce, R.D.; Hernández, J.I.; Lagos, N.A.; Birchenough, S.N.R.; & Vargas, C.A. 2019. Linking social preferences and ocean acidification impacts in mussel aquaculture. *Nature Scientific Reports* 9: 4719.

Salamanca, M. A., and Pantoja, S. (2009). “Caracterización química en la zona marina adyacente a la desembocadura del río Itata” in La cuenca hidrográfica del río Itata. Aportes Científicos para su gestión sustentable, eds O. Parra, J. C. Castilla, H. Romero, R. Quiñones, and A. Camaño (Concepción, CL: Editorial Universidad de Concepción).

Saldías, G.S., M. Sobarzo and R. Quiñones Freshwater structure and its seasonal variability off western Patagonia. *Progress in Oceanography*.

Silva, Claudio, Francisco Leiva & José Lastra 2018. Predicting the current and future suitable habitat distributions of the anchovy (*Engraulis ringens*) using the Maxent model in the coastal areas off central-northern Chile. *Fisheries Oceanography*, DOI: 10.1111/fog.12400

Silva, Claudio., I. Andrade, E. Yáñez, S. Hormazábal, M.Á. Barbieri, A. Aranís & G. Böhm. 2016. Predicting habitat suitability and geographic distribution of anchovy (*Engraulis ringens*) due to climate change in the coastal areas off Chile. *Progress in Oceanography* 146:159-174.

Silva, Claudio, Eleuterio Yáñez, Nelson Lagos, Fabio Labra, Laura Ramajo, Felipe Sánchez & María Eugenia Gallardo. 2016. Identificación, caracterización y vulnerabilidad al cambio climático de hábitat esenciales asociados a recursos hidrobiológicos en Chile. Informe Final Proyecto FIP N° 2014-25, 607 páginas.

Silva, Claudio, Eleuterio Yáñez, María Angela Barbieri, Claudio Bernal & Antonio Aranís. 2015. Forecasts of swordfish (*Xiphias gladius*) and common sardine (*Strangomera bentincki*) off Chile under the A2 IPCC climate change scenario. *Progress in Oceanography*, 134: 343–355.

Sorice, M.G., Donlan CJ, Boyle KJ, Xu W, Gelcich S (2018) Scaling participation in payments for ecosystem services programs. *PLoS ONE* 13 (3), e0192211-e0192211.

Soto, D., Leon-Muñoz, J., Dresdner, J., Luengo, C., Tapia, F. & Garreaud, R. 2019. Salmon farming vulnerability to climate change in southern Chile: understanding the biophysical socio economic and governance links. *Reviews in Aquaculture* 20: 1-21.

Steckbauer, A., L. Ramajo, I.E. Hendriks, M. Fernandez, N.A. Lagos, L. Prado & C.M. Duarte. 2015. Synergistic effects of hypoxia and increasing CO₂ on benthic invertebrates of the central Chilean coast. *Frontiers in Marine Science*. DOI: 10.3389/fmars.2015.00049

Stewart, J. S. et al., 2014: Combined climate- and prey-mediated range expansion of Humboldt 1 squid (*Dosidicus gigas*), a large marine predator in the California Current System. *Global Change Biology*, 20 (6), 1832-1843, doi:10.1111/gcb.12502.

Stramma, L. et al., 2011: Expansion of oxygen minimum zones may re-

duce available habitat for tropical pelagic fishes. *Nature Climate Change*, 2, 33, doi:10.1038/nclimate1304.

Tam, J., Chan KMA, Satterfield T, Singh GG, Gelcich S (2018) Gone fishing? Intergenerational cultural shifts can undermine common property co-managed fisheries. *Marine Policy* 90: 1-5.

Thiault, L., Marshall P, Gelcich S, Collin A, Chlous F, Claudet J. (2018). Mapping social-ecological vulnerability to inform local decision making. *Conservation Biology* 32(2): 447-456.

Thiault, L., Marshall, P., Gelcich, S., Collin, A., Chlous, F. and Claudet, J. (2018). Space and time matter in social-ecological vulnerability assessments. *Marine Policy* 88:213-221.

Thompson-Saud, G., Gelcich S, Barraza J (2018) Marine environmental issues in the mass media: Insights from television, newspaper and internet searches in Chile. *Ocean and Coastal Management* 165: 154–160.

TORRES R., MANRIQUEZ PH., DUARTE C., NAVARRO JM, LAGOS NA., VARGAS CA & LARDIES MA (2013) Evaluation of a semi-automatic system for long-term seawater carbonate chemistry manipulation. *Revista Chilena de Historia Natural* 86: 443-451.

Tozier de la Poterie, A. and M.-A. Baudoin, 2015: From Yokohama to Sendai: Approaches to Participation in International Disaster Risk Reduction Frameworks. *International Journal of Disaster Risk Science*, 6 (2), 128-139, doi:10.1007/s13753-015-0053-6.

Vargas, C. A., Narváez, D. A., Piñones, A., Navarrete, S. A., and Lagos,

N. A. 2006. River plume dynamics influences transport of barnacle larvae in the inner shelf off central Chile. *J. Mar. Biol. Ass.* 86, 1057–1065. doi: 10.1017/S0025315406014032

Vargas, C.A., P.Y. Contreras, C.A. Pérez, M. Sobarzo, G.S. Saldías & J. Salisbury. 2016. Influences of riverine and upwelling waters on the coastal carbonate system off Central Chile and their ocean acidification implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*. DOI: 10.1002/2015JG003213

Vargas, C.A.; Lagos N.A.; Lardies, M.; Duarte, C.; Manríquez, P.; Aguilera, V.; Broitman, B.; Widdicombe, S.; & Dupont, S. (2017) Species specific responses to ocean acidification should account for local adaptation and adaptive plasticity. *Nature Ecology & Evolution* 1, 13; 1(4):84. DOI: 10.1038/s41559-017-0084

Vargas, C.A., L. A. Cuevas, N. Silva, H. E. González, R. De Pol-Holz and D. A. Narváez. 2018. Influence of Glacier Melting and River Discharges on the Nutrient Distribution and DIC Recycling in the Southern Chilean Patagonia. *Journal of Geophysical Research, Biogeosciences*. DOI: 10.1002/2017JG003907

Vargas, C.A., V.M. Aguilera, V. San Martín, P.H. Manríquez, J.M. Navarro, C. Duarte, R. Torres, M.A. Lardies, N.A. Lagos. 2014. CO₂-Driven Ocean Acidification Disrupts the Filter Feeding Behavior in Chilean Gastropod and Bivalve Species from Different Geographic Localities. *Estuaries and Coasts*. 38: (4) 1163–1177.

Vargas ca., De la hoz m., Aguilera v., San martin v., Lagos na., Manríquez ph., Navarro jm, Torres-saavedra r., lardies ma (2013) CO₂-driven ocean

acidification may radically impact feeding behavior of larval invertebrates: The case of the gastropod *Concholepas*. *Aquatic Biology* 35(5): 1059–1068.

Vicuña, S., R. D. Garreaud and J. McPhee, 2011: Climate change impacts on the hydrology of snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change*, 105 (3-4), 469-488, doi:10.1007/s10584-010-9888-4.

Vuille, M. et al., 2018: Rapid decline of snow and ice in the tropical Andes – Impacts, uncertainties and challenges ahead. *Earth Science Reviews*, 176, 195-213, doi:10.1016/j.earscirev.2017.09.019.

Wilson, R. et al., 2018: Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. *Glob. Planet. Change*, 162, 275--291, doi:10.1016/j.gloplacha.2018.01.004.

Winkler et al., 2019. Proyecto MMA 77101707 “Determinación del riesgo de los impactos del Cambio Climático en las costas de Chile” Centro de Cambio Global UC y Universidad de Valparaíso. Subsecretaría del Medio Ambiente. Yáñez, E., N. Lagos, R. Norambuena, C. Silva, J. Letelier, K. –P. Muck, G. San Martín, S. Benítez, B. Broitman, H. Contreras, C. Duarte, S. Gelcich, F. Labra, M. Lardies, P. Manríquez, P. Quijón, L. Ramajo, E. González, R. Molina, A. Gómez, L. Soto, A. Montecino, M.Á. Barbieri, F. Plaza, F. Sánchez, A. Aranis, C. Bernal & G. Böhm. 2018. Impacts of climate change on marine fisheries and aquaculture in Chile. In: Phillips Bruce & Mónica Pérez (Eds.). *The Impacts of Climate Change on Fisheries and Aquaculture*. Editorial Wiley, Volume 1, Chapter 10, pp. 239-332.

Yáñez, E., F. Plaza, F. Sánchez, C. Silva, M.Á. Barbieri & G. Böhm. 2017. Modelling climate change impacts on anchovy and sardine landings in

northern Chile using ANNs. *Lat. Am. J. Aquat. Res.*, 45(4): 675-689.

Yáñez, E., F. Plaza, C. Silva, F. Sánchez, M.A. Barbieri & A. Aranís. 2016. Pelagic resources landings in central-southern Chile under the A2 climate change scenario. *Ocean Dynamics*, Volume 66, Issue 10: 1333-1351.

Yáñez, Eleuterio, Claudio Silva, María Ángela Barbieri, Luis Soto, Gustavo San Martín, Peter Muck, Jaime Letelier, Felipe Sánchez, Gabriela Böhm, Antonio Aranís, Alejandro Parés y Francisco Plaza. 2016. Sistema de pronósticos de pesquerías pelágicas chilenas frente a diversos escenarios del cambio climático. Informe Final Proyecto FONDEF D1111137, CONICYT, 46 pp. + Anexos.

Yáñez, E., M.A. Barbieri, F. Plaza & C. Silva. 2014. Climate Change and Fisheries in Chile. In: Mohamed Behnassi, Margaret Syomiti Muteng'e, Gopichandran Ramachandran & Kirit N. Shelat (Editors). *Vulnerability of Agriculture, Water and Fisheries to Climate Change: Toward Sustainable Adaptation Strategies*, Springer, Chapter 16, 259-270.

Yáñez, E., M.A. Barbieri, F. Plaza & C. Silva. 2012 Cambio climático y pesquerías en Chile. En: E. Yáñez, F. Plaza, M.A. Barbieri & P. Rojas (eds.). *Pesquerías y Acuicultura en Chile: Desafíos y Oportunidades*. Ediciones Universitarias, PUCV, 141-150.

Yevenes M.A., Lagos N.A., Farías L., C.A. Vargas (2019) Greenhouse gases, nutrients and the carbonate system in the Reloncaví Fjord (Northern Chilean Patagonia): Implications on aquaculture of the mussel, *Mytilus chilensis*, during an episodic volcanic eruption. *Science of the Total Environment* 669: 49-61.



CAMBIO CLIMÁTICO Y RECURSOS HÍDRICOS

Rodrigo Fuster G.

Ingeniero Agrónomo, Dr. en Ciencia y Tecnologías Ambientales (Universidad Autónoma de Barcelona)

Cristián Escobar A.

Ingeniero Agrónomo, MSc in Physical Geography and Ecosystem Analysis (Universidad de Lund)

■ Introducción

Desde el año 2010 a la fecha, amplias regiones de Chile han estado sufriendo serias limitaciones de recursos hídricos lo que ha condicionado la sustentabilidad de los sistemas socioecológicos.¹ Este escenario, dentro de otros (ej. lluvias intensas y aluviones en Atacama en 2015), se ha asociado a cambios en el comportamiento del ciclo hidrológico; cambios que han sido atribuidos, en parte, al cambio climático (Boisier et al., 2018; Garreaud et al., 2019). En el presente documento se revisarán los principales impactos del cambio climático sobre los componentes del ciclo hidrológico que definen la disponibilidad, acceso y calidad del agua. Al respecto, se hará referencia a los principales efectos sobre la seguridad hídrica del país y las medidas de adaptación presentes y futuras que permitan reducir el impacto del cambio climático.

■ 1. Tendencias de cambio observadas en el ciclo hidrológico en Chile

Cambios observados en los regímenes de precipitación y caudal.

Basados en un análisis de observaciones históricas, Boisier et al. (2018) detectaron una tendencia negativa (- 7% por década) en las tasas de precipitación media anual en

gran parte de la región centro-sur de Chile (30°- 48°S) entre 1960 y 2016. Al respecto, los resultados indican que esta tendencia se relaciona, principalmente, a una disminución de las precipitaciones observadas al sur de los 37°S, particularmente durante el periodo estival (- 8% por década). Esta tendencia negativa en el régimen de precipitaciones anuales también ha sido detectada para la zona norte costera del país comprendida entre los 18°S y 30°S (Schulz et al., 2012) y para la región altiplánica (Sarricolea et al., 2017).

Aunque sustentado en un periodo de observación más corto (2006-2016), la disminución de las tasas de precipitación anual - en conjunto con un aumento en la temperatura media elevación de la isoterma 0² - se ha correlacionado con una disminución de la persistencia de la cobertura de nieves en los Andes de la región centro-norte de Chile (Saavedra et al., 2018). En particular, la disminución de la cobertura de nieves se ha manifestado principalmente durante el invierno. Además, se ha detectado una tendencia negativa en la zona central de Chile y positiva en Patagonia, en términos del número de días con precipitación de nieve y acumulación de equivalente en agua nieve, respectivamente (Mernild et al., 2017).

Los cambios en los patrones precipitación (en forma de

1. Los sistemas socioecológicos (SSE) corresponden a sistemas auto-regulados compuestos de elementos socio-culturales y biofísicos acoplados entre sí.

2. Incrementos en la temperatura del aire (0.25°C década) han sido documentados para los Andes centrales entre 1975 y 2001 lo que ha provocado una elevación de la isoterma 0°C en aproximadamente 120 m en invierno y 200 m en verano.

agua y nieve) se han visto reflejados en cambios en las respuestas hidrológicas de las cuencas³. En términos generales, se han detectado disminuciones en los caudales medios anuales en gran parte de las cuencas ubicadas en la región centro-sur del país (30°S-48°S) entre los años 1960 y 2016 (Boisier et al., 2018). A escala estacional estos cambios en los caudales se han manifestado particularmente durante la primavera (SON; -5,5% por década) y el verano (DEF; -8% por década; Boisier et al., 2018). Sumado a estos cambios, también se ha detectado una reducción de los caudales mínimos y un aumento en los caudales máximos en las cuencas ubicadas en la zona centro de Chile (Vicuña et al., 2013).

En una perspectiva de más largo plazo hacia el pasado, diversos análisis de series de tiempo (≥ 400 años) sugieren un aumento en la frecuencia de eventos de sequía extremos y severos (ej. incremento de la recurrencia de uno a dos años consecutivos de sequía) en especial a partir de la segunda mitad del siglo XX en la región del país ubicada entre las cuencas del río Maule y Puelo (Fernández et al., 2018; Muñoz et al., 2016).

Cambio observado en las tasas de recarga de acuíferos

Actualmente la información a nivel país es escasa para

poder describir tendencias históricas de mediano y largo plazo respecto de los procesos hidrogeológicos e hidrológicos que determinan la dinámica de los acuíferos. Solo casos puntuales de estudio en la zona semiárida del país se ha detectado una alta sensibilidad de los acuíferos a fluctuaciones climáticas como El Niño-Oscilación del Sur (ENSO; Salas et al., 2016). Importante es mencionar que las disminuciones registradas en los niveles piezométricos en gran parte de los acuíferos de la zona centro-norte del país se relacionan a incrementos sostenidos de la extracción del recurso hídrico (Valdés-Pineda et al., 2014).

Cambios observados en ambientes glaciares

Otros de los componentes del sistema hídrico que han sufrido importantes alteraciones debidas, en parte, al cambio climático son los glaciares. En general, las observaciones muestran que gran parte de los glaciares catastrados en Chile continental han experimentado fuertes retrocesos y pérdidas volumétricas en las últimas décadas (Aniya, 2017; Barcaza et al., 2017; Mernild et al., 2015). Al respecto, Barcaza et al. (2017) detectaron una disminución del área total de glaciares descubiertos (“blancos”) de -93.2 ± 4.6 km² entre el periodo 2000-2003 y el año 2015. El mismo estudio no encontró cambios significativos en la extensión de glaciares cubiertos por escombros y glaciares de roca.

3. En Chile, debido al tamaño pequeño relativo de las cuencas hidrográficas, las anomalías en los caudales dentro de un año hidrológico determinado (considerado desde abril a marzo) se relacionan positiva y fuertemente con las anomalías de precipitación del correspondiente año calendario (Boisier et al. 2018).

El retroceso de los glaciares se ha asociado a: i) un incremento de lagos y lagunas glaciares (estimado en términos de área total), fenómeno que ha ido en aumento a través del periodo 1986-2016 y que se espera que continúe bajo un contexto de cambio climático (Wilson et al., 2018) y ii) aumentos en los caudales en la época de derretimiento en cuencas que han experimentado una fuerte disminución de la cobertura de hielo (Pizarro et al., 2013).

Eventos Extremos

Chile, a lo largo de su historia, se ha visto frecuentemente impactado por eventos extremos de carácter hidrometeorológico. Al respecto, en la zona central del país (30°-38°S) se han registrado una gran cantidad de eventos de sequía con diferente severidad, intensidad y duración. De estos eventos sobresale aquel que desde el año 2010 a la fecha ha estado afectando a la zona de Chile Central (30°-38°S); evento sin precedentes desde el año 1900 y con solo uno o dos eventos similares en el último milenio (Garreaud et al., 2017). Durante este periodo de sequía el nivel de precipitaciones ha alcanzado un déficit de entre un 15-45% lo que ha traído como consecuencia una marcada disminución de la oferta física de agua (Boisier et al., 2018; Garreaud et al., 2017). Este evento extremo denominado “megasequía” ha sido atribuido, en parte (un tercio del déficit de precipitaciones), al cambio climá-

tico de origen antropocéntrico (Garreaud et al., 2019). Por otra parte, aunque en la región semiárida del país (26-30°S), los periodos secos son relativamente comunes, durante el periodo 2010-2015 dicha región experimentó uno de los periodos más críticos de las últimas décadas (Salas et al., 2016). Respecto a la ocurrencia de eventos relacionados con exceso de agua (i.e. inundaciones, aluviones), se recalca la importancia de aquellos sucedidos en la zona norte del país entre los 18° y 30°S. En esta zona, los eventos de precipitaciones intensas no son poco comunes y están asociados principalmente a las precipitaciones altiplánicas y al fenómeno del Niño (Barrett et al., 2016; Ortega et al., 2019; Wilcox et al., 2016). Al respecto, uno de los eventos más intensos ocurrió entre el 24 y 26 de marzo de 2015 afectando principalmente a la zona ubicada entre la quebrada de Taltal y la cuenca del río Elqui (Wilcox et al., 2016). Se ha detectado que este tipo de eventos (con diferentes intensidades y consecuencias) ha impactado dicha zona en al menos 50 veces desde comienzos del siglo XX, ocurriendo gran parte de estos durante la fase del Niño de ENSO en invierno (Ortega et al., 2019).

■ **2. Efecto futuro del cambio climático sobre el ciclo hidrológico**

En la Figura 1, se muestra el cambio proyectado en la

precipitación media anual para el periodo 2045-2069 en relación al periodo histórico 1985-2005 bajo los escenarios RCP8.5 y RCP2.6. Al respecto, se puede apreciar una clara disminución de las precipitaciones en gran parte del país, en particular para la zona ubicada entre los 26°S y 40°S. En relación al extremo norte y austral el ensamble de modelos tiende a mostrar una condición más neutral y un aumento en las tasas de precipitación media anual respectivamente. La variaciones porcentuales de precipitaciones mostrada en la Figura 1 son concordantes con aquellas publicados por Ortega et al. (2019) y Bozkurt et al. (2018) quienes proyectaron para el mismo horizonte de tiempo y bajo el escenario RCP8.5 disminuciones de entre un 15-30% para la zona semiárida (26°-30°S) y de un 20% para la zona central del país (30° y 38°S), respectivamente. Importante es mencionar que mientras que para la zona centro-sur la tendencia proyectada es altamente consistente al comparar las proyecciones de distintos modelos, para los extremos norte y austral las proyecciones tienden a tener un menor grado de robustez (Bambach et al. 2019).

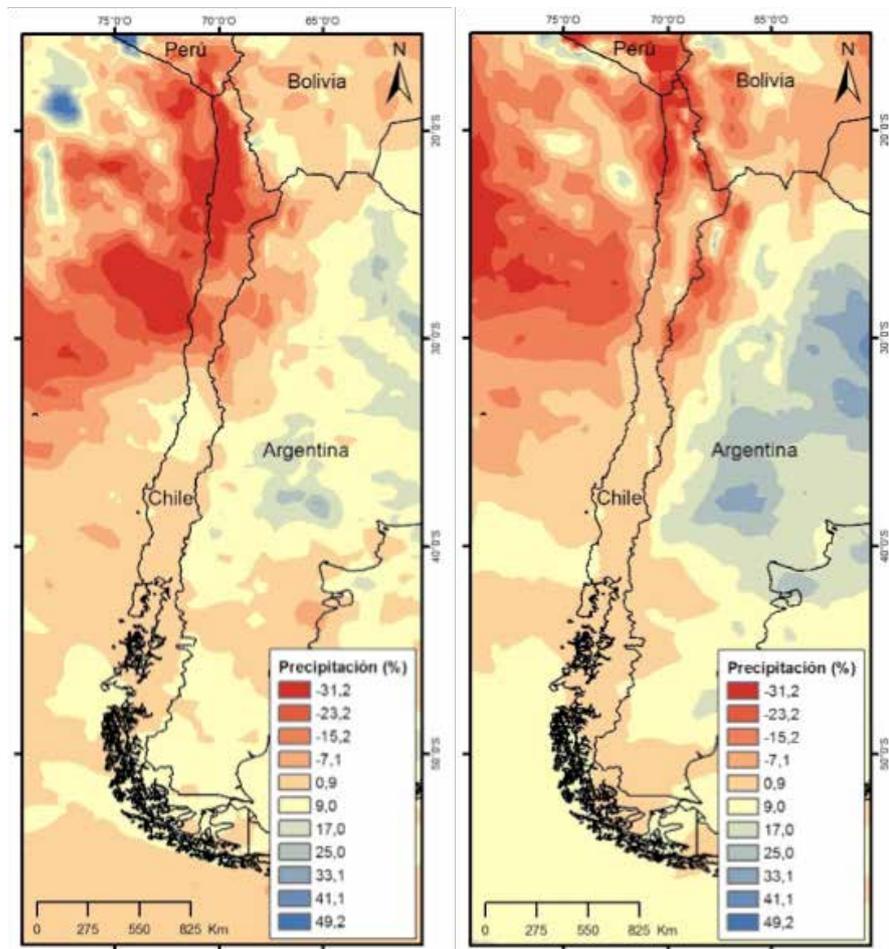


Figura 1. Cambio del valor medio (%) de la precipitación entre 1985-2005 y 2045-2069, bajo escenario RCP26 (A) y RCP85 (B) considerando el ensamble de modelos CORDEX. Fuente: simulaciones.cr2.cl

Respecto a cambios en los regímenes de escorrenría, en la zona central (33-38°) se proyecta una disminución al periodo 2045-2060 con respecto al periodo 1985-2005, lo que es ampliamente consistente con la disminución generalizada de las precipitaciones (Bozkurt et al., 2018).

A su vez, el incremento de la temperatura proyectada para la misma zona, provocaría cambios en los patrones normales de acumulación y derretimiento de nieve y en los peak de caudales durante la temporada. Por ejemplo, en áreas en donde dominan los procesos de deshielo, los cambios proyectados bajo el escenario RCP 8.5 se manifestarían en una disminución de la nieve acumulada (75-85%) y en un adelanto del derretimiento de nieve y de los caudales máximos en las cabeceras de las principales cuencas (hasta 5 semanas) hacia fines del siglo (Bozkurt et al., 2018). Cambios similares en la hidrología de las cuencas han sido proyectados por diferentes estudios en la zona semiárida (Vicuña et al., 2011) y norte patagónica del país (> 41°S).

Respecto a los eventos hidrometeorológicos extremos, se proyecta que, tanto la frecuencia como la intensidad de éstos, se incrementará en el futuro en gran parte del país (Aguayo et al., 2019; Bozkurt et al., 2018; Ortega et al., 2019). Por ejemplo, en la zona central de Chile, la ocurrencia de eventos de sequía extensos, similares en ca-

racterísticas a la actual “megasequía”, se incrementarían desde uno a cinco eventos cada 100 años bajo el escenario RCP8.5 (Bozkurt et al., 2018). Para la zona norte patagónica (ej. cuenca río Puelo) se prevé que la probabilidad de recurrencia de eventos de sequía se duplique con respecto a los registros históricos (Aguayo et al., 2019).

En relación al comportamiento de los glaciares, aunque la evidencia indica que la mayoría de éstos están experimentando un retroceso sistemático, la falta de conocimiento respecto al efecto que las variaciones en la temperatura y precipitación tienen sobre su evolución no permite proyectar dichas tendencias en un modelo de predicción (MMA, 2016). Similar condición se describe para glaciares de roca y cubiertos (Schaffer et al., 2019).

Sin embargo, y en consideración con las tendencias proyectadas para algunas variables condicionantes del balance de energía en glaciares como el aumento generalizado de temperatura, es posible inferir que las tendencias observadas en el comportamiento de éstos se mantendrían a lo largo del presente siglo. Es importante mencionar que dentro de los efectos asociados al retroceso de los glaciares andinos están la desestabilización del ambiente glaciar que favorece la ocurrencia de avalanchas de roca y hielo, flujos de escombros y aluviones por vaciamientos repentinos de lagunas y lagos glaciares

(Iribarren et al., 2015; Wilson et al., 2018).

■ 3. Impactos del cambio climático sobre la seguridad hídrica

Para abordar los impactos económicos, sociales y ambientales que el cambio climático está generando en la actualidad y que potencialmente podría generar en el futuro sobre los recursos hídricos, se adoptará el concepto de seguridad hídrica (SH), que permite reconocer el rol del agua tanto como fuente proveedora de servicios (para satisfacción de necesidades humana, la economía y el medioambiente), así como fuente de amenazas (contaminación y desastres hidrometeorológicos; (MMA, 2017).

Al respecto, la seguridad hídrica está definida como el “acceso al agua en un nivel de cantidad y calidad adecuada, definida por cada cuenca, para su sustento y aprovechamiento en el tiempo, tanto para la salud, subsistencia, desarrollo socioeconómico y la conservación de los ecosistemas, manteniendo una alta resiliencia frente a amenaza asociadas a sequías, crecidas y contaminación”. La SH conceptualmente se muestra en la Figura 2 prioriza por igual las metas relacionadas con el bienestar humano, con aquellas relacionadas con la conservación de los ecosistemas, incorporando elementos de sostenibilidad y de gestión de riesgos asociados a eventos extremos. Se asume que el incumplimiento de las metas asociadas a

una dimensión afectará el logro de los objetivos de una o a más dimensiones.



Figura 2. Dimensiones de Seguridad hídrica y desafíos críticos propuestos para Chile.

El cambio climático es considerado un factor condicionante clave de la SH en todas sus dimensiones. Como ya se ha señalado, los cambios observados y proyectados sobre el ciclo hidrológico están condicionando y condicionarán el acceso, disponibilidad y calidad de los recursos hídricos.

A continuación, se señala un conjunto de potenciales impactos que el cambio climático tendría sobre las principales dimensiones de la SH:

3.1 Impacto sobre el abastecimiento de agua potable y las necesidades básicas

El cambio climático impactará directamente esta dimensión de la SH principalmente a través de la disminución de las precipitaciones y aumento de la frecuencia y severidad de eventos hidrometeorológicos extremos. En el caso de eventos extremos de exceso de agua (aluviones e inundaciones) los principales impactos estarían concentrados en la afectación de la infraestructura de potabilización y tratamiento de aguas servidas y en el empeoramiento de la calidad del agua producto de un aumento de los sedimentos en las fuentes. Bajo este escenario es esperable que los servicios correspondientes sufran limitaciones parciales o totales en el tiempo, lo cual puede ocasionar desabastecimientos generalizados a la población. En los

sectores rurales estos eventos pueden afectar e inutilizar pozos de extracción de agua condicionando el correcto funcionamiento de los comités/cooperativas de agua potable rural (APR).

Bajo un escenario de escasez de agua (ej. sequías prolongadas) el principal impacto esperado estaría asociado a una disminución de la disponibilidad y acceso al agua (ej. disminución de los niveles en acuíferos) lo que condicionaría el abastecimiento de la población. Al respecto, se espera que los sectores rurales sean los más vulnerables bajo dicho escenario (Fuster y Donoso 2018). Importante es señalar un potencial aumento de las tarifas de agua potable por aumento de gastos por inversión en infraestructura, desaladoras o infraestructura de tratamiento en caso de afectación de la calidad (MMA, 2017). Finalmente, el desabastecimiento de agua potable a consecuencia del cambio climático puede ocasionar un incremento de problemas de salud y la ampliación del rango geográfico de vectores (Cabrera et al. 2019).

3.2 Impacto sobre el abastecimiento de los diferentes sectores productivos

Sector agrícola. Los impactos tanto observados como proyectados del cambio climático sobre el ciclo hidrológico hace inferir que la agricultura se verá afectada tanto

por la manifestación de condiciones cada vez más severas y permanentes de déficit hídrico y - probablemente más recurrente - de inundaciones y aluviones.

Al respecto y en relación a la primera condición, gran parte de los cultivos agrícolas que se desarrollan en la zona semiárida y central del país (23°S y 37°) tienen sus periodos de crecimiento y producción cuando existe una casi total ausencia de precipitaciones. En términos generales, el déficit hídrico puede implicar serias restricciones para el crecimiento y desarrollo de los cultivos lo que tiene como consecuencia directa, pérdidas en los niveles de producción y productividad. Este impacto dependerá además, del tipo cultivo y su ubicación geográfica, de la infraestructura de almacenamiento de agua disponible, del estado de los sistemas de conducción y riego, del tipo de fuente hídrica y de la capacidad de organización de los usuarios de agua en las diferentes cuencas.

En consideración a lo anterior, los sectores que se han caracterizado por poseer históricamente un alto grado de vulnerabilidad frente a condiciones de déficit hídrico han sido la pequeña agricultura, la agricultura con baja tecnificación de su sistema productivo y los cultivos y praderas de secano. Se espera - en consideración a la reducción de las precipitaciones proyectada para el presente siglo - que dichos sectores continúen siendo altamente vulnerables

a futuro, a no ser que se implementen las medidas de adaptación adecuadas.

Por otra parte, el impacto directo de un cambio en el patrón de precipitaciones sobre la agricultura de riego será menor en la medida que la disponibilidad y acceso al agua de riego esté garantizado. Al respecto, los cambios observados (ver sección 2) – atribuidos en parte al cambio climático - han tenido consecuencias negativas sobre la agricultura de riego al disminuir la disponibilidad del recurso hídrico tanto en los cuerpos de agua superficial como subterráneo. El problema de la reducción en la oferta de agua se ha agravado debido a la creciente demanda por múltiples sectores (en varias cuencas la demanda es mayor a la oferta física; (Valdés-Pineda et al., 2014).

Tomando en cuenta los cambios proyectados, la situación actual tenderá a empeorar, lo que pone al sector en una condición de alta vulnerabilidad especialmente en las zonas áridas, semiáridas y central de Chile (Santibañez et al., 2008).

Finalmente, el efecto negativo que ha tenido la ocurrencia de eventos extremos asociados a precipitaciones intensas sobre la agricultura, se esperan aumenten en frecuencia, intensidad y severidad durante el presente siglo. Al respecto, se recalcan los impactos negativos que ocasionó el

aluvión de marzo de 2015 en la región de Atacama, el cual ocasionó pérdidas cuantiosas en términos económicos y de superficie agrícola cultivable; mucha de la cual no ha podido restablecerse (CNR, 2016).

Sector minero. Gran parte de las explotaciones mineras se ubican en cuencas hidrográficas que presentan déficit hídrico severos (zonas áridas y semiáridas) y en donde, además, se ejercen intereses de múltiples usuarios por el agua. Por lo tanto, es posible inferir que la disminución de la disponibilidad hídrica proyectada para dichas cuencas acentuará los conflictos por el agua (Odell et al., 2018). En términos generales, una creciente escasez de agua puede afectar diferentes procesos en la mina con consecuencias negativas en la producción (que podría ocasionar el cierre de la mina, un rediseño de la explotación o cambios tecnológicos). Por otra parte, el derretimiento de glaciares andinos (fenómeno observado y proyectado a futuro) podría abrir nuevos accesos a depósitos minerales antes inaccesibles. Además, el derretimiento del permafrost podría complicar el acceso a las faenas ubicadas en altura como la estabilidad de la infraestructura de éstas (Odell et al., 2018).

Para afrontar la escasez hídrica y los conflictos con otros usuarios, el sector minero - en particular la gran minería - ha invertido en la construcción de infraestructura de

desalación de agua de mar (COCHILCO, 2018), acción que se espera disminuya la presión de extracción sobre fuentes de agua dulce. La construcción de plantas desaladoras es una medida sectorial que continuará en el futuro (COCHILCO, 2018) por lo que se espera que el impacto en la disminución de las precipitaciones debido al cambio climático no sea tan dramático para el sector.

Sector hidroeléctrico. Los cambios en los regímenes hidrológicos observados a partir de la segunda mitad del siglo XX se han asociado a una disminución del potencial hidroeléctrico (PH; entre -22 a -47 MW por año) en cuencas ubicadas en la zona centro-sur del país (Arriagada et al., 2019). Esta tendencia al descenso de PH ha sido proyectada bajo diferentes escenarios de cambio climático para la región ubicada entre las cuencas de los ríos Maipo y Puelo. Al respecto, se esperan las mayores reducciones para el periodo 2070-2100 bajo el escenario RCP8.5 (MINENERGIA, 2016).

En general, las reducciones proyectadas disminuirían hacia el sur, por lo que el impacto del cambio climático sobre el PH en cuencas como Valdivia, Bueno, Puelo y Yelcho sería relativamente leve (MINENERGIA, 2016). Debido a que actualmente existe una capacidad limitada en las centrales de utilizar el caudal disponible en los puntos de captación, es esperable que los impactos sobre

la generación hidroeléctrica tiendan a ser inferiores a los cambios proyectados en los patrones de precipitación y caudal. Por tanto, los cambios proyectados en los regímenes de caudales podrían no influir mayormente en la seguridad de suministro hidroeléctrico bajo las condiciones de las centrales proyectadas (MINENERGIA, 2016).

Sector industrial. Pese a no existir información que permita discriminar tendencias en la producción de la industria, no sería incorrecto inferir una potencial disminución de la competitividad del sector al aumentar los costos de producción debido a déficit o aumentos del costo del agua.

3.3 Impacto sobre el medioambiente

Se ha detectado que la disminución de las precipitaciones y aumento de las tasas de evapotranspiración, en conjunto con otras variables climáticas y edáficas, pueden condicionar a largo plazo la distribución actual de la vegetación nativa del país (Marquet et al. 2019). Por otra parte, Garreaud et al. (2017) demostraron que los eventos extensos de sequía han provocado reducciones significativas en la productividad de la vegetación. Los dos factores anteriores sumados a un aumento de la severidad de incendios forestales corresponden a determinantes claves de la cantidad y calidad del agua a nivel de cuenca (Alva-

rez-Garreton et al., 2019; Fierro et al., 2019).

Por otra parte, la alteración de los regímenes de caudales puede afectar el funcionamiento de los ecosistemas de agua dulce de una cuenca poniendo en riesgo su propia sustentabilidad además de la generación de los servicios ecosistémicos que estos proveen (ej. cantidad y calidad de agua). Se ha detectado, también, que periodos largos de sequía han tenido un impacto significativo en la calidad del agua de los ríos, debido principalmente a la disminución de la capacidad de dilución de los caudales (Yevenes et al., 2018). Además, el incremento de periodos más extensos con bajo caudal, como los proyectados para el presente siglo, pondría en riesgo la sustentabilidad de los ecosistemas acuáticos y riparianos y la correspondiente provisión de servicios ecosistémicos (Fierro et al., 2019).

3.4 Impacto sobre el nivel de riesgos

Como efecto del cambio climático, se estima que la frecuencia, intensidad y severidad de los eventos hidrometeorológicos extremos aumentaría a futuro, lo que pondría en potencial riesgo a las áreas pobladas expuestas y las actividades económicas asociadas.

Las consecuencias de este tipo de eventos sobre los diversos sectores económicos y la población en general han

sido abordadas en secciones anteriores. Sin embargo, es importante mencionar que muchas de las amenazas cuyos factores subyacentes son fenómenos hidrometeorológicos (ej. aluviones, crecidas, GLOFs⁴) carecen del monitoreo adecuado y/o presentan un nivel de conocimiento escaso que impide describir la dinámica que determina la magnitud y frecuencia de estos eventos, condicionando su gestión (DGA, 2018; MMA, 2017). Lo anterior es especialmente importante, por ejemplo, en el caso de las amenazas asociadas al retroceso de los glaciares andinos.

4. Los vaciamentos repentinos de lagunas y/o lagos glaciares referidos como GLOFs por siglas en inglés (Glacial Lake Outburst Floods) corresponde a una liberación catastrófica de agua desde un reservorio (i.e. lago o laguna) que ha sido formado al lado, en frente, dentro, debajo o sobre la superficie de un glaciar (GAPHAZ, 2017).

Referencias

- Aguayo, R., León-Muñoz, J., Vargas-Baccheler, J., Montecinos, A., Garreaud, R., Urbina, M., Iriarte, J. L. (2019). The glass half-empty: climate change drives lower freshwater input in the coastal system of the Chilean Northern Patagonia. *Climatic Change*, 155(3), 417–435.
- Alvarez-Garreton, C., Lara, A., Boisier, J. P., & Galleguillos, M. (2019). The impacts of native forests and forest plantations on water supply in Chile. *Forests*, 10(6), 1–18.
- Aniya, M. (2017). Glacier variations of Hielo Patagónico Norte, Chile, over 70 years from 1945 to 2015. *Bulletin of Glaciological Research*, 35, 19–38.
- Arriagada, P., Dieppois, B., Sidibe, M., & Link, O. (2019). Impacts of Climate Change and Climate Variability on Hydropower Potential in Data-Scarce Regions Subjected to Multi-Decadal Variability. *Energies*, 12(14), 2747.
- Bambach, N., Morales D., Meza, F. 2019. Tendencias y proyecciones de cambio climático. En: Cambio climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación. Castilla, J.C., Meza, F., Vicuña, S., Marquet, P.A., Montero, J.P. (eds.). Ediciones UC. Santiago, Chile, 2019, p. 85-97.
- Barcaza, G., Nussbaumer, S. U., Tapia, G., Valdés, J., García, J. L., Videla, Y., ... Arias, V. (2017). Glacier inventory and recent glacier variations in the Andes of Chile, South America. *Annals of Glaciology*, 58(75), 166–180.
- Barrett, B. S., Campos, D. A., Veloso, J. V., & Rondanelli, R. (2016). Extreme temperature and precipitation events in March 2015 in central and northern Chile. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres: Atmospheres*, 121, 4563–4580.
- Boisier, J., Alvarez-Garreton, C., Cordero, R. R., Damiani, A., Gallardo, L., Garreaud, R. D., ... Rondanelli, R. (2018). Anthropogenic drying in central-southern Chile evidenced by long-term observations and climate model simulations. *Elementa Science of the Anthropocene*, 6(74).
- Bozkurt, D., Rojas, M., Boisier, J. P., & Valdivieso, J. (2018). Projected hydroclimate changes over Andean basins in central Chile from downscaled CMIP5 models under the low and high emission scenarios. *Climatic Change*, 150(3–4), 131–147.
- Cabrera, C., Valdés, J.M., Cifuentes, L. 2019. Impactos y adaptación en salud. En: Cambio climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación. Castilla, J.C., Meza, F., Vicuña, S., Marquet, P.A., Montero, J.P. (eds.). Ediciones UC. Santiago, Chile, 2019,
- COCHILCO. (2018). Proyección de consumo del agua en la minería del cobre 2018-2029 (p. 40). p. 40. Santiago de Chile: Comisión Chilena del Cobre, Ministerio de Minería.
- Comisión Nacional de Riego (CNR). (2016). Diagnóstico para desarrollar plan de riego en cuenca de Copiapó (p. 772). p. 772. Santiago de Chile: Ministerio de Agricultura, Comisión Nacional de Riego.
- Dirección General de Aguas (DGA). (2018). Fortalecimiento de capacidades de gestión de la Dirección General de Aguas frente a eventos extremos, mediante la incorporación del enfoque de riesgos. (p. 267). p. 267. Santiago de Chile: Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas.

Fernández, A., Muñoz, A., González-Reyes, Á., Aguilera-Betti, I., Toledo, I., Puchi, P., ... Vignola, R. (2018). Dendrohydrology and water resources management in south-central Chile: Lessons from the Río Imperial streamflow reconstruction. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(5), 2921–2935.

Fierro, P., Valdovinos, C., Arismendi, I., Díaz, G., Ruiz De Gamboa, M., & Arriagada, L. (2019). Assessment of anthropogenic threats to Chilean Mediterranean freshwater ecosystems: Literature review and expert opinions. *Environmental Impact Assessment Review*, 77(April), 114–121.

Fuster, R., Donoso, G. 2018. Chapter 10: Rural Water Management. In *Water Policy in Chile. Global Issues in Water Policy*. Donoso, G. (Ed.). Springer. 151-163. ISBN 978-3-319-76701-7

Garreaud, R. D., Alvarez-Garretón, C., Barichivich, J., Pablo Boisier, J., Christie, D., Galleguillos, M., ... Zambrano-Bigiarini, M. (2017). The 2010-2015 megadrought in central Chile: Impacts on regional hydroclimate and vegetation. *Hydrology and Earth System Sciences*, 21(12), 6307–6327.

Garreaud, R. D., Boisier, J. P., Rondanelli, R., Montecinos, A., Sepúlveda, H. H., & Veloso-Aguila, D. (2019). The Central Chile Mega Drought (2010–2018): A climate dynamics perspective. *International Journal of Climatology*, (June), 1–19.

Hill, M. (2013). *Climate change and water governance. Adaptive capacity in Chile and Switzerland*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Hill, M., & Allan, A. (2014). *Adaptive capacity in a Chilean context: A*

questionable model for Latin America. *Environmental Science and Policy*, 43, 78–90. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2013.10.014>

Hurlbert, M. (2018). *Adaptive Governance of Disaster: Drought and flood in rural areas*.

Iribarren Anaconda, P., Mackintosh, A., & Norton, K. P. (2015). Hazardous processes and events from glacier and permafrost areas: Lessons from the Chilean and Argentinean Andes. *Earth Surface Processes and Landforms*, 40(1), 2–21.

Marquet, J., Vianna, J.A., Plischoff, P. 2019. Impactos y adaptación en ecosistemas y biodiversidad. En: *Cambio climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación*. Castilla, J.C., Meza, F., Vicuña, S., Marquet, P.A., Montero, J.P. (eds.). Ediciones UC. Santiago, Chile, 2019, p. 335-359.

Mernild, S. H., Beckerman, A. P., Yde, J. C., Hanna, E., Malmros, J. K., Wilson, R., & Zemp, M. (2015). Mass loss and imbalance of glaciers along the Andes Cordillera to the sub-Antarctic islands. *Global and Planetary Change*, 133, 109–119.

Mernild, S. H., Liston, G. E., Hiemstra, C. A., Malmros, J. K., Yde, J. C., & McPhee, J. (2017). The Andes Cordillera. Part I: snow distribution, properties, and trends (1979–2014). *International Journal of Climatology*, 37(4), 1680–1698.

Ministerio de Energía (MINENERGIA). (2016). *Estudio de cuencas. Análisis de las condicionantes para el desarrollo hidroeléctrico en las cuencas del Maule, Biobío, Tolón, Valdivia, Bueno, Puelo, Yelcho, Palena, Cisnes, Aysén, Baker y Pascua*. (p. 108). p. 108. Santiago de Chile: Ministerio de

Energía de Chile.

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2016). Tercera comunicación nacional de Chile ante la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Santiago

Ministerio del Medio Ambiente (MMA). (2017). Estudio de Seguridad Hídrica en Chile en un contexto de Cambio Climático para elaboración del Plan de Adaptación de los recursos hídricos al Cambio Climático (p. 129). p. 129. Santiago de Chile: Ministerio del Medio Ambiente de Chile.

Muñoz, A. A., González-Reyes, A., Lara, A., Sauchyn, D., Christie, D., Puchi, P., ... Vanstone, J. (2016). Streamflow variability in the Chilean Temperate-Mediterranean climate transition (35°S–42°S) during the last 400 years inferred from tree-ring records. *Climate Dynamics*, 47(12), 4051–4066.

Odell, S. D., Bebbington, A., & Frey, K. E. (2018). Mining and climate change: A review and framework for analysis. *Extractive Industries and Society*, 5(1), 201–214.

Ortega, C., Vargas, G., Rojas, M., Rutlant, J. A., Muñoz, P., Lange, C. B., ... Ortlieb, L. (2019). Extreme ENSO-driven torrential rainfalls at the southern edge of the Atacama Desert during the Late Holocene and their projection into the 21st century. *Global and Planetary Change*, 175(January), 226–237.

Pizarro, R., Balocchi, F., Vera, M., Aguilera, A., Morales, C., Valdés, R., ... Olivares, C. (2013). Influencia del cambio climático en el comportamiento de los caudales máximos en la zona Mediterránea de Chile.

Tecnología y Ciencias Del Agua, 4(2), 5–19.

Saavedra, F. A., Kampf, S. K., Fassnacht, S. R., & Sibold, J. S. (2018). Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000-2016. *Cryosphere*, 12(3), 1027–1046.

Salas, I., Herrera, C., Luque, J. A., Delgado, J., Urrutia, J., & Jordan, T. (2016). Recent climatic events controlling the hydrological and the aquifer dynamics at arid areas: The case of Huasco River watershed, northern Chile. *Science of the Total Environment*, 571, 178–194.

Santibañez, F., Santibañez, P., & Solis, L. (2008). Análisis de vulnerabilidad silvoagropecuaria en Chile frente a escenarios de cambio climático. In *Análisis de vulnerabilidad del sector silvoagropecuario, recursos hídricos y edáficos de Chile frente a escenarios de cambio climático* (p. 93). Santiago de Chile.

Sarricolea, P., Ruiz, Ó. M., & Aravena, H. R. (2017). Tendencias de la precipitación en el norte grande de Chile y su relación con las proyecciones de cambio climático. *Dialogo Andino*, (54), 41–50.

Schaffer, N., MacDonell, S., Réveillet, M., Yáñez, E., & Valois, R. (2019). Rock glaciers as a water resource in a changing climate in the semi-arid Chilean Andes. *Regional Environmental Change*, 19(5), 1263–1279.

Schulz, N., Boisier, J. P., & Accituno, P. (2012). Climate change along the arid coast of northern Chile. *International Journal of Climatology*, 32(12), 1803–1814.

Valdés-Pineda, R., Pizarro, R., García-Chevesich, P., Valdés, J. B., Olivares, C., Vera, M., ... Helwig, B. (2014). Water governance in Chile:

Availability, management and climate change. *Journal of Hydrology*, 519(PC), 2538–2567.

Vicuña, S., Garreaud, R. D., & McPhee, J. (2011). Climate change impacts on the hydrology of a snowmelt driven basin in semiarid Chile. *Climatic Change*, 105(3–4), 469–488.

Vicuña, S., Gironás, J., Meza, F. J., Cruzat, M. L., Jelinek, M., Bustos, E., ... Bambach, N. (2013). Exploring possible connections between hydrological extreme events and climate change in central south Chile. *Hydrological Sciences Journal*, 58(8), 1598–1619.

Vicuña, S. 2019. Impactos y adaptación en recursos hídricos. En: Cambio climático en Chile: Ciencia, Mitigación y Adaptación. Castilla, J.C., Meza, F., Vicuña, S., Marquet, P.A., Montero, J.P. (eds.). Ediciones UC. Santiago, Chile, 2019, p. 85-97.

Wilcox, A. C., Escarriaza, C., Agredano, R., Mignot, E., Zuazo, V., Otárola, S., ... Mao, L. (2016). An integrated analysis of the March 2015 Atacama floods. *Geophysical Research Letters*, 43, 8035–8043.

Wilson, R., Glasser, N. F., Reynolds, J. M., Harrison, S., Anaconda, P. L., Schaefer, M., & Shannon, S. (2018). Glacial lakes of the Central and Patagonian Andes. *Global and Planetary Change*, 162(December 2017), 275–291.

Yevenes, M. A., Figueroa, R., & Parra, O. (2018). Seasonal drought effects on the water quality of the Biobío River, Central Chile. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13844–13856.



Tomás Olivares M.

■ 1. Biodiversidad, aspectos conceptuales

Entendemos por Biodiversidad la variedad y variabilidad de los distintos componentes biológicos presentes en un sistema. La expresión de estos componentes va desde el nivel de clasificación más básico, por ejemplo, genes hasta niveles mayores de complejidad como el ecosistémico. En este concepto también se incluyen a las especies, poblaciones, comunidades, biotopos, biomas y otros componentes que resultan según el criterio de clasificación que se considere. En este último sentido debe también mencionarse la biodiversidad funcional, la cual dice relación con aquellas funciones y procesos que realizan todos los grupos biológicos en la naturaleza, por ejemplo, biodiversidad de animales carnívoros.

El menor componente de biodiversidad es llamado diversidad alfa, el cual describe la composición de especies, riqueza de especies y dominancia de las mismas en ensamblajes locales de especies que interactúan potencialmente. Esto puede ser caracterizado como diversidad dentro del hábitat, mientras que la diferencia en la composición de especies de hábitat locales dentro de una región es llamada diversidad beta o el recambio espacial de especies. La composición y riqueza de todos los hábitats en una región es llamada diversidad gama, el cual comprende el set regional completo de especies

potencialmente colonizando un determinado hábitat.

El término biodiversidad comprende diferentes aspectos de diferenciación biológica. Puede ser usado *sensu lato* cruzando escalas que van desde la “diversidad dentro de especie” (diferencias genotípicas en una población), “diversidad entre especies” (número de especies en una cadena trófica) hasta diversidad en un mayor nivel organizacional (grupos funcionales) (Hillebrand et al 2018).

La importancia actual de la Biodiversidad en su sentido más amplio, tanto terrestre como marina, radica no sólo en el valor de las especies y ecosistemas como elementos naturales sino más bien como Servicio Ecosistémico múltiple, entregando bienes y servicios de provisión alimentaria, de regulación climática, de soporte para otros servicios y funciones ambientales y culturales y estéticos.

■ 2. Efectos y consecuencias del cambio climático sobre la biodiversidad marina

Los impactos del Cambio Climático sobre los ecosistemas marinos son diversos y están fuertemente conectados a las variaciones en las concentraciones de CO₂, temperatura, regímenes de mezcla y a los ciclos biogeoquímicos de elementos y compuestos orgánicos (Hillebrand et al 2018).

Desde siempre la biodiversidad marina global ha estado sometida a una creciente presión por cambios ambientales generados por actividades humanas y no únicamente restringida a lo que pueda ser generado por el Cambio Climático (Wernberg et al. 2011).

La biodiversidad marina, los recursos pesqueros y la salud de los ecosistemas marinos están actualmente amenazados por la sobrepesca, contaminación, tráfico marítimo, comercio ilegal de especies, especies invasoras y otros impactos antropogénicos.

Los principales efectos del Cambio Climático sobre la Biodiversidad Marina tienen relación con la alteración de las condiciones del océano, en particular la temperatura del agua y las propiedades biogeoquímicas de la columna de agua (por ejemplo, salinidad, densidad, conductividad, nutrientes) y fondos marinos (por ejemplo, granulometría, contenido orgánico, textura) (Gatusso et al 2015).

Los organismos marinos, desde virus hasta grandes mamíferos, responden a los cambios de temperatura y otras condiciones manifestando modificaciones en su fisiología y fenología, así como también en su composición, dinámica poblacional y distribución. Por ejemplo, el estrés fisiológico conlleva un costo metabólico alto pudiendo incrementar la mortalidad o disminuir la

competencia ecológica de los organismos, alterando el tiempo empleado para alimentarse o aumentando la energía gastada para crecer o reproducirse. Cambios de temperatura pueden a su vez alterar la interacción entre especies viéndose afectadas relaciones entre grupos tróficos (herbívoros versus carnívoros) así como también las tasas de cambio entre predadores y presas (Wernberg et al 2010). En tal sentido la temperatura tiene también un efecto fundamental sobre las tasas de reacción y la mayoría de los procesos biológicos, los cuales generalmente tiene un óptimo de rendimiento.

Cambios de Ph afectan la disponibilidad de carbonato de calcio (CaCO_3) en el ambiente. Esto trae problemas para aquellos organismos que necesitan calcificar sus cuerpos (por ejemplo, corales, moluscos, crustáceos y equinodermos) en la medida que aumenta la condición ácida de las aguas por el aumento de las concentraciones de CO_2 , siendo los ecosistemas de arrecifes coralinos los que presenten un mayor impacto negativo.

Existe también evidencia que el calentamiento del clima puede aumentar el desarrollo de patógenos y su sobrevivencia, la transmisión de enfermedades y la susceptibilidad del hospedador. Esto se ha podido registrar en mar y tierra siguiendo eventos de calentamiento de gran escala asociados con el evento ENSO que se han

relacionado con enfermedades de corales, patógenos en ostras, patógenos en cultivos y en el cólera humano (Harvell et al 2002).

Las respuestas a los cambios observados en la interfase océano-atmósfera pueden desencadenar patrones modificados de composición y diversidad de especies, cambios en la estructura comunitaria, en la función de los ecosistemas y por lo tanto en los bienes y servicios ecosistémicos marinos que otorgan a la humanidad (Cheung et al 2010).

La teoría y las investigaciones confirman que los animales marinos responden al calentamiento del océano cambiando sus rangos de distribución latitudinales (Mueter & Litzow 2008) y en profundidad (Dulvy et al. 2008). Estas respuestas pueden derivar en la disminución del número de especies, desaparición total (extinción) e invasión de especies exóticas generando cambios en la riqueza global, en los patrones biogeográficos e incluso alterando las tramas tróficas de los ecosistemas marinos, pudiendo impactar a las pesquerías comerciales (Cheung et al. 2009) y poniéndose en peligro por ejemplo la seguridad alimentaria de algunas regiones del planeta.

Estudios realizados por Worm et al (2006) demuestran que aquellos ecosistemas con mayor diversidad general

de especies, retardan o amortiguan la disminución y colapso de pesquerías explotadas. Es decir, la pérdida de biodiversidad disminuye la capacidad adaptativa, de resiliencia y la variedad de respuestas bióticas de los ecosistemas marinos al cambio climático. Por lo tanto, debido a su alta variación genética, de especies y de hábitats, la Biodiversidad es considerada por algunos autores como un real seguro contra los impactos del Cambio Climático (Worm and Lotze; 2016).

Una forma de evaluar los efectos e impactos del Cambio Climático es a través de diagnósticos espaciales (por zonas geográficas) que permiten dimensionar el alcance geográfico bajo un criterio local (<10 km), regional (10-1000km) o global (>1000 km). Esta evaluación permite conocer la naturaleza y el tipo de efecto que tienen determinadas forzantes ambientales y generadores directos de cambio sobre la Biodiversidad y todos sus componentes, pero principalmente sobre sus procesos y funciones. Del mismo modo estos análisis constituyen herramientas importantes de información para el adecuado manejo y gestión de las especies, recursos genéticos y ecosistemas y para la planificación e implementación de medidas de conservación y uso sustentable.

En base a estos diagnósticos ya existe prueba que la Biodiversidad Marina cambiará en el futuro. Cambios

generados por la temperatura en la distribución geográfica de las especies podrían conducir a aumentos en la biodiversidad de zonas de altas latitudes y a una disminución en los trópicos con consecuencias para la productividad marina (Beaugrand et al. 2015).

Un elemento importante al momento de evaluar los efectos e impactos es considerar el grado de deterioro y degradación que experimentan algunas especies estructuradoras para otros organismos. Estas especies se conocen como “Especies de base” (Foundation species) y cumplen un rol ecológico fundamental, además de tener una gran influencia sobre la biodiversidad local. Las especies de base son comúnmente grandes, abundantes (pudiendo dominar sobre otras) y estructuralmente complejas. Además, otorgan hábitat, protección contra depredadores, mejoramiento del stress ambiental (por ejemplo, desecación) y alimento para una amplia variedad de especies asociadas. También favorecen una serie de procesos y funciones como la reproducción, desoves, reclutamientos, asentamiento entre otras. Algunos ejemplos de estas especies son los bosques de algas pardas (por ejemplos los huirales ampliamente extendidos en la costa de Chile), pastos marinos, corales, ostras, piures y manglares (Wernberg et al 2014). Las Especies de base definen ecosistemas, controlan la diversidad de otras especies, modelan procesos esenciales y tienen importantes

valores culturales (Ellison, 2019).

Finalmente y teniendo en cuenta que en términos globales los principales y mejor estudiados efectos del Cambio Climático sobre la Biodiversidad Marina corresponden a eventos de extinción, invasión y recambio de especies (ver Figura 1), no debe olvidarse la función que cumplen estas especies y los procesos ecológicos en lo que participan. Muchas de estas funciones y procesos comprometen la salud global del planeta (por ejemplo, la generación de oxígeno a través de la fotosíntesis que realizan cientos de especies fitoplanctónicas en los océanos o la formación de suelo marino que realizan un sinnúmero de especies de invertebrados que habitan los sedimentos del fondo oceánico) y tienen directa relación con importantes servicios ambientales y bienes ecosistémicos, sin los cuales no se sustentaría la vida en el planeta.

Una de las formas de evitar la degradación de los ecosistemas marinos es reducir las presiones antropogénicas. Reducir las emisiones de gases invernadero contribuiría a evitar las pérdidas irreversibles de biodiversidad. Sin embargo, aún no está muy claro qué ecosistemas deberían ser prioritarios de proteger según su valor biológico o ecosistémico. Está comprobado que las áreas marinas protegidas y el cierre de algunas pesquerías (vedas) mejoran la biodiversidad. Mayor diversidad mejoraría la fun-

ción ecosistémica y tendría un impacto positivo sobre la recuperación posterior a eventos climáticos extremos. En este sentido aumentar la vegetación costera por ejemplo restaurando humedales, manglares y dunas contribuye a mejorar la salud de los ecosistemas costeros. Este tipo de vegetación no sólo otorga hábitat para animales acuáticos y terrestres sino también reduce la erosión de la costa y tiene una gran capacidad para secuestrar CO₂ atmosférico (Bruno et al 2014).

El análisis global del Cambio Climático sobre la Biodiversidad Marina sirve para identificar la sensibilidad potencial de diferentes especies, regiones y recursos pesqueros a los impactos del Cambio Climático. Esta mirada general permitirá generar acuerdos e iniciar acciones entre naciones y tomadores de decisión para abordar el problema. De esta forma los próximos pasos deberían ir en la línea de obtener datos ambientales (físicos y químicos) y biológicos de áreas particularmente sensibles. El análisis de los modelos globales podrá constituirse entonces en herramientas para el diseño de sistemas de manejo y conservación de ecosistemas y para el desarrollo de indicadores y programas de monitoreo de la Biodiversidad y el Cambio Climático.

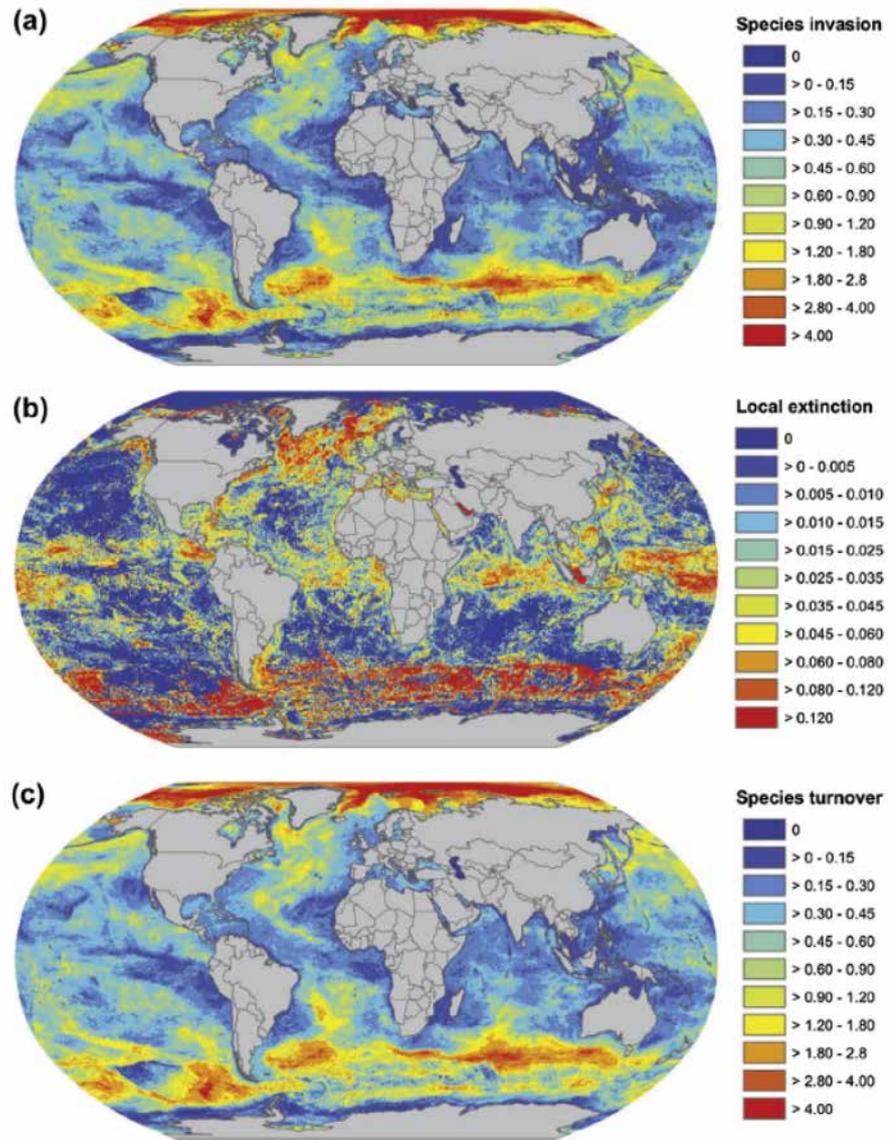


Figura 1. Predicción de los cambios en la distribución de la biodiversidad debido al impacto del calentamiento global en metazoos marinos. Los impactos sobre la biodiversidad están expresados en a) intensidad de la invasión de especies, b) intensidad de la extinción local de especies (c) recambio de especies, para 1066 especies de peces e invertebrados al año 2050 en relación a un valor medio entre 2001 y 2005 (escenario alto de cambio climático). La intensidad está expresada como una proporción a la riqueza inicial de especies en una celda de 30 millas náuticas x 30 millas náuticas. (Tomado de Cheung et al 2009).

■ 3. Una mirada desde la experiencia personal del autor

La experiencia del autor con la investigación y el conocimiento de la Biodiversidad Marina se inicia el año 1998 al iniciar su tesis de pregrado en Biología Marina en la Universidad de Valparaíso. Durante más de dos años trabajó en una investigación que permitió conocer los cambios temporales de una comunidad de gusanos marinos (poliquetos) que habitan el fondo marino, afectados por diversas perturbaciones ambientales en la bahía de Quintero. A diferencia de lo que se podría pensar comúnmente, se concluyó en esta investigación que existen organismos que logran adaptarse a la contaminación y que son más sensibles a factores ambientales externos como eventos puntuales de aporte orgánico o el evento El Niño.

En la misma época participa también en la Iniciativa Darwin que fue un programa internacional que se desarrolló a través de la ejecución del Proyecto Darwin; “Un modelo de colaboración en el Parque Nacional Laguna San Rafael en la región de Aysén”, sur de Chile. El Proyecto Darwin consistió en investigaciones tanto terrestres como marinas (líquenes, insectos, mamíferos, plantas, invertebrados marinos y algas, entre otras) desarrolladas en el Parque Nacional Laguna San Rafael y el Archipié-

lago de Los Chonos”. El objetivo central del proyecto fue obtener información sobre la diversidad biológica de estas áreas que pueda ser utilizada por CONAF para su apropiada administración y protección. Posteriormente el proyecto pasó a llamarse “Biodiversidad de Aysén: Manejo sustentable de las Areas Protegidas de la Región de Aysén”. Este nuevo proyecto extendió su cobertura geográfica hacia zonas más alejadas y prístinas de la región de Aysén e incorporó objetivos de manejo sustentable y ordenamiento territorial a las áreas estudiadas.

Los resultados de estas investigaciones permiten concluir que en la región existe una alta y desconocida diversidad ecológica costera y sublitoral, la cual está altamente influenciada por los cambios en la salinidad del agua superficial que son producidos por los aportes glaciares, constantes lluvias y aportes de ríos. En el actual escenario de Cambio Climático surge entonces la necesidad de evaluar estos factores y conocer cómo determinan en el tiempo la Biodiversidad Marina de esta región austral. También se destacan algunas forzantes ambientales que influyen sobre la Biodiversidad Marina, como la pesca artesanal, el turismo, la deforestación, la acuicultura y las especies exóticas invasoras como el visón. Claramente la Patagonia Chilena se convierte en un ecosistema ideal para estudiar los impactos del Cambio Climático por sus atributos ecológicos y emplazamiento geográfico.

Posteriormente participa del programa global Census of Marine Life con motivo de la realización de su doctorado en Biología Marina y Oceanografía en el Museo de Historia Natural de Londres y en la Universidad de Southampton, Inglaterra. El programa Census of Marine Life fue un proyecto mundial desarrollado durante 10 años (2000-2009) por más de 2000 científicos provenientes de 82 naciones y que tuvo como objetivo esencial evaluar y explicar la diversidad, distribución y abundancia de la vida marina en los océanos (Trew et al 2009). A través de su participación en el proyecto asociado sobre diversidad de planicies abisales (Cedamar) desarrolla investigación sobre taxonomía y ecología de invertebrados que habitan los sedimentos marinos a casi 5000 metros de profundidad en el océano Atlántico Norte. Los resultados confirmaron la directa conexión que existe entre los procesos que ocurren en la columna de agua y las respuestas de la fauna que habita en el fondo.

Los principales resultados del proyecto “Census of Marine Life” fueron: En términos de Diversidad se contabilizaron alrededor de 250.000 especies marinas con más de 6.000 potenciales nuevas especies, describiéndose formalmente más de 1.200 de ellas. Por lo tanto, las especies raras son comunes. En cuanto a Distribución se encontraron organismos en todos los ambientes, desde lugares con altas temperaturas, sin luz ni oxígeno o incluso donde el

agua salada se congela. Es decir, los ambientes extremos son normales. En lo que se refiere a Abundancia más del 90% de la biomasa marina es microbiana, el número de individuos, su peso y la producción de alimento por el fitoplancton en la superficie ha disminuido. En el fondo marino las más altas abundancias se encuentran en las zonas polares y en los márgenes continentales sin embargo un alto porcentaje de la vida marina aún es desconocida (www.coml.org).

En la Universidad de Valparaíso desarrolla en el presente investigación básica y aplicada en las áreas de Ecología, Biodiversidad y Taxonomía de organismos bentónicos, desde la costa hasta las grandes profundidades, cubriendo de esta forma una amplia variedad de ecosistemas. Ha participado del programa CIMAR (Crucero de Investigación Marina en Areas Remotas) perteneciente al Comité Oceanográfico Nacional ejecutando proyectos sobre Biotopos Marinos litorales de la Patagonia. En estos proyectos ha podido conocer la exuberancia, belleza y riqueza de nuestra flora y fauna austral y estudiar cómo la ecología de estas comunidades litorales responde a factores como la influencia glaciár, los aportes de agua dulce (ríos, lluvias) y la oceanografía local, entre otros. Los principales resultados de estos estudios reportan alta riqueza de macroalgas litorales, moluscos, crustáceos, equinodermos, cnidarios y anélidos, así como la presencia de nuevos biotopos costeros (Figura 2) en donde la

salinidad, el grado de exposición a los vientos, el sustrato y el oleaje son las variables ambientales que más influyen (Soto et al 2012).

Con el apoyo del programa Fondecyt de la Comisión Nacional de Ciencia y Tecnología lideró un proyecto en la bahía de Valparaíso que permitió caracterizar la Biodiversidad bentónica de fondos sedimentarios, contabilizándose 138 especies de invertebrados pertenecientes a la macrofauna ($>500\mu\text{m}$) entre pequeños gusanos, moluscos y crustáceos (Soto et al 2017) y 51 taxa pertenecientes a la meiofauna, entre nemátodos, halocáridos y copépodos ($>63\mu\text{m}$) (Soto et al 2015). Estos estudios destacan la importancia que tiene el fondo marino y los aportes orgánicos en definir la diversidad marina y aporta conocimiento para una bahía que paradójicamente está muy poco estudiada. Los grupos biológicos estudiados (macrofauna y meiofauna, Figura 3) son claves en la formación de suelo marino y en una serie de procesos sedimentarios (por ejemplo, remineralización, oxigenación y bioturbación) participando también en la formación de algunos gases invernadero como el metano desde el fondo marino. Los resultados obtenidos también confirman la presencia y avance de la Zona de Mínimo de Oxígeno ($<0,5\text{ml(L)}$) en la costa de Chile central, lo cual estaría relacionado con el Cambio Climático y como las especies marinas se adaptan a vivir con esta condición.

Actualmente se encuentra investigando la Biodiversidad, Biogeografía, Conectividad Genética y Geoquímica de la Fosa de Atacama y de Montes Submarinos en el Pacífico Sureste. Algunos de estos montes se encuentran dentro de Areas Marinas Protegidas pertenecientes al Estado de Chile, por cuanto la información generada servirá para su manejo y conservación así como su vulnerabilidad al Cambio Climático. Esta investigación fue realizada a bordo del buque científico Mirai perteneciente a la Agencia Japonesa para la Ciencia y Tecnología del mar y la tierra. Los principales hallazgos reportan preliminarmente la presencia de nódulos de manganeso y fauna bentónica de alto valor biológico en torno a los montes submarinos estudiados. Los resultados obtenidos permitirán testear hipótesis relacionadas con el grado de endemismo, hotspot biológico y conectividad que tendrían estos ecosistemas.

Otro aspecto relevante en la investigación sobre Biodiversidad Marina Global es la vinculación activa en redes de trabajo, investigación y colaboración internacional. En este sentido el autor se encuentra asociado a DOSI (Deep Ocean Stewardship Initiative). Este organismo tiene por objetivo fundamental integrar ciencia, tecnología, política, leyes y economía para asesorar sobre el manejo ecosistémico del uso de los recursos en el mar profundo y la generación de estrategias para mantener la integridad

de los ecosistemas profundos dentro y más allá de las zonas de jurisdicción de las naciones. También participa de GOBI (Global Ocean Biodiversity Initiative) siendo el punto focal para Chile. GOBI es una alianza internacional de organizaciones comprometidas en avanzar en las bases científicas para conservación de la diversidad biológica en el ambiente marino. Además, contribuye con experiencia, conocimiento y datos para apoyar los esfuerzos de la Convención sobre Diversidad Biológica para identificar áreas marinas de importancia biológica y ecológica (EBSAs) asistiendo a un rango de organizaciones intergubernamentales, regionales y nacionales para usar y desarrollar datos, herramientas y metodologías. Ambas iniciativas consideran al Cambio Climático en sus estudios y evaluaciones como uno de los principales factores modificadores de la Biodiversidad Marina.

Además, está vinculado a MBON (Marine Biodiversity Observation Network). MBON es una iniciativa global formada por redes regionales de científicos, manejadores de recursos y usuarios que trabajan para integrar datos de distintos programas para mejorar nuestra comprensión de los cambios y conexiones entre la biodiversidad marina y la función de los ecosistemas. El proyecto actualmente en ejecución corresponde a MBON Pole to Pole y consiste principalmente en desarrollar una Comunidad de Práctica a través de América (desde el Ártico

hasta la Antártica) para la evaluación de la biodiversidad marina y el cambio del ecosistema usando observaciones de campo y del espacio.

Finalmente, en el plano local participa del Grupo de Trabajo sobre Biodiversidad Acuática del Comité Oceanográfico Nacional, organismo que pertenece al Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada, SHOA. Este grupo de trabajo tiene por finalidad, entre otras, incentivar el estudio de la biodiversidad acuática, fomentando el desarrollo de la taxonomía, sistemática y biogeografía acuática y diagnosticar problemas que afectan la biodiversidad acuática y coordinar acciones con otras instancias involucradas en la materia. En esta línea se abordan temáticas relacionadas con la contaminación, las floraciones algales nocivas, las aguas de lastre, la eutroficación, las especies invasoras, el estado y disminución de los recursos pesqueros, los varamientos de cetáceos, etcétera, siendo algunos de estos temas de directa relación con el Cambio Climático.



Figura 2. Biotopos Marinos de la Patagonia Chilena. a) Isla Duque de York, b) Estero Calvo, c) Isla Vancouver y d) Isla Manuel Rodríguez.

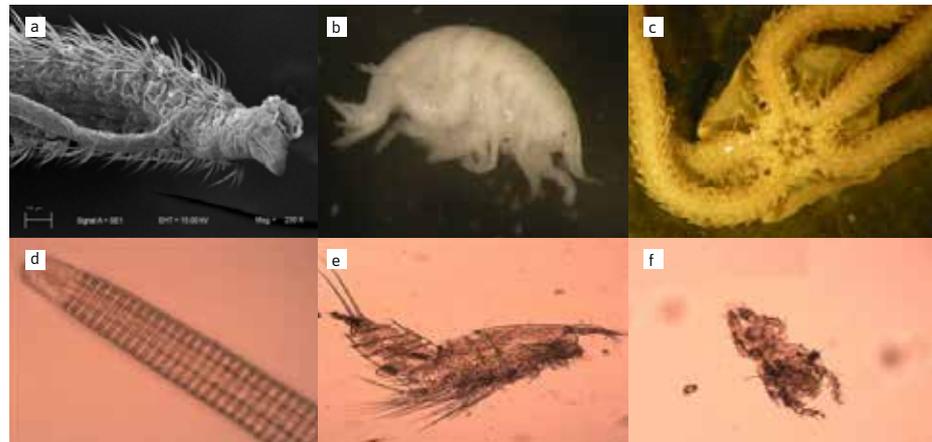


Figura 3. Invertebrados marinos de la macrofauna ((a, b y c) y de la meiofauna (d, e y f) bentónica presentes y abundantes en los fondos marinos de Chile central. a) *Cossura chilensis* (Annelida, Polychaeta), b) *Metharpinia longirostris* (Crustacea, Amphipoda), *Amphiplus magellanicus* (Echinodermata, Ophiuroidea), d) Nemátodo indeterminado, e) Copépodo harpacticóideo y f) Acari (Halocarida; Chelicerata)

■ 4. Un llamado a la acción: propuestas de políticas públicas

Se presentan algunas ideas e iniciativas necesarias y urgentes para impulsar y mejorar la investigación y conocimiento de la Biodiversidad Marina y el Cambio Climático. Algunas de ellas tienen enfoques científicos mientras que otras apuntan al manejo y conservación de especies y ecosistemas. Independiente de lo anterior cualquier iniciativa que se desarrolle en esta línea debe trascender más allá de los gobiernos y constituirse en políticas de Estado de largo plazo.

En el ámbito del Cambio Climático es imperativo un mayor fomento y apoyo a las carreras de pregrado del ámbito de las Ciencias de la Tierra que tienen un componente científico más desarrollado. Oceanografía, Meteorología, Biología y Geología Marina entre otras requieren de un mayor apoyo e impulso en nuestra sociedad, así como una mayor vinculación con la industria y con los tomadores de decisión.

Entrenamiento permanente para el personal de CONAF (guarda parques) en técnicas de manejo de información y de monitoreo biológico, por parte de expertos científicos nacionales y extranjeros.

Fomento, desarrollo y profesionalización de los museos

de historia natural en el país y de las colecciones biológicas existentes en diferentes universidades y centros de investigación. Esto se logra mediante un mayor aporte de recursos económicos, conocimiento de experiencias y realidades en el extranjero y contratación de nuevos científicos y expertos con el objetivo de cubrir el estudio de la mayor cantidad de grupos biológicos. Lo anterior también considera la capacitación en el extranjero de profesionales, científicos y técnicos en cursos especializados de taxonomía, sistemática, filogenia, curatoría, conservación y manejo de colecciones biológicas y museológicas.

Asignar mayor dinero a fondos de proyectos concursables como el Fondo de Investigación de Pesca y Acuicultura, Ministerio de Medioambiente, CIMAR, Fondecyt, Fondef, FIC, CORFO, etc, con el propósito de permitir una adecuada ejecución, difusión e implementación de los mismos.

Dotar de recursos económicos a las Universidades que realizan investigación en el tema para la adquisición, operación, equipamiento y mantenimiento permanente de embarcaciones idóneas para realizar investigación, docencia, asistencia técnica y difusión en el tema. Lo anterior considera la contratación de personal y funcionarios de dedicación específica para estas labores y su remuneración en el tiempo.

Adquisición de equipamiento para medición oceanográfica (por ejemplo, boyas costeras para la medición de corrientes e hidrografía en tiempo real) y su mantención periódica en el tiempo. Esto considera equipar al buque científico Cabo de Hornos de instrumentos para el muestreo de fondo a alta profundidad (multicorer, megacorer, redes, rastras, box-core, dragas, gliders, landers, ROVs, AUVs, etc.) y construir o comprar una o dos embarcaciones más con fines exclusivamente científicos.

Seleccionar ecosistemas más sensibles y únicos al Cambio Climático que pudieran ser considerados como ecosistemas centinelas (islas oceánicas, lagos altiplánicos, campos de hielo, humedales, con alta biodiversidad) y que por falta de conocimiento de ellos no sabemos cómo responden al Cambio Climático. De esta forma estudiar sus cambios con un enfoque de series de tiempo largas y permanentes (décadas).

Dotar de recursos económicos al Grupo de Trabajo sobre Biodiversidad Acuática perteneciente al Comité Oceanográfico Nacional para su gestión, administración y realización de actividades permanentes y entregarle mayores herramientas de participación, gestión y toma de decisiones para que su función trascienda y tenga real impacto a nivel nacional.

Concretar la ejecución del proyecto Censo de la Vida Marina en Chile. Este proyecto toma la idea original del proyecto global “Census of Marine Life” realizado entre los años 2000 y 2009. Consiste en realizar un catastro científico detallado de todos los componentes biológicos que conforman los principales ecosistemas marinos presentes en el territorio y maritorio chileno. También incluye un importante fomento a la generación de colecciones museológicas y a la creación de acuarios científicos y educacionales. Ha sido liderado por el Dr. Victor Ariel Gallardo, investigador y docente de la Universidad de Concepción y presentado a las autoridades de gobiernos anteriores (Michelle Bachelet y Sebastián Piñera), sin embargo, no ha concitado el interés ni apoyo necesario para su financiamiento y posterior ejecución.

Crear una Red de Asesores Científicos en temas técnicos y específicos que asistan y apoyen a organismos gubernamentales como el Ministerio de Relaciones Exteriores, Ministerio de Ciencia, Ministerio de Medioambiente, entre otros, en la formulación de instrumentos de gestión, reglamentos y políticas públicas sobre Biodiversidad Marina y Cambio Climático, permitiéndoles asistir de forma permanente a reuniones, congresos, cursos de entrenamiento, seminarios y workshops internacionales con el objetivo de transmitir y difundir el conocimiento y la información obtenida hacia los organismos y

funcionarios competentes.

Crear un Fondo especial que financie la investigación sobre descripciones, caracterizaciones, catastros, censos y líneas bases biológicas de los distintos ambientes y ecosistemas marinos, estuarinos y dulce acuícolas presentes en Chile, sus aguas territoriales, la Zona Económica Exclusiva, las Islas Oceánicas, la Antártica y todos los fondos marinos aledaños. Considerar también en esta investigación las Areas más allá de la jurisdicción nacional, los recursos migratorios transoceánicos y los recursos genéticos marinos.

Referencias

- Beaugrand G, Edwards M, Raybaud V, Goberville E, and R.R. Kirby. 2015. Future vulnerability of marine biodiversity compared with contemporary and past changes. *Nat Clim Change* 5:695–701
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R and D. Pauly. 2009. Projecting global marine biodiversity impacts under climate change scenarios. *Fish Fish* 10:235–251
- Cheung WWL, Lam VWY, Sarmiento JL, Kearney K, Watson R, Zeller D, et al. 2010. Large-scale redistribution of maximum fisheries catch potential in the global ocean under climate change. *Global Chang Biol*. 16(1):24±35.
- Ellison, A. 2019. Foundation species, non-trophic interactions, and the value of the being common. *iScience*, 13:254-268.
- Gattuso JP, Magnan A, Bille R, Cheung WWL, Howes EL, Joos F, et al. 2015. Contrasting futures for ocean and society from different anthropogenic CO₂ emissions scenarios. *Science* 349(6243).
- Harvell, C.D., C.E. Mitchell, J.R. Ward, S. Altizer, A.P. Dobson, R.S. Ostfeld, M.D. Samuel, 2002. Climate Warming and Disease Risks for Terrestrial and Marine Biota. *Science* 296: 2158–2162
- Hillebrand, H., T. Brey, J. Gutt, W. Hagen, K. Metfies, B. Meyer, and A. Lewandowska. 2018. Climate Change: Warming Impacts on Marine Biodiversity. Chapter 18. En *Handbook on Marine Environment Protection* Publisher: Springer, Cham. Editors: Markus Salomon, Till Markus.
- Keeling, R.F., A. Kortzinger and N. Gruber. 2010. Ocean Deoxygenation in a Warming World. *The Annual Review of Marine Science*. 2:199-229.
- Mueter, F.J. and M.A. Litzow, 2008. Sea ice retreat alters the biogeography of the Bering Sea continental shelf. *Ecological Applications* 18(2), 309–320.
- Rosenzweig, C., D. Karoly, M. Vicarelli, et al. 2008. Attributing physical and biological impacts to anthropogenic climate change. *Nature* 453, 353–357.
- Schmittner, A. 2005. Decline of the marine ecosystem caused by a reduction in the Atlantic overturning circulation. *Nature* 434: 628–633.
- Soto, E., Quiroga, E., Ganga, B. and Alarcón, G. 2017. Influence of organic matter inputs and grain size on soft-bottom macrobenthic biodiversity in the upwelling ecosystem of central Chile. *Marine Biodiversity*: 47(2):433–450.
- Soto, Eulogio, Caballero, W. and Quiroga, E. 2015. Composition and vertical distribution of metazoan meiofauna assemblages on the continental shelf off central Chile. *Latin American Journal of Aquatic Research* 43(5): 922-935.
- Soto, E.H., P. Báez, M.E. Ramírez, S. Letelier, J. Naretto & A. Rebolledo. 2012. Biotopos Marinos intermareales entre Canal Trinidad y Canal Smyth, Sur de Chile. *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 47(2): 177-191
- Trew, C., G. Scowcroft and J.M. Harding, 2009. *World Ocean Census: a global survey of marine life*. Firefly Books

Wernberg T, Thomsen MS, Tuya F, Kendrick GA, Staehr PA, Toohy BD. 2010. Decreasing resilience of kelp beds along a latitudinal temperature gradient: potential implications for a warmer future. *Ecol Lett* 13:685–694.

Wernberg, T. B.D. Russell, M.S. Thomsen and S.D. Connell. 2014. Marine Biodiversity and Climate Change. *Global Environmental Change*. Bill Freedman (ed.), DOI 10.1007/978-94-007-5784-4_80,

Worm, B., Barbier, E.B., Beaumont, N. et al. 2006. Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science* 314, 787–790.

Worm B, H.K. Lotze. 2016. Marine biodiversity and climate change. Chapter 13. En: Letcher T (ed) *Climate and global change: observed impacts on Planet Earth*. 2nd Edition, Elsevier: 195-212.

First Census of Marine Life 2010: Highlights of a Decade of Discovery. Report 64 pages. www.coml.org.



CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR SALUD

Nicolás Gálvez A.

Intituto Milenio en Inmunología e Inmunoterapia, Iniciativa Científica Milenio.
Departamento de Genética Molecular y Microbiología, Facultad de Ciencias Biológicas,
Pontificia Universidad Católica de Chile.

G.A Pacheco, F.E. Díaz, Mariana Ríos M.

Intituto Milenio en Inmunología e Inmunoterapia, Iniciativa Científica Milenio.
Departamento de Genética Molecular y Microbiología, Facultad de Ciencias Biológicas,
Pontificia Universidad Católica de Chile.

Alexis Kalergis P.

Intituto Milenio en Inmunología e Inmunoterapia, Iniciativa Científica Milenio.
Departamento de Genética Molecular y Microbiología, Facultad de Ciencias Biológicas,
Pontificia Universidad Católica de Chile.

■ Introducción

Existe una creciente preocupación respecto a las alteraciones de los parámetros climáticos y el posible impacto que podrían tener sobre la salud humana, lo que podría aumentar la ocurrencia de ciertas enfermedades.

Los efectos del cambio climático sobre las enfermedades infecciosas transmitidas por vectores han sido uno de los recientes focos de atención^{4,7} debido a que los factores climáticos modulan muchos aspectos de su biología, tales como la tasa de reproducción del vector y la tasa de transmisión de los patógenos que transportan. Las enfermedades transmitidas por vectores producen una gran carga sanitaria y económica en muchas regiones, por lo que es crucial, desde un punto de vista de salud pública, cuantificar los impactos del cambio climático en tales enfermedades. Se define como vector a un organismo biológico (animal, insecto e incluso microorganismos) capaz de transportar un microorganismo causante de una enfermedad, es decir un patógeno, sin sufrir los síntomas de esta misma.

En Chile, específicamente en la zona centro-sur del país, se espera que la incidencia de enfermedades transmitidas por vectores varíe significativamente debido al cambio climático. Dentro de estos vectores responsables de

transmitir enfermedades destacan los roedores, los mosquitos y las garrapatas. Debido al cambio climático, se espera que el comportamiento y la distribución de estos organismos varíe, ya sea aumentando o disminuyendo su número y su ubicación geográfica. Esto tiene como impacto variaciones en la transmisión de enfermedades como el Hanta, la malaria o el dengue, los cuales serán discutidos más adelante. Particularmente, en este artículo nos concentraremos en algunos de los efectos que está generando este proceso sobre la salud de las personas, especialmente relacionado a enfermedades infecciosas y enfermedades crónicas contingentes. Algunos ejemplos relevantes en este ámbito, se presentan en los capítulos siguientes.

■ 1. Cambio climático y enfermedades infecciosas virales

Dengue

En un estudio realizado en algunos países de Latinoamérica y el Caribe, se plantea que el cambio climático amplificará el riesgo de enfermedades transmitidas por mosquitos ya que aumentará la duración de la temporada de transmisión del dengue en comparación al escenario actual.⁶ Se estima que el incremento de casos de dengue podría llegar a 10.7 a 11.8 millones para el año 2.050.⁸

Sin embargo si el calentamiento global pronosticado de 3,7°C pudiera reducirse a 2,0 o a 1,5°C, esto resultaría beneficioso para la salud, a pesar de que el número de casos estimados todavía estarían por encima de los niveles actuales.⁶ Lo que resulta preocupante es que al incrementar la temporada de transmisión del dengue, bajo el escenario del calentamiento global de 3,7°C, se podría potencialmente expandir la zona endémica de la enfermedad hacia áreas donde la incidencia es actualmente baja. La expansión prevista podría estar relacionada con condiciones más propicias para los mosquitos *Aedes*, la cual podría reducirse si el incremento en la temperatura fuera solo de 1,5°C.¹¹ Es importante destacar que probablemente la población de estas zonas, donde actualmente la transmisión es baja, esté inmunológicamente poco preparada para una infección con este patógeno, debido a la baja tasa de transmisión¹² y, en consecuencia, es más probable que sucumban a grandes epidemias. Además, los sistemas de salud pública en algunas de estas regiones no están preparados para hacer frente a las principales epidemias del dengue.

Aunque las proyecciones explícitas de riesgo de aumento de los casos de dengue brindan información útil para la preparación de la salud pública, existen algunos factores que podrían cambiar el escenario. Por ejemplo, la existencia de una vacuna reduciría significativamente el

riesgo de infección. Estudios recientes sugieren que una vacuna tetravalente contra el dengue es eficaz contra los casos de dengue virológicamente confirmados.¹³ Sin embargo, la evaluación de esta vacuna tetravalente indica que su eficacia media es solo del 58%, con alguna variación entre los serotipos.¹⁴ Otros factores determinantes de la enfermedad, como el desarrollo socioeconómico, el despliegue de intervención, la urbanización y el movimiento internacional de personas y bienes, pueden producir cambios significativos en los niveles de riesgo que experimenten las poblaciones afectadas a futuro^{9,15,16}. Además, es probable que la calidad de los sistemas de vigilancia epidemiológica varíe ampliamente entre los países y dentro de ellos, lo que agrega incertidumbre a las estimaciones.

En Chile existen reportes de casos de dengue en Iquique ya desde el año 1889-con una epidemia significativa el año 1912- y la presencia de *Aedes aegypti* en Chile continental fue documentada hasta su eventual erradicación el año 1.961. Sin embargo, nuevos reportes indicaron su reaparición en la Isla de Pascua en el año 2.000. Utilizando un método satelital de predicción de acuerdo a las variables ambientales, se concluye que las regiones de la zona más al norte del país son áreas de riesgo potencial debido a las condiciones ambientales apropiadas para que el mosquito vector desarrolle su ciclo de vida, lo que

implica una potencial población de riesgo cercana a 1 millón de habitantes (Figura 1). Además, estas regiones son áreas de riesgo ya que cuentan con puntos de entrada internacional, lo que potencialmente eleva el riesgo de introducción del vector.¹⁷ Es necesario establecer nuevas medidas de vigilancia que permitan mantenernos actualizados respecto a la posible emergencia de brotes de dengue, teniendo en consideración que ya contamos con el vector en nuestro país. De la misma manera, es necesario informar a la población para que puedan formar parte de las medidas preventivas que se deben implementar para mantener al país libre de esta enfermedad.

Hanta virus

El Síndrome Cardiopulmonar por Hantavirus (SCPH) es una enfermedad endémica del continente americano, cuyas características más notables son su alta letalidad, y el contagio de casos por contacto indirecto con los vectores biológicos, que son principalmente roedores. En Chile, el reservorio es el ratón de cola larga (*Oligoryzomys longicaudatus*) y las personas con mayor riesgo de desarrollar esta grave enfermedad corresponden a residentes de localidades rurales, trabajadores agrícolas/forestales, y personas que desarrollan actividades recreacionales o de entrenamiento militar en sectores rurales donde el ratón habita.^{18, 19} A nivel continental, se han reportado más

de 4.000 casos desde su primer reporte en 1.993, de los cuales más de 1.000 han ocurrido en Chile. Actualmente los virus Hanta se consideran virus emergentes a nivel global, debido a su frecuente notificación durante las últimas décadas, y a la aparición de diversas especies de virus Hanta^{20, 21} (Figura 1).

La eco-epidemiología de los virus Hanta es altamente compleja y es dependiente de numerosos factores, estando la aparición de casos de HCPS fuertemente ligada a la distribución del roedor reservorio.²² Varios estudios han asociado estos casos con factores ambientales, climáticos, demográficos, y de uso de tierras.²³ Algunos factores tales como temperatura ambiental y nivel de precipitaciones han sido frecuentemente relacionados a HCPS, y este último factor se ha indicado como un predictor de casos.^{23, 24} Se ha sugerido que el incremento en precipitaciones, tras eventos climáticos de El Niño, ha causado un aumento de la producción primaria, mayor densidad de recursos, y un consecuente aumento de poblaciones de roedores.²⁵ Indicadores de niveles de verdor de vegetación, parámetro que se relaciona a variación climática interanual, también se han relacionado con ocurrencia de HCPS.²⁶ Por otra parte, la temperatura ambiental puede afectar la sobrevivencia y comportamiento de roedores.²⁷ Finalmente, en Sudamérica, este problema emergente se ha relacionado con el crecimiento de zonas de urbaniza-

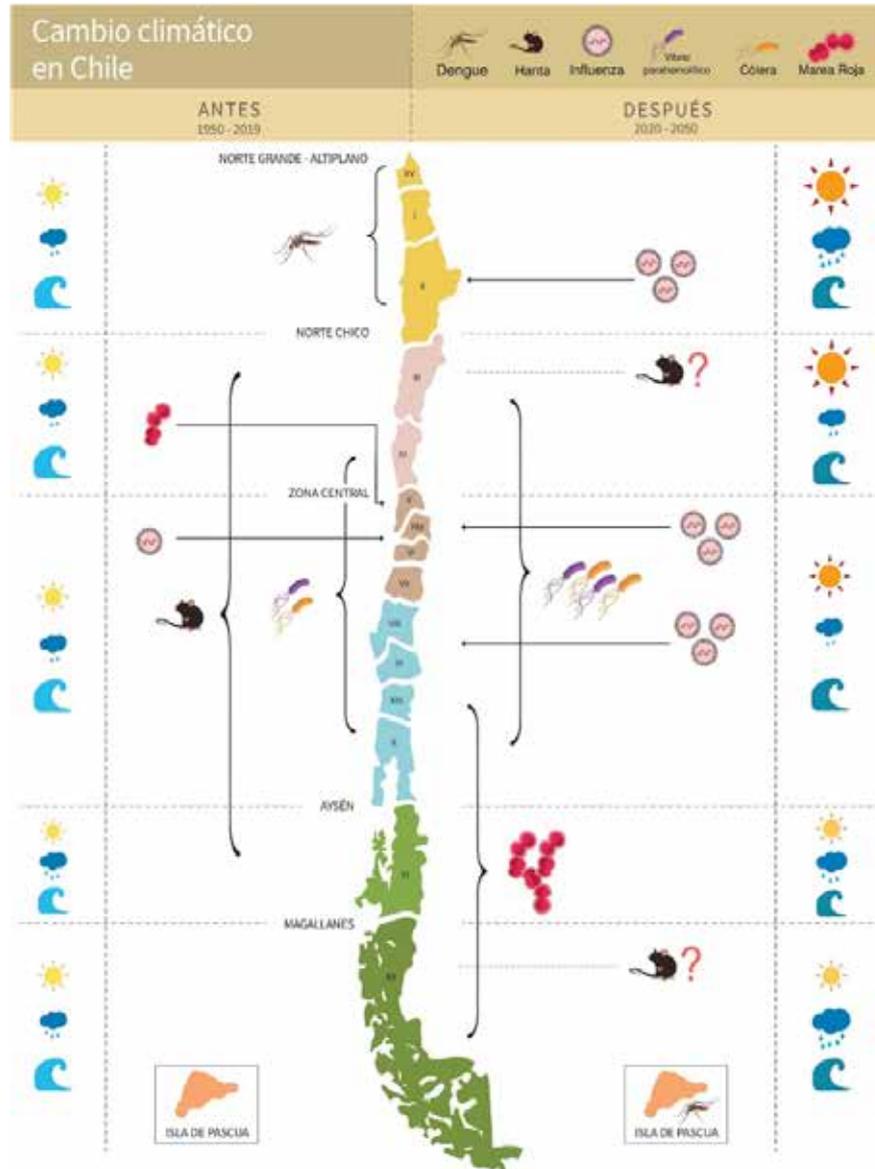


Figura 1. Impacto del cambio climático en Chile sobre vectores y microorganismos causantes de enfermedades. Se muestra la distribución de los vectores y de los microorganismos causantes de las enfermedades discutidas en el artículo. A la izquierda se aprecia el panorama en Chile en los años pasados (Antes – 1.950 - 2.019), mientras que en la derecha se aprecian proyecciones de cómo podrían variar estos vectores y los microorganismos en el futuro (Después – 2.020 - 2.050). Las flechas y llaves indican la ubicación geográfica de los vectores y microorganismos. Una mayor cantidad del organismo representa un incremento en la incidencia de la enfermedad. Además, en los extremos izquierdo y derecho se muestra cómo han variado las temperaturas ambientales, la cantidad de lluvias y la temperatura marítima, en estos años, de tal manera que una imagen más grande representa un incremento.^{67, 68}

ción, así como también con la expansión de áreas de uso de recurso agrícola y de crianza de animales dentro del ecosistema de roedores.²⁰

Si bien los cambios epidemiológicos y la emergencia de casos de HCPS debido al cambio climático son difíciles de anticipar, los expertos indican que es altamente probable que este fenómeno impactará en las poblaciones del reservorio y en la distribución y frecuencia de casos clínicos. Además, la frecuencia e intensidad de eventos de clima extremo, sumado a los cambios de comportamiento humano podrían impactar en un mayor riesgo de contacto humano con los virus Hanta 28. Debido a ello, es esencial tomar las medidas necesarias para evitar un impacto en la salud pública a nivel nacional e internacional, frente a todos estos cambios que estamos enfrentando. Estas medidas consideran, entre otras, conocer los sitios en los cuales habita el roedor, sus posibles sitios de interacción con las personas y el impacto que podría tener la modificación de su entorno en su desarrollo y relación con el humano. Además, también es necesario establecer nuevas medidas de vigilancia, que permitan identificar de manera temprana a las personas que puedan enfrentarse al virus, de tal manera de poder realizar un tratamiento más efectivo y temprano.

Influenza

Los efectos del cambio climático no están únicamente asociados a cambios en las enfermedades que requieren de un vector para ser transmitidas. También se han descrito cambios en otros tipos de enfermedades que pueden ser contagiadas de manera directa entre personas. Este el caso del virus de la Influenza, para el cual se ha descrito que ya se han generado cambios en las distribuciones estacionales de este virus.²⁹ Particularmente, se ha descrito que inviernos más cálidos suelen estar seguidos de temporadas con casos de Influenza que comienzan más temprano en el siguiente año.²⁹

Esto también se condice con recientes estudios en modelos marinos que muestran que temperaturas más cálidas suelen disminuir la capacidad del sistema inmune de responder frente a enfermedades infecciosas, como aquellas causadas por el virus de la Influenza.³⁰ Esto está directamente relacionado con el estado nutricional deteriorado que tienen estos ratones debido a las altas temperaturas (36°C/96,8°F) a las que fueron expuestos.³⁰

Más interesante aún, en lugares del mundo en los cuales previamente no se reportaban comúnmente casos de Influenza, ahora sí son considerados como sitios para su detección, probablemente debido al efecto que ha

tenido el cambio climático sobre estos sectores y debido también a la sensibilidad que tiene este virus a cambios en la temperatura y la humedad.^{31,32} En esta misma línea, hay estudios que muestran que un incremento en la concentración de partículas de CO₂ en regiones, que no presentaban previamente altos valores, se relacionan con un incremento en la tasa de infecciones producidas por Influenza aviar.³⁰

Particularmente en Chile, el año 2019 se reportó un aumento significativo en el número de casos de Influenza a nivel nacional respecto a los dos últimos años. De la misma manera, se ha detectado una prevalencia significativa del virus Influenza A(H1N1),³³ en contraste a los dos últimos años en los cuales el virus prevalente era el A(H3N2).³⁴ Este año, la temperatura media del invierno en Chile ha rondado los 11°C y los 12°C, de acuerdo a datos recolectados por la estación meteorológica Aeropuerto Eulogio Sanchez. El año 2018, la temperatura media se movió entre los 11°C y los 15°C, mientras que el año 2017 se movió entre los 11°C y los 14°C (Figura 1).

Estos datos parecen condecirse con la información presentada previamente, en la que se indica que inviernos con temperaturas más cálidas son seguidos por temporadas de Influenza con inicios más tempranos y con una mayor incidencia sobre la población.²⁹ De esta manera, conocer

el estado actual de las temperaturas y los cambios que éstas podrían sufrir debido al cambio climático, puede ayudar a estar más preparados para posibles brotes de Influenza en el futuro. De la misma manera, los centros asistenciales en Chile deben ser conscientes del impacto que tiene la fluctuación de la temperatura en invierno sobre los brotes de este virus.

■ 2. Cambio climático y enfermedades infecciosas bacterianas

Cólera

El cólera es una enfermedad gastrointestinal caracterizada por fuertes diarreas, dolor abdominal, fiebre e intensa deshidratación si es que no se trata, pudiendo llegar a ser mortal en muchos casos. Uno de los principales agentes etiológicos del cólera es la bacteria *Vibrio cholerae*, que secreta la toxina colérica, responsable de los síntomas gastrointestinales.³⁷ Si bien históricamente el cólera se ha asociado principalmente con malas condiciones sanitarias, esta bacteria, al igual que sus parientes, se puede acumular dentro de organismos filtradores presentes en el mar, como moluscos, y transmitirse a los humanos mediante el consumo de estos productos marinos.

Recientemente, grupos de investigadores argentinos han determinado que ha habido un aumento en el tamaño de la población de *V. cholerae* en estuarios patagónicos, lo que se ha asociado principalmente al aumento de la temperatura de las aguas, y a la baja en su salinidad³⁸ (Figura 1). Se ha observado que ambos factores (el aumento en la temperatura y la baja en la salinidad) favorecen el crecimiento de la bacteria en condiciones controladas,³⁹ y también se asocian al calentamiento global, especialmente al derretimiento de glaciares. Varios estudios a lo largo del mundo han encontrado relaciones de este tipo, entre cambio climático y la proliferación de *V. cholerae*.³⁹⁻⁴¹

Además, los cambios fisicoquímicos del ambiente marino asociados al cambio climático y al calentamiento global (temperatura, salinidad y acidez), afectan profundamente a la estructura de las comunidades microbianas que lo habitan. Estas interacciones también modulan el crecimiento de bacterias y otros organismos patógenos, especialmente a los que respecta la proliferación de fitoplancton y microalgas, que son una de las principales fuentes de alimento para estos microorganismos.^{39,42} En esta línea, las estaciones de monitoreo marino juegan un rol fundamental en la prevención de brotes de esta enfermedad, pues cumplen un rol de vigilancia y advertencia ante posibles proliferaciones de esta población bacteriana, por lo que es necesario darle mayor énfasis a

su rol, sobre todo en nuestro país, el cual cuenta con una amplia zona marítima que debe ser cubierta.

Vibrio parahaemolítico

Vibrio parahaemolyticus es una bacteria que produce síntomas del tipo diarreico agudo, pudiendo llegar a tener complicaciones hemorrágicas, que se puede presentar en conjunto a otros síntomas, como cefalea, fiebre, dolor abdominal, náuseas y vómitos.^{40,43} La enfermedad típicamente no supera los dos o tres días y es autolimitante, excepto en sujetos inmunocomprometidos, en los que la infección puede llevar a septicemia y resultar letal.⁴⁰

Particularmente en Chile, se ha detectado un reciente aumento en los brotes de diarreas asociadas a este vibrio en los últimos 15 años,⁴⁴ con un episodio epidémico importante entre 2.005 y 2.010 en la zona sur, en que solo en 2.005 más de 3.700 personas se infectaron con esta bacteria a causa del consumo de productos marinos contaminados⁴⁵ (Figura 1). Al igual que las intoxicaciones por floraciones algales nocivas, las infecciones con *V. parahaemolyticus* son predominantes en los meses de verano.

Esta bacteria se concentra igualmente en moluscos filtradores, como choritos, choros, cholgás, machas, almejas,

y ostiones. Además, se ha encontrado en otros países en camarones, cangrejos, jaivas y pescados^{43, 46, 47}. El contagio se produce justamente a través del consumo de productos contaminados crudos, y depende de la carga bacteriana que presente el alimento, la cual puede incrementar en función de la cantidad de tiempo que este pase fuera de la cadena de frío.⁴³

Vibrio parahaemolyticus es una bacteria que abunda en aguas poco saladas, y si bien puede reproducirse a temperaturas tan bajas como 10°C, su temperatura óptima de crecimiento es 37°C.⁴⁸ De hecho, se ha reportado que la carga bacteriana del género *Vibrio* se correlaciona con la temperatura del agua de mar, siendo más abundante a mayores temperaturas. Además, olas de calor y eventos climáticos extremos, ambos factores relacionados al cambio climático global, favorecen la proliferación de esta, y otras bacterias del género.⁴⁰

Además, dentro de sus muchas fuentes de alimentación, esta bacteria puede sobrevivir en base a fitoplancton.⁴⁸ Con el aumento de las temperaturas en los océanos, la cantidad de fitoplancton en los océanos se encuentra también en aumento, por lo que todos estos factores contribuirían a una mayor abundancia del vibrio en los océanos, y consecuentemente, en los moluscos que consumimos.

■ 3. Cambio climático y florecimientos algales nocivos

Saxitoxina (STX) y tetrodotoxina (TTX) son dos de las muchas toxinas producidas por florecimientos algales nocivos, mejor conocidos como “marea roja”.^{49, 50} Ambas corresponden a neurotoxinas paralizantes letales que se concentran en gran cantidad en moluscos filtradores, los cuales tienen la particularidad de acumular estas toxinas. Los moluscos ya mencionados anteriormente, además de ser de gran importancia para el sector pesquero de nuestro país, son algunos de los principales vectores transmisores de estas toxinas a los humanos, y la intoxicación con estas neurotoxinas es independiente de la cocción del marisco.⁴³

Como su nombre lo indica, estos florecimientos son de origen algal, por lo que el aumento en la temperatura, disminución en la salinidad y aumento en la concentración de CO₂ disuelto en el agua, favorecen la reproducción y proliferación de las algas, como se ha observado en los fiordos de Noruega.⁵¹ Por ello, es esperable que el cambio climático impacte en el aumento de la cantidad de estos organismos nocivos y sus respectivas toxinas. De hecho, se predice que los florecimientos algales serán más frecuentes y más intensos debido, entre otros, al calentamiento global, con un especial aumento en el tamaño poblacional de diatomeas y dinoflagelados.⁵²

En Chile particularmente, ha habido un creciente número de casos relacionados con ingestión de moluscos contaminados con neurotoxinas y otras toxinas relacionadas con la marea roja (venenos diarreicos y amnésicos, por ejemplo), desde el año 1.970.⁴³ Estos casos se reportan principalmente en verano, época en que la temperatura media del océano aumenta. Interesantemente, esta fecha también se corresponde con el aumento en los niveles de organismos dinoflagelados nocivos (como *Alexandrium catenella*), reportados recientemente por el Instituto de Fomento Pesquero (IFOP) entre los meses de noviembre de 2.018 y febrero de 2.019 en las Regiones de Los Lagos, Aysén y Magallanes⁵³ (Figura 1). Nuevamente, al igual que en los casos anteriores, las estaciones de monitoreo marino deben ser el foco de atención debido a su rol de vigilancia, el cual puede dar una alerta temprana ante el incremento de concentraciones de estas toxinas en el mar. Es necesario comprender la importancia que tendrá invertir en mejoras en estas estaciones, sobre todo en esta época en que el impacto del cambio climático se está haciendo cada vez más evidente.

■ 4. Cambio climático y enfermedades crónicas

Alergias y asma

Dentro de los impactos que tiene el cambio climático se

ha registrado el incremento y la acumulación de agentes alérgenos en el aire.³ Se considera alérgeno a cualquier partícula que se ha registrado como responsable de inducir una respuesta alérgica.⁵⁴ En esta línea, el incremento de las temperaturas conlleva a un incremento en las sequías, favoreciendo las condiciones de aire seco y la acumulación de polvo, polen y partículas con estas características que son capaces de irritar el tracto respiratorio. Más aún, este impacto es incluso más grande en zonas urbanas, debido a la contaminación del aire producida por la urbanización.⁵⁴

En este sentido, es necesario considerar que existen 3 tipos distintos de material particulado (MP), los cuales son clasificados en función de su tamaño.⁵⁵ La fracción gruesa está compuesta por MP de tamaños entre 2,5 y 10 μm ; la cual es considerada responsable de los principales daños al tracto respiratorio, pues está en contacto directo con el pulmón. La fracción fina, compuesta por MP entre 2,5 y 0,1 μm , se diferencia de la fracción gruesa en que es capaz de alcanzar las zonas de intercambio respiratorio en el pulmón y generar un impacto sobre estas mismas. Finalmente, la fracción ultrafina considera todo el MP con un tamaño menor a 1 μm . Son estas últimas partículas las que son capaces de penetrar el alveolo y, de esta manera, alcanzar el torrente sanguíneo y el resto de los órganos en el cuerpo, un proceso que es necesario para

inducir una respuesta inmune en un organismo.⁵⁵

Las alergias se definen como una respuesta del sistema inmune hacia moléculas que no son dañinas por sí mismas, pero que pueden ser reconocidas por este sistema y activarlo (alérgenos).⁵⁴ Si bien la relación entre la aparición de alergias y el cambio climático aún está en estudio, hay estudios que sugieren fuertemente que estos cambios en la cantidad de MP y los distintos alérgenos disponibles en el medio ambiente, de la mano de la urbanización de la sociedad actual, pueden incrementar la aparición de estas condiciones de manera significativa, debido a factores que juegan un rol no óptimo frente al sistema inmune.

Por su parte, el asma se define como un grupo heterogéneo de condiciones clínicas que puede variar por distintos factores, entre los cuales se consideran algunos genéticos, la edad de aparición, la severidad y los distintos gatillantes, entre otros.⁵⁶ Considerando esto, también ha sido definido como un desorden inflamatorio crónico en el cual distintas células del sistema inmune juegan un rol negativo en episodios de sibilancia, dificultad respiratoria y tos, sobre todo en la noche o en la mañana.⁵⁶ Más aún, se ha descrito que esta inflamación es capaz de inducir un estado de hiper-respuesta en las vías respiratorias, volviéndolas más sensibles a estímulos.⁵⁶ Por esto último, se ha sugerido que el incremento en el número de personas

con cuadros de asma se puede atribuir directamente como un resultado del cambio climático.⁵⁵ Frente a estos antecedentes debemos ser conscientes del impacto de estas partículas en la salud humana, pues pueden promover respuestas por parte del sistema inmune que terminan en cuadros respiratorios comprometidos, como las alergias o el asma.

Cáncer

Hay que considerar que el cambio climático también tiene relevancia en otras enfermedades que pueden ser influenciadas por el ambiente que rodea a un organismo. En esta línea, el incremento de la contaminación en el aire y de la exposición a la radiación ultravioleta juega un rol significativo sobre la incidencia de cáncer en las poblaciones expuestas a estas condiciones. Por lo tanto, el cáncer de pulmón y el cáncer a la piel, las enfermedades directamente vinculadas a estos dos factores, serán discutidas a continuación.⁵⁷

El cáncer de pulmón es el más común entre los distintos tipos de cáncer y además es el que genera la mayor cantidad de muertes entre todos los cánceres en la época actual. En esta misma línea, la OMS ha realizado distintos estudios, relacionando la presencia de material particulado contaminante en el aire con la incidencia y la mortalidad

producida por el cáncer de pulmón.^{59, 60} En vista que el cambio climático está causando que las personas se estén enfrentando a mayores concentraciones de material particulado, el cual además va aumentando en complejidad, es evidente el impacto que esto va a tener sobre la incidencia de cáncer del pulmón.⁵⁷ Entre las razones que originan este incremento del material particulado destacan el incremento de la aparición de incendios forestales,⁶¹ la mayor aparición de fuentes de emisión de origen humano⁶² y condiciones atmosféricas que permiten la acumulación de estos elementos.⁶³ La suma de estos factores va a tener impactos significativos sobre la salud de las personas, sobre todo de aquellos grupos humanos que habitan zonas urbanas muy concurridas, en los cuales la acumulación de estos factores es aún más marcada, pues se verán expuestos a más condiciones que podrían incrementar la incidencia del cáncer de pulmón.

El cambio climático también ha producido, entre otros, una baja en la concentración de ozono en la zona estratosférica, lo que conlleva a un incremento en la exposición a radiación UV a nivel mundial.^{64, 65} Si bien, esta disminución ha sido significativamente controlada por las medidas dictadas en el Protocolo de Montreal, siguen existiendo factores que pueden impactar sobre los niveles de radiación UV a los que nos vemos expuestos.^{57, 64} En esta línea, la acumulación de ciertos materiales particula-

dos y los cambios en la calidad del aire tiene un impacto sobre la capacidad de la radiación UV de alcanzar la superficie de la Tierra, aunque esta relación aún requiere más estudios para determinar el impacto efectivo.⁶⁵ Son estos elevados niveles de radiación UV los que juegan un rol significativo en la aparición de cáncer a la piel.⁶⁶

Existen tres grandes tipos distintos de cáncer de piel, los cuales se dividen de acuerdo a sus características y los tipos de células involucrados en su aparición. A pesar de sus diferencias, se ha descrito que la exposición a radiación UV es uno de los principales responsables de la aparición de cualquiera de los tres.⁶⁶ Es por esta razón que es necesario generar nuevas estrategias que permitan informar a la población general respecto a los riesgos de la exposición a la radiación UV y de qué forma el estilo de vida actual está impactando, a veces en niveles no tan evidentes, sobre nuestra salud.

Referencias

1. IPCC. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Cambridge University Press, 2013). doi:10.1017/cbo9781107415324
2. Levy, B. S. & Patz, J. A. Climate change, human rights, and social justice. *Annals of Global Health* 81, 310–322 (2015).
3. Costello, A. et al. Managing the health effects of climate change. *The Lancet* 373, 1693–1733 (2009).
4. Piontek, F. et al. Multisectoral climate impact hotspots in a warming world. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 111, 3233–3238 (2014).
5. Liu-Helmersson, J., Brännström, Å., Sewe, M. O., Semenza, J. C. & Rocklöv, J. Estimating past, present, and future trends in the global distribution and abundance of the arbovirus vector *Aedes aegypti* under climate change scenarios. *Front. Public Heal.* 7, 1–10 (2019).
6. Colón-González, F.J. et al. Limiting global-mean temperature increase to 1.5–2 °C could reduce the incidence and spatial spread of dengue fever in Latin America. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 115, 6243–6248 (2018).
7. Barcellos, C. & Lowe, R. Expansion of the dengue transmission area in Brazil: The role of climate and cities. *Trop. Med. Int. Heal.* 19, 159–168 (2014).
8. Bhatt, S. et al. The global distribution and burden of dengue. *Nature* 496, 504–507 (2013).
9. Reiter, P. Climate change and mosquito-borne disease. *Environ. Health Perspect.* 109, 141–161 (2001).
10. Antonio, F.J., Itami, A. S., De Picoli, S., Teixeira, J.J. V. & Dos Santos Mendes, R. Spatial patterns of dengue cases in Brazil. *PLoS One* 12, 1–16 (2017).
11. Campbell, L. P. et al. Climate change influences on global distributions of dengue and chikungunya virus vectors. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 370, 1–9 (2015).
12. Doolan, D. L., Dobaño, C. & Baird, J. K. Acquired immunity to Malaria. *Clinical Microbiology Reviews* 22, 13–36 (2009).
13. Scott, L. J. Tetravalent Dengue Vaccine: A Review in the Prevention of Dengue Disease. *Drugs* 76, 1301–1312 (2016).
14. Capeding, M. R. et al. Clinical efficacy and safety of a novel tetravalent dengue vaccine in healthy children in Asia: A phase 3, randomised, observer-masked, placebo-controlled trial. *Lancet* 384, 1358–1365 (2014).
15. Åström, C. et al. Potential distribution of dengue fever under scenarios of climate change and economic development. *Ecohealth* 9, 448–454 (2012).
16. Ebi, K. L. & Nealon, J. Dengue in a changing climate. *Environ. Res.* 151, 115–123 (2016).
17. MINSAL. Dengue y Dengue Grave - Ministerio de Salud. (2015). Available at: <https://www.minsal.cl/dengue/>. (Accessed: 12th August 2019)

18. Watson, D. C. et al. Epidemiology of Hantavirus infections in humans: A comprehensive, global overview. *Critical Reviews in Microbiology* 40, 261–272 (2014).
19. MINSAL. MINUTA TEMA: Situación de Hantavirus. (2019).
20. Figueiredo, L. T. M., Souza, W. M. de, Ferrés, M. & Enria, D. A. Hantaviruses and cardiopulmonary syndrome in South America. *Virus Res.* 187, 43–54 (2014).
21. Kruger, D. H., Figueiredo, L. T. M., Song, J. W. & Klempa, B. Hantaviruses-Globally emerging pathogens. *J. Clin. Virol.* 64, 128–136 (2015).
22. Mills, J. N. & Childs, J. E. Ecologic studies of rodent reservoirs: Their relevance for human health. *Emerging Infectious Diseases* 4, 529–537 (1998).
23. Vadell, M. V., Carbajo, A. E., Massa, C., Cueto, G. R. & Gómez Villafañe, I. E. Hantavirus Pulmonary Syndrome Risk in Entre Ríos, Argentina. *Ecohealth* (2019). doi:10.1007/s10393-019-01425-3
24. Prist, P. R., D'Andrea, P. S. & Metzger, J. P. Landscape, Climate and Hantavirus Cardiopulmonary Syndrome Outbreaks. *EcoHealth* 14, 614–629 (2017).
25. Maroli, M., Vadell, M. V., Padula, P. & Gómez Villafañe, I. E. Rodent abundance and hantavirus infection in protected area, east-central Argentina. *Emerg. Infect. Dis.* 24, 131–134 (2018).
26. Boone, J. D. et al. Remote sensing and geographic information systems: Charting sin nombre virus infections in deer mice. *Emerg. Infect. Dis.* 6, 248–258 (2000).
27. Carver, S. et al. Toward a Mechanistic Understanding of Environmentally Forced Zoonotic Disease Emergence: Sin Nombre Hantavirus. *BioScience* 65, 651–666 (2015).
28. Klempa, B. Hantaviruses and climate change. *Clinical Microbiology and Infection* 15, 518–523 (2009).
29. Towers, S. et al. Climate change and influenza: The likelihood of early and severe influenza seasons following warmer than average winters. *PLoS Curr.* 1–8 (2013). doi:10.1371/currents.flu.3679b56a3a5313dc7c-043fb944c6f138
30. Moriyama, M. & Ichinohe, T. High ambient temperature dampens adaptive immune responses to influenza A virus infection. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 116, 3118–3125 (2019).
31. Mirsaeidi, M. et al. Climate change and respiratory infections. *Annals of the American Thoracic Society* 13, 1223–1230 (2016).
32. Hoberg, E. P. & Brooks, D. R. Evolution in action: Climate change, biodiversity dynamics and emerging infectious disease. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 370, 1–7 (2015).
33. MINSAL. Campaña de Invierno 2019: Circulación viral - Ministerio de Salud - Gobierno de Chile. (2019). Available at: <https://www.minsal.cl/campana-de-invierno-2019-circulacion-viral/>. (Accessed: 12th August 2019)

34. MINSAL. Campaña de Invierno 2018: Circulación viral - Ministerio de Salud - Gobierno de Chile. (2018). Available at: <https://www.minsal.cl/campana-de-invierno-2018-circulacion-viral/>. (Accessed: 12th August 2019)
35. Ebola haemorrhagic fever in Sudan, 1976. Report of a WHO/International Study Team. *Bull. World Health Organ.* 56, 247–70 (1978).
36. Alexander, K. A. et al. What factors might have led to the emergence of ebola in West Africa? *PLoS Neglected Tropical Diseases* 9, (2015).
37. Baker-Austín, C. et al. *Vibrio* spp. infections. *Nat. Rev. Dis. Prim.* 4, (2018).
38. Kopprio, G. A. et al. Biogeochemical and hydrological drivers of the dynamics of *Vibrio* species in two Patagonian estuaries. *Sci. Total Environ.* 579, 646–656 (2017).
39. Chowdhury, F. R., Nur, Z., Hassan, N., Seidlein, L. & Dunachie, S. Pandemics, pathogenicity and changing molecular epidemiology of cholera in the era of global warming. *Annals of Clinical Microbiology and Antimicrobials* 16, (2017).
40. Baker-Austin, C., Trinanés, J., González-Escalona, N. & Martínez-Urtaza, J. Non-Cholera *Vibrios*: The Microbial Barometer of Climate Change. *Trends in Microbiology* 25, 76–84 (2017).
41. Escobar, L. E. et al. A global map of suitability for coastal *Vibrio cholerae* under current and future climate conditions. *Acta Trop.* 149, 202–211 (2015).
42. Sirajul Islama, M. et al. Role of phytoplankton in maintaining endemicity and seasonality of cholera in Bangladesh. *Trans. R. Soc. Trop. Med. Hyg.* (2015). doi:10.1093/trstmh/trv057
43. Hernández G, C., Ulloa P, J., Vergara O, J. A., Espejo T, R. & Cabello C, F. Infecciones por *Vibrio parahaemolyticus* e intoxicaciones por algas: Problemas emergentes de salud pública en Chile. *Revista Medica de Chile* 133, 1081–1088 (2005).
44. Heitmann G., I. et al. Revisión y recomendaciones para el manejo de diarrea por *Vibrio parahaemolyticus*. *Rev. Chil. infectología* 22, (2005).
45. García, K. et al. Rise and fall of pandemic *Vibrio parahaemolyticus* serotype O3: K6 in southern Chile. *Environ. Microbiol.* 15, 527–534 (2013).
46. Pal, D. & Das, N. Isolation, identification and molecular characterization of *Vibrio parahaemolyticus* from fish samples in Kolkata. *Eur. Rev. Med. Pharmacol. Sci.* 14, 545–549 (2010).
47. Yaashikaa, P. R., Saravanan, A. & Kumar, P. S. Isolation and identification of *Vibrio cholerae* and *Vibrio parahaemolyticus* from prawn (*Penaeus monodon*) seafood: Preservation strategies. *Microb. Pathog.* 99, 5–13 (2016).
48. Lovell, C. R. Ecological fitness and virulence features of *Vibrio parahaemolyticus* in estuarine environments. *Applied Microbiology and Biotechnology* 101, 1781–1794 (2017).
49. Mardones, J. I. et al. Role of resting cysts in Chilean *Alexandrium*

- catenella dinoflagellate blooms revisited. *Harmful Algae* 55, 238–249 (2016).
50. Kodama, M., Sato, S., Sakamoto, S. & Ogata, T. Occurrence of tetrodotoxin in *Alexandrium tamarense*, a causative dinoflagellate of paralytic shellfish poisoning. *Toxicon* 34, 1101–1105 (1996).
51. Edwards, M., Johns, D. G., Leterme, S. C., Svendsen, E. & Richardson, A. J. Regional climate change and harmful algal blooms in the northeast Atlantic. *Limnol. Oceanogr.* 51, 820–829 (2006).
52. Xiao, W. et al. Warming and eutrophication combine to restructure diatoms and dinoflagellates. *Water Res.* 128, 206–216 (2018).
53. Instituto de Fomento Pesquero (IFOP). Reportes | Marea Roja. (2019).
54. D'Amato, G. et al. Climate change and air pollution: Effects on respiratory allergy. *Allergy, Asthma and Immunology Research* 8, 391–395 (2016).
55. D'Amato, G. et al. Effects on asthma and respiratory allergy of Climate change and air pollution. *Multidiscip. Respir. Med.* 10, (2015).
56. Mims, J. W. Asthma: definitions and pathophysiology. *Int. Forum Allergy Rhinol.* 5, S2–S6 (2015).
57. Matthews-Trigg, N. T., Vanos, J. & Ebi, K. L. Climate Change and Cancer. in *Cancer and Society* 11–25 (2019). doi:10.1007/978-3-030-05855-5_2
58. Wong, M. C. S., Lao, X. Q., Ho, K. F., Goggins, W. B. & Tse, S. L. A. Incidence and mortality of lung cancer: Global trends and association with socioeconomic status. *Sci. Rep.* 7, (2017).
59. Turner, M. C. et al. Long-term ambient fine particulate matter air pollution and lung cancer in a large cohort of never-smokers. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* (2011). doi:10.1164/rccm.201106-1011OC
61. Abatzoglou, J. T. & Williams, A. P. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 11770–11775 (2016).
62. Ravindra, K., Sokhi, R. & Van Grieken, R. Atmospheric polycyclic aromatic hydrocarbons: Source attribution, emission factors and regulation. *Atmospheric Environment* 42, 2895–2921 (2008).
63. Wibanks, T. . et al. Industry, settlement and society. *Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability*. Cambridge Univ. Press 357–390 (2007).
64. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer. *Int. Negot.* 1, 231–246 (2003).
65. Bais, A. F. et al. Ozone depletion and climate change: Impacts on UV radiation. *Photochemical and Photobiological Sciences* 14, 19–52 (2015).
66. Bharath, A. K. & Turner, R. J. Impact of climate change on skin cancer. *Journal of the Royal Society of Medicine* 102, 215–218 (2009).





CAMBIO CLIMÁTICO Y SECTOR ENERGÍA

Boris Yopo H.

Sociólogo; Magíster en Relaciones Internacionales del Instituto de Estudios Internacionales, Universidad de Chile;
Diplomado de Altos Estudios Relaciones Internacionales en la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales (FLACSO)

- El calentamiento global fue un desafío anunciado por Alexander Von Humbolt hace más de 200 años cuando dijo que la “naturaleza es un todo del cual formamos parte” y complementado más tarde (1896) por el físico Svante Arrhenius al decir que la adición de dióxido de carbono (CO₂) de los combustibles fósiles a la atmósfera subiría las temperaturas. Desde el inicio de la era industrial, el consumo de energía proveniente del carbón, petróleo y gas natural ha ido en aumento. La sociedad actual basa su desarrollo en ellos, lo que redundaría en su combustión, gases de efecto invernadero (GEI) y calentamiento global. A escala mundial, el consumo de energía para calefacción, electricidad, transporte e industria, representa aproximadamente dos tercios de GEI. Las principales fuentes de GEI son: a) La combustión de carburantes fósiles para la generación de electricidad, el transporte, la industria y los hogares; b) La agricultura y los cambios en el uso del suelo y la deforestación; c) Los vertidos de residuos (contaminación); y, d) La utilización de gases fluorados industriales.

La evidencia es contundente. Desde los análisis sobre los efectos de esta intervención antropogénica desde la primera cita del Club de Roma (1968), y cuyos resultados fueron testeados (1972) por el Massachusetts Institute of Technology (MIT) en “The Limits of Growth” y luego vuelto a revisar por la Universidad de Melbourn (2014);

pasando por el informe del Club de Roma del 2012 (“2052: Una Proyección para los Próximos 40 años”); por el informe “Trayectorias del Sistema Terrestre en el Antropoceno” (2018); o por el estudio de científicos europeos PAGES (Past Global Changes), entre muchos otros, se ha constatado que:

- a) De mantenerse el actual modelo de desarrollo, se alcanzarían los límites absolutos de crecimiento;
- b) Las concentraciones de CO₂ en la atmósfera seguirán creciendo y aumentando la temperatura en más de 2°C al año 2052, produciendo un efecto “invernadero” con impacto en la soberanía alimentaria y alza en los niveles del mar haciendo invivibles algunas zonas del mundo;
- c) Las temperaturas se estabilizarían de 4°C a 5°C más altos que los niveles preindustriales, lo que según Katherine Richardson -una de las autoras del estudio Trayectorias del Sistema Terrestre en el Antropoceno- “sería insoportable”; y,
- d) Vivimos el calentamiento más universal e intenso (afecta al 98% del planeta) de los últimos 2000 años al alcanzarse alzas de 1.7° versus los 0.6% de la era preindustrial, donde períodos cálidos o fríos fueron regionales.

La data y diagnósticos de la ciencia adquirieron relevancia a través de distintos organismos, cumbres y acuerdos (el Protocolo de Kioto de 1997, por ejemplo, acordó reducir los GEI en un mínimo de 5%). Sin embargo, fue el “Acuerdo de París” (2015), donde más se avanzó al comprometer a 200 países a tomar medidas concretas y trabajar juntos en pro de 3 objetivos:

- a) Mantener el aumento de la temperatura media muy por debajo de los 2° C respecto a los niveles preindustriales y seguir los esfuerzos para limitarlo a 1.5;
- b) Aumentar la capacidad de adaptación a sus efectos promoviendo un crecimiento bajo en emisiones sin poner en peligro la producción de alimentos; y,
- c) Hacer que los flujos financieros sean coherentes con un desarrollo bajo en emisiones y resiliente.

Estos acuerdos, a la vez, se empalmaron con múltiples iniciativas de países e individuos como la declaración del 2009 de las principales compañías eléctricas (EURELECTRIC) de la Unión Europea (UE), el comunicado del 2014 “Energy and Climate Framework for 2030” o su “Plan de Acción en Finanzas Sostenibles”; el compromiso sueco de tener toda su matriz con energías renovables el 2040 (tiene más del 50%); el Reino Unido

de tener emisiones cero al 2050, incluirlo en su Estrategia de Seguridad y decretar “emergencia climática” (igual que Argentina); en Costa Rica el 99% de su energía ya proviene de fuentes renovables, tener neutralidad el 2021 o tener el doble de bosque que hace 30 años; el compromiso de Alemania para reducir en un 55% las emisiones de GEI al 2030, invirtiendo 54.000 millones de euros al 2023 para ello; los 8 países ya con constructos para políticas climáticas de largo plazo al 2018 (ONU); las acciones de múltiples ciudades para convertirse en sostenibles; las activistas como Greta Thunberg o Severn Cullis-Suzuki (Cumbre de Río de 1992) con sus protestas y marchas (“Fridays for Future”) con impacto amplificado o los millones de ciudadanos ahorrando, reciclando, plantando árboles o limpiando playas; etc. Chile, a través de su “Ruta Energética”, sus siete ejes modernizadores y sus diez mega compromisos, plantea dos grandes pilares sobre los que descansará el proceso modernizador: el acceso universal a los servicios energéticos y la descarbonización de la matriz energética, (ya comprometió una meta de descarbonización hacia el 2040).

A pesar de estos compromisos y acciones, informes de Naciones Unidas (ONU) expresa que las contribuciones nacionales están lejos de satisfacer los acuerdos (las emisiones de GEI crecieron el 2018 en un 1,5%). Antonio Guterres, Secretario General de la ONU, expresó previo

a la Cumbre del Clima 2019, que “estamos perdiendo la lucha” aunque agregó que esperaba planes relevantes para la neutralidad climática en el 2050. Igualmente, Sir Nicholas Stern, Director del Servicio Económico del Reino Unido y ex Economista Jefe del Banco Mundial (BM), dijo que “el cambio climático representa el mayor fracaso del mercado de todos los tiempos, y el de alcance más amplio”.

El avance insuficiente del Acuerdo de París, unido al alza persistente de la temperatura con efectos devastadores, que se perciben semana a semana, y que requieren rescates millonarios, han convertido al calentamiento global en una amenaza y un tema de seguridad. La afectación de los ecosistemas con fríos y calores extremos y cuyos resultados son sequías, incendios, inundaciones y aluviones; con muerte de animales e interrupción de la cadena alimenticia; deterioro de las condiciones sanitarias y nuevas enfermedades; derretimiento de glaciales y polos (en 3 años la Antártica perdió tanto hielo como el Ártico en 40 años) con efecto en el permafrost, y el alza del mar inundando bordes costeros; agotamiento de agua dulce superficial y de napas subterráneas (puede afectar a un cuarto de la población mundial); fomento de las inmigraciones (podría llegar a 143 millones el 2050), redundarán en crisis y conflictos armados (el factor geopolítico).

La amenaza conlleva un peligro latente, asociado a un fenómeno natural, tecnológico y social que puede manifestarse en contextos específicos produciendo efectos adversos a personas, bienes, servicios y/o medio ambiente. Por lo mismo, la UE considera al calentamiento global como un factor multiplicador de amenazas al extremar las tendencias, las tensiones y las inestabilidades existentes. Agrega que, éste va a sobrecargar a países y regiones de por sí frágiles y proclives al conflicto. Reafirman esta idea, Jorge Soto y Guillermo del Castillo, al señalar que “la mayor intensidad de los impactos se enfocará en los países en desarrollo; en zonas con ecosistemas frágiles; así como en estados insulares”. Consideran este fenómeno como un catalizador de riesgos naturales y causante de vulnerabilidades sociales, particularmente en aquellos espacios y zonas de inestabilidad, al repercutir en la disponibilidad de recursos y el riesgo de aumentar los conflictos armados.

La inseguridad en el acceso a la energía, está relacionada a fenómenos como el aumento de temperatura, cambios de humedad, aumento del nivel del mar, acidificación del océano, incendios, el aumento en la frecuencia de eventos catastróficos (huracanes, tornados, tifones, etc.) o el cambio en la frecuencia de las precipitaciones (lluvias), los que generan impactos negativos en la forma como se produce, distribuye y consume.

Ellos pueden generar impactos en:

a) La infraestructura, donde el aumento del nivel del mar y eventos extremos pueden dañarla o interrumpir el abastecimiento de combustibles (recordemos Fukushima 2011). Ellos pueden dañar paneles solares, torres eólicas y la estructura de transmisión y distribución, desestabilizando todo el sistema. El aumento de temperatura limita la potencia de distribución de líneas elevadas, bajo tierra y transformadores, aumentando pérdidas del sistema. Sequías prolongadas facilitan la acumulación de polvo en los conductores. Estos eventos también aumentan la caída de árboles sobre las líneas y dañan los equipos.

b) La producción:

Hidroenergía: La producción, transmisión y distribución de hidroenergía necesita estabilidad y continuidad del recurso, manejo integrado de cuencas hídricas para mantener bosques. Menos lluvia o períodos de sequía, el retiro de glaciares, mayor temperatura y evapotranspiración significan menos agua. Cambios en la temporalidad de las lluvias afecta la capacidad para amortiguar sequías. Condiciones del mar (maremotríz).

Térmica: Aumento de temperatura reduce eficiencia y disminución de lluvias reducen disponibilidad de agua para procesos de enfriamiento y producción. Pueden afectar el transporte irregular las tormentas en alta

mar, por ejemplo, afectan la navegación y producen dificultades en el acceso al petróleo, carbón y gas para la producción de energía.

Biomasa: Aumento de temperatura reduce eficiencia. Disminución de lluvias reducen disponibilidad de agua para enfriamiento y producción. Menos agua significa menor cantidad y calidad en plantaciones de maíz, soya y caña de azúcar para biocombustibles, a menos que sean altamente tolerantes al aumento de temperatura y el estrés hídrico.

Nuclear: Olas de calor y sequía, aumentan la temperatura del agua reduciendo la eficiencia térmica en un 2%. Pueden producir cortes temporales en la producción o reducir la entrega de energía. Aumento del nivel del mar u otros fenómenos climáticos pueden dañar la infraestructura.

Solar: Aumento de temperaturas y alta nubosidad disminuyen la eficiencia. Aumento de lluvia y vientos pueden remover los paneles o afectarlos al igual que el polvo y la arena.

Eólica: Cambios repentinos en la dirección, velocidad y temporalidad del viento puede afectar las turbinas, al igual que el aumento de las temperaturas.

De acuerdo a la taxonomía de Milton Bertin: a) los países desarrollados son los principales emisores de GEI; b) las emisiones per cápita de los países en vías de desarrollo

son bajas; y, c) la participación de los países en vías de desarrollo en la emisión de GEI va a crecer a medida que se desarrollen. Daniel Narria, por su lado, expresa que “desde 1988, simplemente 100 empresas de energías fósiles han emitido 70% del GEI global”. Lo claro, es que estamos en riesgo, es decir en la proximidad o la inminencia de algún daño. Esto ya lo había dicho en el 2003 la Oficina de Evaluación de la Red del Pentágono-EE.UU., al calificar el calentamiento como “una amenaza que eclipsa por mucho el terrorismo”. A pesar de ello y de que fue discutido en el Consejo de Seguridad de la ONU, los países que más producen GEI como EE.UU. (segundo tras China en 2019) han entrado en un negacionismo nacionalista, rechazando la evidencia científica y la institucionalidad ambiental multilateral y sus acuerdos, e incluso reforzando el uso de combustibles fósiles.

Sin embargo, y más allá de las responsabilidades, ahora estamos todos involucrados (atrapados) por los efectos globales de este fenómeno, a partir de la interdependencia compleja y de su impacto en la gobernanza global. Esa gobernanza de la que habló en el informe “Our Global Neighborhood” de la ONU, donde se dice que comunidad internacional debe atender y extender la seguridad con el fin de proteger a los pueblos, a las personas y al planeta. Chile, a pesar de ser responsable

solo de la emisión del 0,25% de los GEI globales, es un país muy afectado por el cambio climático. Problemas de contaminación del mar y de acuíferos, carbonización de su matriz energética, pérdida de glaciares, variaciones climáticas pronunciadas, tormentas de fuego, sequía, desertificación y deforestación, están cambiando la geografía de las emergencias y los desastres naturales.

En este entendido, el calentamiento global debe considerarse como el principal afectante de los bienes públicos globales (léase un bien con la capacidad de beneficiar o afectar universalmente a todos y en cualquier lugar). La Amazonía (6.7 millones de km²), por ejemplo, es un ecosistema crítico en el clima global porque produce el 20% del oxígeno que respiramos; controla el ciclo hidrológico y la lluvia de parte importante de la región; almacena una gran cantidad de carbono; contiene unos 350 pueblos originarios, 6.000 especies animales y 40.000 especies de plantas. Podemos decir –entonces- que es un bien público universal dado que afecta a toda la humanidad y no solo a Brasil, dueño de su soberanía. Y está en peligro. No se trata de “internacionalizarla” (temor expresado por el Presidente Bolsonaro), sino que usar el concepto de soberanía inteligente de Kaul y Blondi, donde un solo país, cualquiera sea su poder duro y/o blando, no puede resolver unilateralmente los desafíos del tipo de los bienes públicos globales. Además de una

acción internacional colectiva (flexibilización de la matriz westfaliana) de apoyo (por ejemplo, la ayuda de Noruega de US\$ 1.200 millones en 10 años bajo el lema: “Brasil la cuida. El mundo apoya. Todos ganan”), la mayoría de esos desafíos requieren de acuerdos multilaterales y la adopción de medidas correctivas (formulación de políticas) a escala nacional, haciéndolos coincidentes entre ellos y los problemas que cruzan las fronteras.

Parafraseando a Orozco, este tipo de gestión de los asuntos públicos mundiales implica un replanteamiento de la seguridad colectiva hacia una más cooperativa, enfocada en una comunidad global de principios y normas, lo que constituiría un gran avance en la respuesta al desafío a la seguridad más urgente del siglo XXI: el calentamiento global. Así, la noción de seguridad se redimensiona hacia conceptos más amplios y prospectivos como son la seguridad comprehensiva, seguridad humana, seguridad democrática y la seguridad multidimensional, donde los recursos de respuesta adquieren un sentido sistémico y no solo de los actores tradicionales o individuales.

En el caso de la energía, cuyo uso es creciente (el acceso mundial al servicio eléctrico aumentó del 83% al 89% entre 2010-2017 y Chile lo aumentará en un 83% en los próximos 20 años, pasando de 70.282 GWh a 128.776 GWh). Las emisiones de efecto invernadero ciertamente

pueden reducirse con una aproximación sistémica al problema, desarrollando un conjunto de medidas técnicas, normativas y administrativas complementarias tales como un aumento de la eficiencia energética, uso de fuentes de energía más limpia (ej. fuentes renovables no combustibles), elevando el precio del carbono y/o impuesto verde, y poniendo marcos normativos fuertes (normas de captura y almacenamiento de CO₂ en los sistemas post, pre y oxicomustión).

Para el gobierno y los reguladores, un desafío clave será asegurar inversiones adicionales en tecnologías bajas en carbono y en investigación y desarrollo, y un marco social y normativo atractivo. Para la demanda, la reducción del consumo de energía por medio del ahorro (reduciendo el consumo en iluminación, calefacción y refrigeración), aumento de la eficiencia (mejoras del aislamiento de hogares o utilización de medios de transporte más ecológicos) y el cambio hacia una cultura ambiental a través de formación de valores y conductas que permitan desde temprana edad cuidar el entorno ambiental.

Los inversionistas también deberán mirar sus inversiones en el largo plazo y eso pasa por desincentivar aquellas que abusan de los combustibles fósiles. Ya hay varias empresas que, por convicción ética y/o presión (activismo accionista, rentabilidad comercial por la huella de

carbono o “precio sombra”, y sanciones legales y morales), lo hacen. Un ejemplo, es el grupo “Climate Action 100+”, el que representa a más de 360 inversionistas y más de US\$34.000 billones, y que presionó a la petrolera BP para que demostrara que su estrategia de desarrollo es congruente con el Acuerdo de París. De acuerdo al BM la transición hacia economías resilientes y de bajo nivel de emisiones puede ser un buen negocio (el 2018 la energía eólica bajó a unos US\$ 0,06 por kilovatio hora y la solar se estabilizó en 0,08, mientras los combustibles fósiles varían entre 0,18 y 0,05 por kilovatio hora).

A pesar de que 135 países (2018) habían presentado planes nacionales en el marco del Acuerdo de París, que el porcentaje de energías renovables en el consumo total es creciente (subió del 16,6% al 17,5% entre el 2010-2016) o que la intensidad energética primaria (suministro total de energía por unidad de PIB) mejoró en un 2,5% en 2016; con lo que la tasa anual de mejora entre 2010 y 2016 se situó en un 2,3%. (1 punto por encima del período 1990-2010), hay coincidencia que en el cumplimiento del objetivo del escenario de los 450 ppm (reducciones de emisiones coherentes con la limitación de temperatura de los 2°C), es difícil de alcanzar según la Agencia Internacional de la Energía (AIE). Ello, porque para alcanzar el escenario 450 ppm, las intensidad de emisiones de GEI de la generación eléctrica global debería reducirse en

un 21% de 2007 a 2020 y sería necesario invertir más US\$ 6,6 billones en capacidad de generación con bajas emisiones durante el período 2010 a 2030, lo que no ha sucedido en los ritmos requeridos (voluntad política). La AIE afirma, por el contrario, que la demanda de energía creció un 2,3% el 2018 (el ritmo más rápido en esta década), que redundó en un aumento de las emisiones mundiales de CO₂ relacionadas con la energía en un 1,7% en comparación al 2017. Si bien la generación solar y eólica creció a un ritmo de dos dígitos, no fue lo suficientemente rápido como para satisfacer la mayor demanda de electricidad, lo que impulsó un mayor uso del carbón.

La Organización Latinoamericana de Energía promueve diez estrategias/herramientas para descarbonizar. Ellas son: a) Posicionar a las áreas protegidas y los bosques como soluciones naturales; b) Promover la producción de energías renovables en todos los sectores; c) Promover redes y garantizar el acceso a la energía para eliminar la pobreza; d) Migrar progresivamente a combustibles bajos en carbono y enfocar mejor los subsidios a los combustibles fósiles (sino eliminarlos); e) Desincentivar el uso del automóvil, fomentar el transporte público (eléctrico) y el no motorizado; f) Reducir la demanda final de energía, promover el desarrollo de materiales durables, eliminar la obsolescencia programada y comer lo necesario; g)

Fortalecer la eficiencia energética; h) Generar acuerdos de cooperación, darles seguimiento y transparentar los procesos; i) Fomentar la investigación y la transferencia de tecnologías; y, j) Fortalecimiento de políticas públicas e instituciones que generen un marco legal participativo que dé paso a la transformación.

Este desafío, requiere un cambio radical del paradigma de desarrollo y valórico-cultural, y no un maquillaje. Frente a esta situación de inflexión, lo urgente es enfrentar la curva de emisiones con un enfoque práctico y, para eso, hay una multitud de modelos y/o iniciativas de cambio del imaginario, sentido productivo y valor de uso propuestos. Ellas son las llamadas “Nuevas Economías” (“Decrecimiento”, “Restaurativa o Circular”, “Azul”, “Consumo Colaborativo”, iniciativas de transición, intermedias o locales) hasta los “Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la ONU”, el que fue adoptado por todos los Estados en 2015 como un llamado universal para poner fin a la pobreza, proteger el planeta y garantizar la paz y prosperidad de todos para 2030. El sustituir el PIB en Nueva Zelanda por un parámetro de bienestar humano para organizar el presupuesto va en esta línea al igual que los parámetros de felicidad del Bután y/o de Finlandia.

Fatih Birol, Director Ejecutivo de la AIE, dijo que -dado

el estado actual- “es necesario adoptar medidas urgentes en todos los frentes”, medidas que deben profundizarse y adoptarse pronto, ya que cuanto más GEI se emitan, menor será la probabilidad de reducir sus efectos. Pero, como habrá cambio climático de todos modos, también hay que desarrollar estrategias y acciones de adaptación. Estos retos exigen un enfoque multidisciplinario, y una acción conjunta desde una perspectiva integral de la seguridad, usando la combinación de todas las capacidades disponibles e integrando en la respuesta a todos los Estados y sus órganos (gobierno, sector privado y sociedad civil), una suerte de alianza multinivel de seguridad para la gobernanza global. Ello significa, entre otros, fortalecer el “debilitado” multilateralismo y una alta participación social.

Durante la Cumbre del Clima de la ONU 2019, 70 países se comprometieron a revisar sus planes para cumplir con los objetivos de París. La ONU, sin embargo, advirtió que el planeta ya tuvo un aumento de más de un 1°C y los planes de recorte ya son insuficientes, por lo que hay que aumentar el recorte y la mitigación en la próxima década. Sin embargo, ello no será suficiente si no se suman los principales contaminadores: China, EE UU y la India. La pérdida de liderazgo y de ambición contra el cambio climático (voluntad política) ha sido evidente, pero -paralelamente- han surgido movilizaciones que han llenado

las calles clamando contra la inacción, interpelando a los gobiernos y reponiendo el tema con fuerza en la agenda política. Ello hace renacer las esperanzas de que los países lleguen con renovadas predisposiciones a la COP25) para redefinir pragmáticamente los criterios para el cumplimiento del Acuerdo de París, particularmente los mercados de carbono y el Artículo N°6, ¿quién paga los daños por los desastres naturales?, metas de reducción: ¿cada cinco o diez años?, el negacionismo y la urgencia de alcanzar la carbono neutralidad en el corto plazo. La ciencia ya se pronunció.





Petorca Despleta

CAMBIO CLIMÁTICO Y DESARROLLO TERRITORIAL

De la Reconversión a la Restauración de la Resiliencia: El caso de la comunidad petorquina

Marcela Soto C.

Departamento de Arquitectura, Universidad Técnico Federico Santa María.

Jorge León C.

Departamento de Arquitectura, Universidad Técnico Federico Santa María.

Anne Escobar G.

Departamento de Arquitectura, Universidad Técnico Federico Santa María.

Luis Álvarez A.

Instituto de Geografía, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

■ Introducción

En los últimos años la crisis hídrica por la cual atraviesa Petorca se ha instaurado firmemente en la agenda pública. Crítica es la situación que viven locatarios, comuneros, animales, entre otros, a raíz de la escasez de agua vivida en la zona hace ya más de una década. Si bien esta crisis está asociada a los efectos adversos propios del cambio climático, se plantea que su agravamiento año tras año se relaciona estrechamente con los procesos de reconversión productiva vivida en la comuna durante los años 90.

Estos procesos de reconversión surgen a raíz de un contexto nacional de lucha contra la pobreza y se instauran en pos de incentivar la economía local y nacional. Si bien estas medidas permitieron reducir los índices de pobreza, su inserción y producción está lejos de ser sustentable. Esto reflejado, en primer lugar, en la sustitución de actividades tradicionales de características adaptativas a las condiciones climáticas y ecológicas por una agroindustria exportadora altamente demandante del recurso hídrico. En segundo lugar, en la sustitución de especies nativas por especies foráneas asociadas a una sostenida demanda hídrica y que alteran el ecosistema receptor.

Este artículo presenta una revisión de los antecedentes, tanto histórico-sociales como ecológicos, que permitan

entender este proceso de reconversión. Además el impacto ecológico-social que ha significado en la comuna y a partir de ello sentar las bases para la recuperación de un sistema resiliente que pueda enfrentar la crisis.

■ 1. Antecedentes Generales

El área de estudio corresponde a la comuna de Petorca, ubicada en la Provincia homónima en la Región de Valparaíso a una distancia de 190 Km de la capital regional y 220 km de la capital nacional. Con una superficie total de 1.516,6 km² y una densidad poblacional de 6,48 hab/Km² (INE, 2017), la comuna de Petorca es la más extensa de la región limitando al norte con la cuarta región de Coquimbo, al sureste con la comuna de Cabildo y al noroeste con la comuna de La Ligua.

Inserta en uno de los denominados valles transversales del sector norte de la Región de Valparaíso, específicamente en el valle del río de Petorca, esta comuna posee un clima de carácter semiárido propio de la zona de transición entre el norte chico y la zona central de Chile. Cultural y socialmente vinculada a las tradiciones de los valles transversales -con comunidades sectorizadas para la costa, el centro y la precordillera del norte chico- desde las ocupaciones de los pueblos originarios (Diaguitas), ha existido un predominio de las actividades mineras y

agro-pastoras en la zona. Estas dos actividades co-existían con una pequeña de carácter agrícola, referida al cultivo de alimentos para la subsistencia y a una pequeña comercialización en mercados locales donde la principal limitante la ha constituido la baja cobertura de riego (INDH, 2018).

Tras un proceso de reconversión productiva en la década de los 90, las tradicionales actividades extractivas y ganaderas de la zona fueron aminoradas por una arremetida actividad agrícola, la cual hoy en día presenta un importante predominio en la zona. A nivel regional la superficie agrícola representa un 64%, mientras que a nivel nacional es de un 60%, transformando a esta actividad en uno de los ejes más importantes para la comuna, la provincia y la región (MINAGRI, 2018).

Particularmente en la comuna de Petorca, dentro de la actividad agrícola, destaca la masiva producción de paltas. Esta especie se emplaza en una superficie de 760,6 hectáreas correspondiente a un 48,4% de la superficie agrícola total en la comuna (CIREN, 2017). Estas cifras, junto a la producción existente en Quillota, comuna también perteneciente a la Región de Valparaíso, representan la mayor producción de palto en Chile, correspondiente al 75% de la producción nacional (CIREN, 2017). A su vez, un 65% de esta producción es destinada a la exportación

(ODEPA, 2018), convirtiéndose en un atractivo comercio internacional.

De esta manera, en sólo cuarenta años, Petorca pasó de ser una comuna con una marcada vocación criancera y minera pirquinera a una importante región agro-exportadora. Si bien tales acciones contribuyen al anhelo político de posicionar al país como potencia agroalimentaria mundial (Amcham Chile, 2018), estos procesos no han estado exentos de polémica. En la actualidad la comuna de Petorca atraviesa una importante sequía agudizada por el aumento de la demanda hídrica debido al creciente requerimiento de la industria agrícola extractiva. Sumado a los efectos adversos y procesos de desertificación propios del cambio climático, se hace necesario una revisión de este proceso de reconversión y su contextualización con el fin de plantear la base para la propuesta de lineamientos estratégicos que logren guiar el camino a la superación de esta crisis.

1.1 Antecedentes Histórico - Sociales

La actividad socio-económica y cultural de la zona de estudio guarda relación con la trashumancia. Esta milenaria tradición característica del norte chico de Chile, consiste en el continuo desplazamiento estacional de ganado en búsqueda de pasto para su alimentación

(Hevilla y Molina, 2010). Estos traslados se realizan desde los sectores costeros e intermedios donde hierbas y brotes crecen durante otoño e invierno, hasta los tiernos pastos de la cordillera de Los Andes que se desarrollan en primavera y verano (Maino, 2015). Esta actividad que refiere a un proceso adaptativo a zonas de productividad cambiante, ha sido durante décadas la base económica para cientos de familias que hacen de la ganadería su sustento. Sin embargo, durante la última década del siglo XX su carácter nómada le confirió una condición de pobreza sujeto a los estándares de categorización de la época, debido a la inexistencia de una vivienda fija.

A principios de la década de los 90 y en un contexto de instauración de la democracia tras el término de la dictadura militar, la lucha contra la pobreza fue asumida por los gobiernos de turno como uno de los objetivos más importantes del Estado (Schkolnik y García 1995). Para concretizar dicha prioridad, se propuso abordar este desafío país mediante dos líneas de acción. La primera de ellas se asocia a la estimulación del desarrollo económico a través de la vía liberal, mientras que la segunda, apunta a la creación de nuevas entidades gubernamentales, orientadas, principalmente, a la mejora de las condiciones de vida de la población más carente de recursos (Rovira, 2016).

Dentro de esta última línea se creó, en el año 1994 por decreto presidencial, el Consejo Nacional para la Superación de la Pobreza (CNSP) el cual tiene como fin constituir una instancia de reflexión y propuestas de iniciativas encaminadas a superar la extrema pobreza, así como asesorar a la autoridad en la aplicación del Plan Nacional de Superación de la Pobreza (PNSP, 1995). Tal plan tuvo el objetivo de direccionar la acción pública hacia los territorios más pobres de la población y coordinar los distintos programas públicos enfocados a la superación de la pobreza. En el marco de lo anterior, el PNSP se propuso diseñar e implementar un Programa Especial de Comunas (PEC) mediante el cual se identificaron las 79 comunas más pobres del país sobre las cuales se enfocarían los esfuerzos de modo que los ministerios y servicios pudiesen asignar recursos de manera prioritaria (Raczynski y Serrano, 2003).

Para la identificación de estas comunas se recurrió a una serie de estudios e indicadores generados por organismos oficiales que establecieron una definición a la condición de pobreza asociada a los conceptos de vulnerabilidad y carencia. El primero se definió como la falta de una fuente de empleo e ingresos estables y el segundo como la falta de tenencia de la propiedad, siendo decisivos para el entendimiento de la condición de pobreza de la época (Larrañaga y Rodríguez, 2014). En este contexto, la tras-

humancia característica de la zona de estudio se ajustó con los estándares descritos por lo cual dicha tradición se debía erradicar. De esta manera, para el año 1995 la comuna de Petorca resultó ser la quinta comuna rural más pobre del país y única dentro de la región (CIS, 1996).

Ante esta situación y mediante los Programas Regionales de Superación de la Pobreza, el gobierno procede a la realización de verdaderos procesos de reconversión productiva en el país. En el caso de Petorca, y dada sus favorables condiciones agroclimáticas, se implantó la actividad agrícola como fuente primordial para el desarrollo de la comuna (INDH, 2018). En este respecto, y bajo la implementación de los programas PEC, instituciones como el Instituto de Desarrollo Agropecuario (INDAP) y la Corporación de Fomento a la Producción (CORFO) promovieron, desde sus inicios, acciones de financiamiento, tecnología y fomento para su desarrollo. De esta manera y junto con la apertura de la economía chilena a los mercados internacionales en los años 80, la estrategia de desarrollo de la agro-industria exportadora produjo la proliferación de grandes empresas agrícolas en la zona, así como también la transformación del sector silvoagropecuario en un pilar del crecimiento económico del país (Urquidí, Seeger y Lillo, 2012).

Si bien tal proceso de reconversión significó la dismi-

nución de los índices de pobreza en la comuna, lo cual discutiremos más adelante, la sustitución de una cultura adaptativa por una de características de alta demanda hídrica tendría consecuencias. A continuación para cimentar la hipótesis se presenta una revisión de los antecedentes ecológicos pertinentes.

1.2 Antecedentes Ecológicos

Un aspecto importante de la zona de estudio es su ubicación de baja cordillera, donde los aportes al sistema acuífero y agua superficial de las cuencas son predominantemente pluviales (INDH, 2018). A diferencia de otros territorios de la misma región (Valparaíso-Aconcagua) que cuentan con ríos procedentes de deshielos cordilleranos, el recurso hídrico de los valles de Petorca proviene casi exclusivamente de la pluviometría. Dado lo anterior, la disponibilidad de este recurso guarda una estrecha relación con el régimen pluvial de la zona. Con respecto a este último, el Gráfico 1 muestra los datos de precipitación promedio anuales desde el año 1869 al 2017, medición realizada desde la Estación de Observación Meteorológica más cercana llamada “Faro Punta Ángeles” ubicada en la ciudad de Valparaíso a 190 km al este de la zona de estudio.

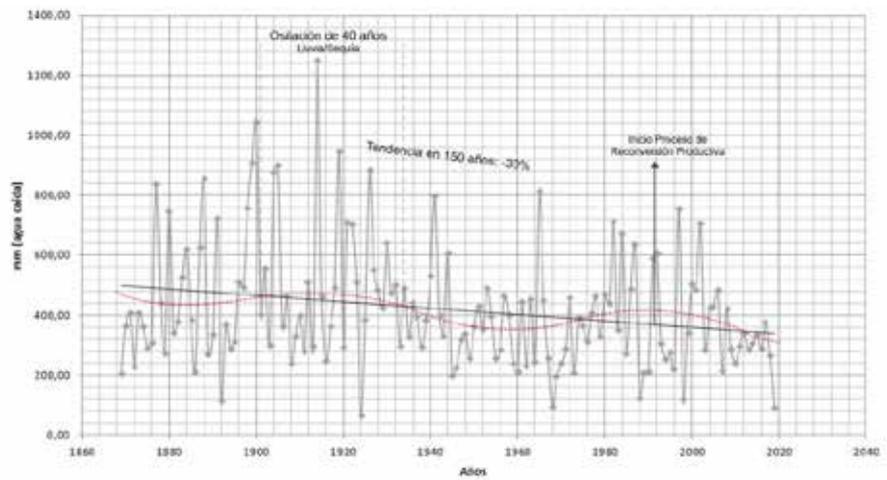


Gráfico 1. Precipitaciones Valparaíso 1869 al 2018.
Fuente: Elaboración Propia

Lo que podemos observar en el gráfico, es una nueva interpretación de los procesos o ciclos de sequías y lluvias, que presentan intervalos de aproximadamente 40 años para cada uno, siendo a razón de 15 a 18 años el periodo de retorno para los 150 años de precipitaciones registradas. El proceso de reconversión hacia los cultivos de paltos se posiciona en el periodo más álgido del último ciclo de lluvias registrado el cual comienza a mediados de los 70 y su declive comienza a partir del año 2000.

Si bien el proceso de reconversión se realizó dentro de un ciclo de lluvias, los datos indican que, para el período estudiado, las precipitaciones han disminuido en un 30 %, y el déficit de los últimos 20 años está sobre el 75 %. Claramente esta disminución en las precipitaciones presenta una problemática que, sumado al proceso de reconversión productiva, agrava el déficit hídrico en la zona.

Con respecto a lo anterior, la Figura 1 muestra los cambios en la productividad de la zona central, comparando el periodo 2010-2018 con 2001-2010 utilizando MODIS (250 m). Acompañado a ello podemos ver series de tiempo de índice de vegetación mejorado (EVI) para 3 ecosistemas distintos, donde vemos el comportamiento del verdor a lo largo del tiempo. En la primera serie se ve claramente como un pixel que anteriormente fue

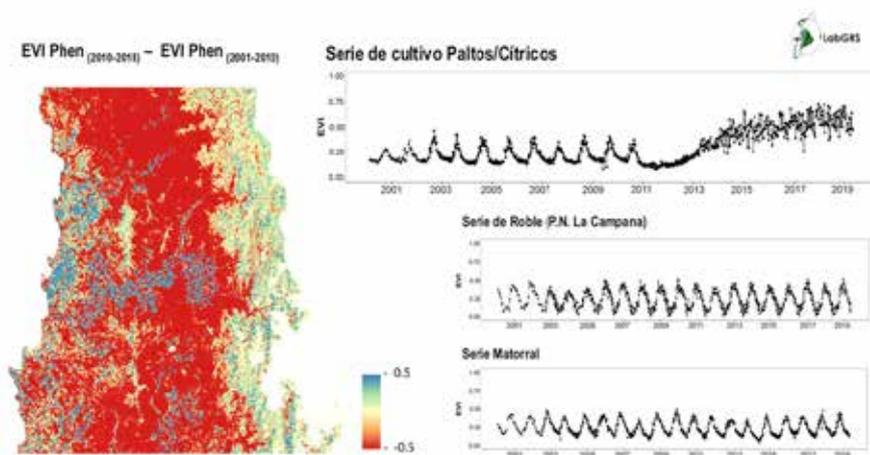
praderas ahora son monocultivos de cítricos o paltos, y que a su vez, son cultivos que demandan más agua.

La curva del primer gráfico muestra hasta el año 2011 oscilaciones de invierno (bajo), Verano (alto) con una estacionalidad muy bien marcada que corresponde a series de matorrales y estructuras herbáceas donde el agua está relacionada a las precipitaciones existentes. Esta sección del gráfico se hace similar al tercer gráfico llamado “Serie matorral”.

El siguiente intervalo entre 2011 y 2013, corresponde a un periodo de crecimiento de las especies de paltos y/o cítricos, este aumento paulatino corresponde a su crecimiento, lo que por otro lado, significa que el “matorral” se extingue.

El periodo siguiente entre 2014 y 2019 corresponde al desarrollo y productividad de los cultivos de paltos y cítricos los cuales tienen un significativo aumento en el consumo de agua y fundamentalmente pérdida de la estacionalidad. Las especies demandan agua durante invierno y verano con la misma intensidad, esto es lo que en definitiva ha generado la crisis por falta de resiliencia de especies que no se adaptan a los ciclos de invierno y verano, generando el stress hídrico para todos los sistemas naturales.

Figura 1. Cambios en la productividad Zona Central
Fuente: Laboratorio de Geo-Información y Percepción Remota, Instituto de Geografía Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.



Como queda demostrado en la figura anterior, la arremetida de la industria agrícola exportadora trajo consigo un aumento sustantivo en la necesidad de agua para riego, relevando prácticas tradicionales del sector como ya habíamos anticipado. En este respecto, la cultura de ganadería caprina, ocupa los pisos ecológicos para abastecerse de empastadas naturales, estos a medida que se aproxima el verano, en zonas altas, las temperaturas disminuyen y dejan un remanente de talaje suficiente para la próxima temporada. Como consecuencia se utiliza el agua remanente de precipitaciones y deshielos.

Por otra parte, la cultura pirquinera, herencia colonial relevante en la primera etapa del Chile independiente, ocupa marginalmente el agua. Esta no forma parte del proceso, pues el mineral es acopiado en su estado más primitivo para luego entregarlo a través de los poderes de compra establecidos por ENAMI.

■ 2. Discusión

La revisión de los antecedentes, tanto ecológicos como histórico-sociales, plantea la existencia de una estrecha relación entre el conflicto socio-ambiental por el que atraviesa la comuna de Petorca, y los procesos de transformación productiva vivida en la zona durante la década de los noventa.

En primer lugar se plantea que las actividades tradicionales como la crianza de animales y la minería pirquinera, que fueron reemplazadas por la industria agrícola, poseen ciertas características que las hace resilientes a cambios hídricos. La primera, que refiere a la cultura trashumante, posee grandes capacidades adaptativas a los procesos climatológicos, mientras que la segunda actividad no presenta mayores demandas al recurso hídrico. Sin embargo, para los estándares de pobreza de la época, tales actividades fueron mal entendidas y asociadas a una población carenciada y vulnerable, y ante la consigna de combatir la pobreza, se suscitó su erradicación. De esta manera, esta cultura ancestral no valorada para ese entonces, se sustituyó por una industria agro-exportadora que prosperó en lo económico sin medir consecuencias en lo ecológico.

En segundo lugar, se plantea que dicha transformación se produjo sin un análisis hídrico de periodos de cuarenta años o más, debido a lo anterior el recambio productivo se hizo en el periodo de alta pluviometría. La dependencia al régimen de lluvias por parte de la cuenca hidrológica del río de Petorca y la disminución pluviométrica histórica ya vislumbraba un escenario de escasez hídrica desde los periodos ya relevados. Si bien esta escasez está relacionada en una primera instancia con factores asociados al cambio climático y a la propia variabilidad climática

que implican sequías periódicas, la sustitución de especies nativas por otras foráneas que además requieren de un alto consumo hídrico, agrava el déficit de este recurso haciendo insostenible su producción.

■ 3. Conclusiones

Los procesos de reconversión productiva desarrollados en Petorca están estrechamente vinculados a la escasez hídrica por la cual atraviesa la comuna. Las características hidrogeológicas de este territorio, conjugadas con la explotación de los suelos agrícolas -sujeto a un uso intensivo de agua- conforman un escenario de escasez hídrica que es crítica. Sumado a los efectos y procesos de desertificación propios del cambio climático, la situación se complejiza aún más, siendo una combinación que decanta en una importante transformación socio-ambiental afectando directamente a actores locales y a la comunidad en general.

En este escenario, y tras la presente investigación, se plantea la necesidad imperante de un desarrollo con capacidad adaptativa para la zona. Los lineamientos que guíen este proceso refieren en primera instancia a una revisión de las tradiciones ancestrales resilientes así como también la anticipación de los ciclos de desarrollo de las especies que se van a introducir. Dado lo anterior, más

allá de requerir una adecuada gestión sobre el recurso hídrico, se requiere replantear la vocación cultural y económica de la zona.

Referencias

Amcham Chile (2018). Memoria Anual 2018. Santiago: Cámara Chilena Norteamericana de Comercio.

CIREN (2017). Catastro Frutícola Región de Valparaíso. Santiago: Centro de Información de Recursos Naturales.

CIS (1996). Programa Nacional de Superación de la Pobreza 1995-1996. Santiago: Comité Interministerial Social, Ministerio de Planificación y Cooperación.

INDH (2018). ACTUALIZACIÓN INFORME MISIÓN DE OBSERVACIÓN PROVINCIA DE PETORCA. Santiago: Instituto Nacional de los Derechos Humanos.

INE (2017). Síntesis Censo 2017. Santiago: Instituto Nacional de Estadística.

Hevilla, M. y Molina, M. (2010). Trashumancia y nuevas movilidades en la frontera argentino-chilena de los andes centrales. *Revista Transporte y Territorio*, Universidad de Buenos Aires, (3), 40-58.

Larrañaga, O. y Rodríguez, M. (2014). Desigualdad de ingresos y pobreza en Chile, 1990 a 2013. Santiago: PNUD.

Maino, V. (2015). Trashumancia den el Valle del Choapa. Santiago: Fundación Minera Los Pelambres.

MINAGRI (2018). Región de Valparaíso. Información regional 2018. Santiago: Ministerio de Agricultura.

ODEPA (2018). La palta chilena en los mercados internacionales. Santiago: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias.

Raczynski, D. y Serrano, C., (2016), La pobreza en Chile y su superación como problema de estado: Un análisis de los discursos presidenciales de la concertación. *Revista Austral de Ciencias Sociales*, (30), 27-51.

Schkolnik, M. y García, A. 1995. "Superación de la pobreza: Balance y propuestas". *Políticas económicas y Sociales en el Chile Democrático*. Vial, C., Raczynski, J. y Pizarro, D.(Ed.). Santiago: CIEPLAN. 141-166. Recuperado de http://www.cieplan.org/media/publicaciones/archivos/15/Capitulo_7.pdf

Urquidi, J. C., Seeger, M., & Lillo, M. (2012). Informe sobre el Estado y la Calidad de las Políticas Públicas sobre Cambio Climático y Desarrollo en Chile. Santiago.

