

INFORME A LA NACIÓN

El Antropoceno en Chile:
evidencias y formas de avanzar

(CR)² Center for Climate and Resilience Research
www.CR2.cl

UNIVERSIDAD DE CHILE
PATROCINA

UNIVERSIDAD DE CONCEPCION
UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE
INSTITUCIONES ASOCIADAS

CONICYT
FINANCIA



Contenido

Prólogo 3

Puesta en escena 5

Referencias 7

Capítulo 1
Registros geohistóricos del Antropoceno en Chile 8

Capítulo 2
Evolución de la calidad del aire en Santiago: el papel de la movilidad y las lecciones de la interfaz entre ciencia y política 11

Capítulo 3
Perspectivas del forzamiento antropogénico en la surgencia costera de Chile central y sur 14

Capítulo 4
Secamiento antrópico en el centro y sur de Chile evidenciado con observaciones de largo plazo y proyecciones climáticas 17

Capítulo 5
Antropoceno y caudales: una perspectiva de largo aliento de caudales y derechos de agua 20

Capítulo 6
Cambio de uso y cobertura de suelos en el Antropoceno 23

Capítulo 7
Incendios en el Antropoceno 26

Capítulo 8
Gobernanza del cambio climático en el Antropoceno: aparición del policentrismo en Chile 29

Recomendaciones 32

Glosario 36

(CR)2 Center for Climate and Resilience Research
www.CR2.cl

Los resultados presentados en este informe son parte del trabajo interdisciplinario que realiza el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2.

El (CR)2 es un centro de excelencia financiado por el programa FONDAP de CONICYT (Proyecto 15110009) en el cual participan cerca de 60 científicos asociados a la Universidad de Chile, la Universidad de Concepción y la Universidad Austral de Chile.

La versión electrónica de este documento está disponible en el sitio web www.cr2.cl/antropoceno.

Coordinación General:
Laura Gallardo
Edición General:
Laura Gallardo, Andrea Rudnick, José Barraza, Zoë Fleming
Diseño:
María Giselle Ogaz
Fotografías
Portada, contraportada, páginas 4 y 32
©Axel Osses
Páginas 5, 6 y 26
©NASA (www.nasa.gov)
Páginas 7, 11, 14, 17,20, 23, 24, 28, 34 y 35
©Shutterstock.com
Página 8
©José Alberto Bermúdez (www.curriculumnacional.cl)
Página 21
©Moisés Rojas Badilla
Página 29
©(CR)2

Prólogo

En el siglo XXI, el desarrollo de Chile está en juego debido a las amenazas planteadas por el Antropoceno. Esta época se caracteriza por la influencia humana sobre el sistema terrestre. Sin embargo, si se enfrenta con audacia, ofrece una oportunidad para un desarrollo sostenible. Independientemente de si hemos entrado en una nueva era geológica, el Antropoceno cuestiona nuestra forma de vivir en el planeta azul del sistema solar. O, dicho de otra manera, la forma de entender el progreso y el desarrollo. En un país con grandes desigualdades sociales, altamente vulnerable al cambio global, enfrentar este desafío es de crucial importancia y puede ofrecer nuevas oportunidades.

En el Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR)2, decidimos utilizar el marco del Antropoceno para desarrollar nuestros esfuerzos de investigación integrativa. Así, hemos estudiado algunas de las manifestaciones regionales de esta nueva era en Chile con el fin de contribuir a la identificación de alternativas hacia una mayor resiliencia. En primer lugar, revisamos los registros geohistóricos que muestran la influencia humana en el territorio chileno desde tiempos prehispánicos y planteamos que éstos ofrecen "líneas base" cruciales para delinear espacios operativos seguros para futuros sistemas socio-ecológicos. Luego, se aborda la evolución conjunta de la calidad del aire y la movilidad de los residentes de Santiago en los últimos 30 años. Este estudio demuestra que las políticas basadas en la ciencia tuvieron éxito en la adopción de nuevas tecnologías, pero que existe la necesidad de nuevas políticas públicas que promuevan, no sólo los avances tecnológicos, sino que también cambios de comportamiento y transformaciones sociales. Otro estudio del (CR)2 evalúa las causas de la variabilidad de la precipitación en el centro y sur de Chile en base a más de cinco décadas de observaciones (1960-2016), así como de proyecciones climáticas. Se encontró que los cambios observados son, en gran parte, producto de perturbaciones globales antropogénicas y que podemos esperar que estas tendencias continúen durante el siglo XXI, aunque moduladas en escalas de tiempo de años a decenios por la variabilidad natural. Además, como las consecuencias de un clima más seco y cálido son múltiples y con frecuencia se entrelazan, enfrentar la sequía en el Antropoceno requerirá de enfoques holísticos para la gobernanza del agua y la adaptación al

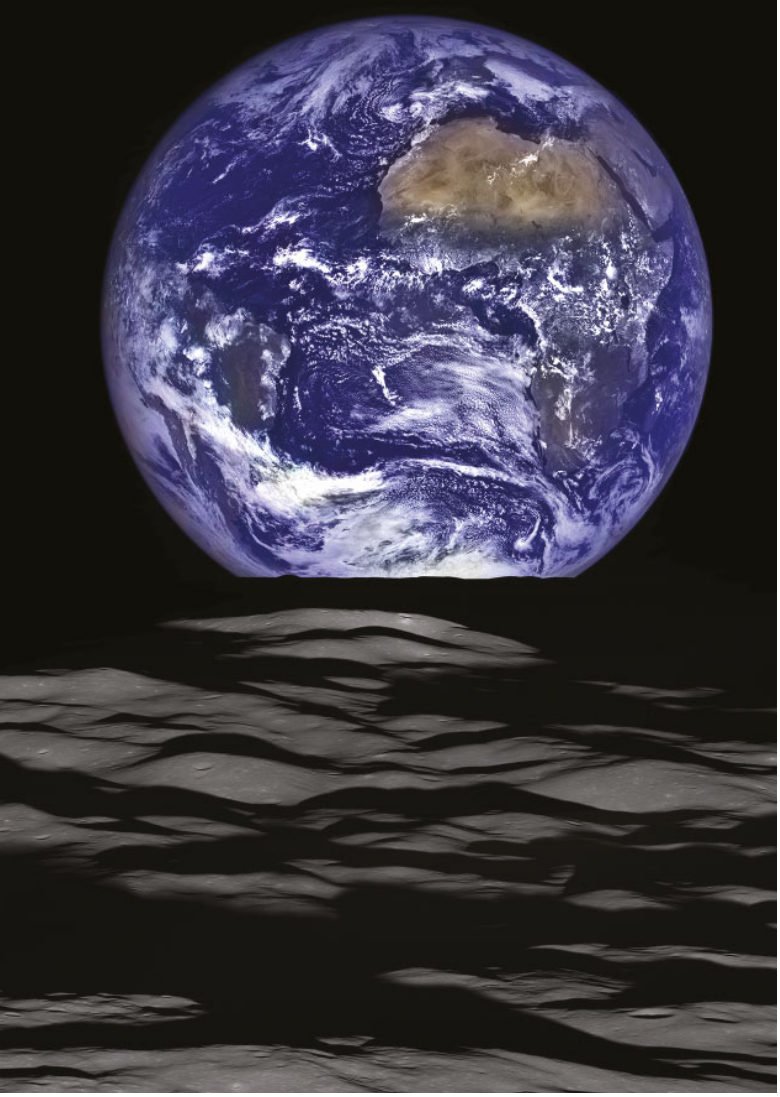
Prólogo

cambio climático. Esto último se ilustra con una cuenca hidrográfica en el centro de Chile, donde evaluamos la forma en que los recursos hídricos se asignan según la legislación vigente. Otro estudio aborda cómo los cambios en el clima a gran escala han dado como resultado cielos más despejados (más radiación solar), vientos más intensos y favorables a la surgencia costera, lo que genera mayor concentración de nutrientes en las aguas superficiales y por lo tanto incremento en la biomasa de fitoplancton y menores concentraciones de oxígeno disuelto. Estos cambios afectan la trama trófica marina y, finalmente, la producción pesquera, lo que requiere un mejor seguimiento (observaciones) y gobernanza. El cambio de uso y cobertura de suelos, así como los cambios en los regímenes de incendios, también se analizan en el marco del Antropoceno. Se indica que es imperativo diseñar una nueva política forestal y, en general, una política de uso de la tierra para asegurar la preservación de la biodiversidad, enfrentar los nuevos regímenes de incendios y asegurar el suministro de agua en el centro y sur de Chile. Finalmente, presentamos un análisis de la gobernanza del cambio climático en nuestro país, el cual sugiere formas de mejorar a través de una mayor participación ciudadana y la integración del conocimiento. La mayoría de estas investigaciones se publicaron en un número especial de *Elementa: Science of the Anthropocene*, una revista abierta a la investigación interdisciplinaria. Otras se publicaron, sujetas a revisión por pares, en otras revistas. En el presente informe se resumen los hallazgos de estas investigaciones y se resaltan los aspectos relevantes para la política pública y la toma de decisiones.



Puesta en escena

Para enfrentar el Antropoceno debemos reconocer la interconexión del mundo en el que vivimos.



Se ha reconocido que la influencia humana se ha convertido en un agente principal de cambio en el planeta [1]. Los impactos antropogénicos son, de hecho, múltiples y ocurren en todo el mundo a tasas sin precedentes y aceleradas, particularmente, desde la década de 1950 [2]. Las tasas de cambio actuales superan con creces las determinadas por los procesos naturales y con consecuencias que superan los límites planetarios[3–5].

Estos cambios están desplazando al mundo del tiempo geológico relativamente estable conocido como el Holoceno (últimos 12.000 años), durante el cual los humanos hemos prosperado como especie. Ahora, estamos entrando en una nueva era geológica llamada Antropoceno [1,6–8]. Los cambios en la temperatura y los patrones de precipitación, el nivel del mar, las capas de hielo polares y glaciales, la acidez del océano, entre otros, se han evaluado con detalle en los informes del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático [9]. Además de la evidente perturbación del sistema climático, más de la mitad de la superficie del planeta ha sido transformada por la acción humana con consecuencias sobre la biodiversidad, el ciclo de nutrientes y los suelos, entre otros. Todos estos cambios se caracterizan por ocurrir simultáneamente, con tasas de crecimiento exponencial que se aceleraron después de los años 1950 [2]. Esto conlleva riesgos para nuestro presente y futuro debido a la magnitud y rapidez de los cambios, así como a su naturaleza interrelacionada, lo que genera retroalimentación, respuestas inesperadas y nuevos riesgos[10,11]. Todo esto afecta a nuestra sociedad ya que las instituciones se ven sobrepasadas por las tasas aceleradas de cambio y la magnitud de los desafíos emergentes [12–15].

Puesta en escena

El caso de Chile no es diferente. Analizamos principalmente la zona centro sur del país, donde vive cerca del 90% de la población. Las causas subyacentes de estos cambios, como la urbanización y el cambio de uso y cobertura de suelo, muestran tendencias aceleradas desde la segunda mitad del siglo XX. Las consecuencias de esto no son meramente locales, sino que mayores y van más allá de los límites administrativos. De manera similar, los cambios derivados de forzantes remotos, como los que afectan los patrones de precipitación en el centro y sur de Chile, tienen consecuencias regionales y locales que ocurren en cascadas. Por ejemplo, la disminución de la precipitación en los Andes genera cambios en el caudal de ríos, cambios que pueden amplificarse por la presencia de extensas plantaciones, las que afectan la provisión de nutrientes en las aguas costeras, lo que, a su vez, lleva a cambios en la producción primaria en el océano. Estas cadenas de efectos no pueden abordarse por separado debido a su naturaleza entrelazada [10,16]. Además, las consecuencias no necesariamente se propagan linealmente de un subsistema a otro, es decir, la respuesta puede no ser proporcional a la causa. Los sistemas que están siendo perturbados local y remotamente son cambiantes, evolucionan en múltiples escalas de tiempo y están interconectados. Estas características son las que definen a los sistemas dinámicos complejos. Por lo tanto, para comprender y enfrentar estos desafíos no se deben adoptar enfoques estáticos y reduccionistas, sino adaptativos y holísticos [17].

Para enfrentar el Antropoceno debemos reconocer la interconexión del mundo en el que vivimos, lo que ha sido relevado en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas que establece 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales son integrados e indivisibles. Además, debemos ser conscientes de la necesidad de una acción rápida y de gran alcance [1]. Esto, a su vez, requiere nuevas ideas, perspectivas, conceptos y la inclusión de múltiples actores. Necesitamos cambiar nuestros paradigmas para la ciencia y la gobernanza, entre otros, alejándonos de los enfoques sectoriales. La nueva época cuestiona lo que hemos llamado desarrollo y progreso hasta ahora.



Referencias



1. IPCC. *Global Warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the Impacts of Global Warming of 12 1.5°C above Pre-Industrial Levels and Related Global Greenhouse Gas Emission Pathways, in the 13 Context of Strenghtening the Global Response to the Threat of Climate C. Special Report: Global Warming of 1.5 °C* (2018).
2. Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O. & Ludwig, C. The trajectory of the anthropocene: The great acceleration. *Anthr. Rev.* **2**, 81–98 (2015).
3. Foster, G. L., Royer, D. L. & Lunt, D. J. Future climate forcing potentially without precedent in the last 420 million years. *Nat. Commun.* **8**, 14845 EP- (2017).
4. Rockström, J. et al. Planetary Boundaries: Exploring the Safe Operating Space for Humanity. *Ecol. Soc.* **14**, 32 (2009).
5. Steffen, W. et al. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science (80-.).* **347**, 1259855 (2015).
6. Crutzen, P. J. Geology of mankind. *Nature* **415**, 23–23 (2002).
7. Haff, P. et al. The Working Group on the Anthropocene: Summary of evidence and interim recommendations. *Anthropocene* **19**, 55–60 (2017).
8. Crutzen, P. J. & Stoermer, E. F. The 'Anthropocene'. *Glob. Chang. Newsletters* 17–18 (2000).
9. IPCC *et al. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis. Climate Change 2013 - The Physical Science Basis* (Cambridge University Press, 2014). doi:10.1017/cbo9781107415324
10. Reyers, B., Folke, C., Moore, M.-L., Biggs, R. & Galaz, V. Social-Ecological Systems Insights for Navigating the Dynamics of the Anthropocene. A*nnu. Rev. Environ. Resour.* **43**, 267–289 (2018).
11. Steffen, W. et al. Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **115**, 8252 LP-8259 (2018).
12. Gupta, J. Climate change governance: history, future, and triple-loop learning? *Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang.* **7**, 192–210 (2016).
13. Kotzé, L. J. Constitutional conversations in the anthropocene: In search of environmental jus cogens norms. in *Netherlands Yearbook of International Law* **46**, 241–271 (Springer, 2016).
14. Sterner, T. *et al.* Policy design for the Anthropocene. *Nat. Sustain.* **2**, 14–21 (2019).
15. Underdal, A. *et al.* Navigating the Anthropocene: Improving Earth System Governance. *Science (80-.)*. **335**, 1306–1307 (2012).
16. Ostrom, E. Beyond Markets and States: Polycentric Governance of Complex Economic Systems. *Am. Econ. Rev.* **100**, 641–672 (2010).
17. Liu, J. et al. Systems integration for global sustainability. *Science (80-.)*. **347**, 1258832 (2015).



Registros geohistóricos del Antropoceno en Chile

CAPÍTULO

1

Revisamos evidencias de la huella humana en el norte y centro de Chile durante los últimos tres milenios y se sugiere que las sociedades que han habitado estas regiones desempeñaron un papel activo en la configuración de los entornos naturales. En efecto, verificamos impactos acumulativos de las actividades humanas pasadas en la evolución de los ecosistemas chilenos. Los resultados apoyan la noción emergente de que el Antropoceno deriva de procesos a largo plazo que han operado continuamente desde tiempos prehistóricos. En este sentido, demostramos que las narrativas científicas que se construyen a partir del pasado remoto tienen el potencial de convertirse en instrumentos que permiten delinear una opinión pública mejor informada sobre la historia socio ambiental de Chile. Pero lo más importante es que éstos ofrecen "líneas base" para proyectar espacios operativos seguros para los futuros sistemas socio-ecológicos chilenos, así como los principios para el manejo sostenible de sus ecosistemas.

Las estimaciones demográficas para el norte y el centro de Chile revelan un crecimiento exponencial de la población durante los últimos 3.000 años, con una marcada aceleración hace aproximadamente 2.000 años. Este patrón de incremento demográfico y de las actividades humanas ocurrió bajo condiciones climáticas relativamente adversas en ambas regiones. Aparentemente, las sociedades precolombinas pudieron amortiguar este escenario ambiental ajustando continuamente prácticas socioculturales o incorporando nuevas tecnologías que garantizaron el acceso a recursos y el bienestar social. La tala y quema de los bosques nativos continentales y de las islas costeras ha sido una práctica recurrente para el manejo del paisaje de Chile central.

En la zona norte, en tanto, estas estrategias de despeje a gran escala estuvieron ausentes, muy probablemente debido a la limitada cobertura vegetal. En cambio, los habitantes del desierto de Atacama explotaron los servicios ecosistémicos a través de la intervención y manejo del agua desde ríos o acuíferos y la implementación de la agrosilvicultura para crear campos de cultivos fértiles y oasis de vegetación artificiales. Una estrategia clave para las poblaciones costeras de ambas regiones fue la explotación intensiva de recursos marinos, lo que resultó en la sobreexplotación de los ecosistemas litorales, una profunda transformación de la morfología costera y, probablemente, en la alteración del ciclo de nutrientes en los hábitats cercanos a la costa.



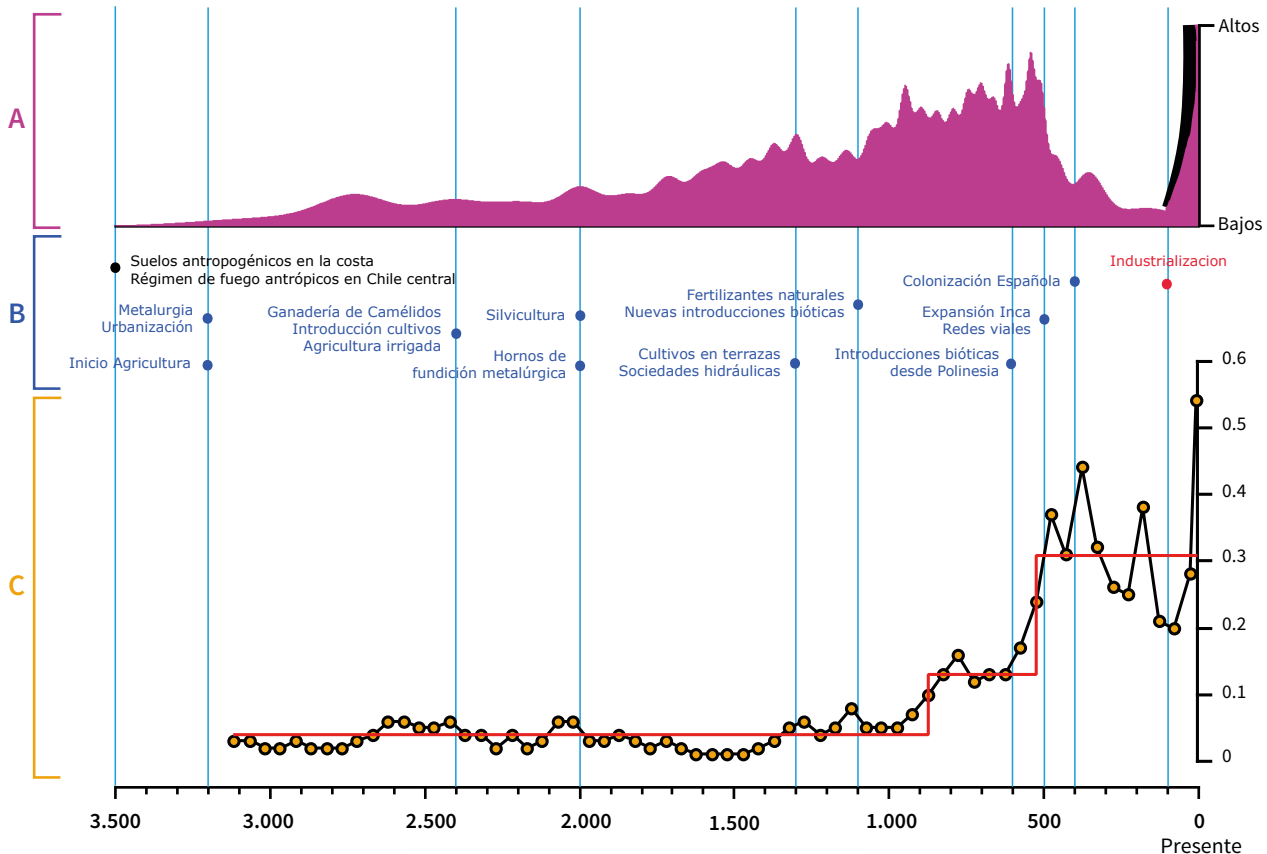
Recreación de la práctica precolombina de fundir cobre utilizando hornos de viento a altas temperaturas.

Planteamos que los comportamientos humanos pasados modularon los sistemas biofísicos, descartando la visión de virginidad o de la existencia de ambientes inalterados antes de la Revolución Industrial. Es más, los datos analizados sugieren que la mayoría de los síntomas actuales para describir el Antropoceno en Chile se encuentran arraigados a procesos precolombinos que se intensificaron en los últimos 3.000 años y que se aceleraron desde la colonización española. Quizás la tendencia más sorprendente es la coevolución observada entre la intensidad de la metalurgia en el norte de Chile y la contaminación atmosférica por metales pesados que aparece como evidencia en diferentes registros geoquímicos sudamericanos e incluso antárticos.

Autores: Eugenia Gayó, Virginia McRostie, Roberto Campbell, Carola Flores, Antonio Maldonado, Mauricio Uribe-Rodríguez, Patricio Moreno, Calogero Santoro, Duncan Christie, Ariel Muñoz, Laura Gallardo
Publicación en revisión

Figura

Panel A: niveles demográficos modelados para Chile durante los últimos tres milenios. La línea negra describe la tendencia en el crecimiento poblacional para los últimos 190 años. **Panel B:** principales transformaciones socio-culturales y ambientales ocurridas en el territorio. El punto color negro denota alteraciones ambientales que han sido inducidas por las actividades humanas desde mucho antes del año 3500 AP. **Panel C:** índice de polución derivada a partir de las actividades metalúrgicas (curva negra con círculos naranjos). La línea roja representa cambios de régimen en las emisiones antropogénicas de metales pesados.





Evolución de la calidad del aire en Santiago: el papel de la movilidad y las lecciones de la interfaz entre ciencia y política

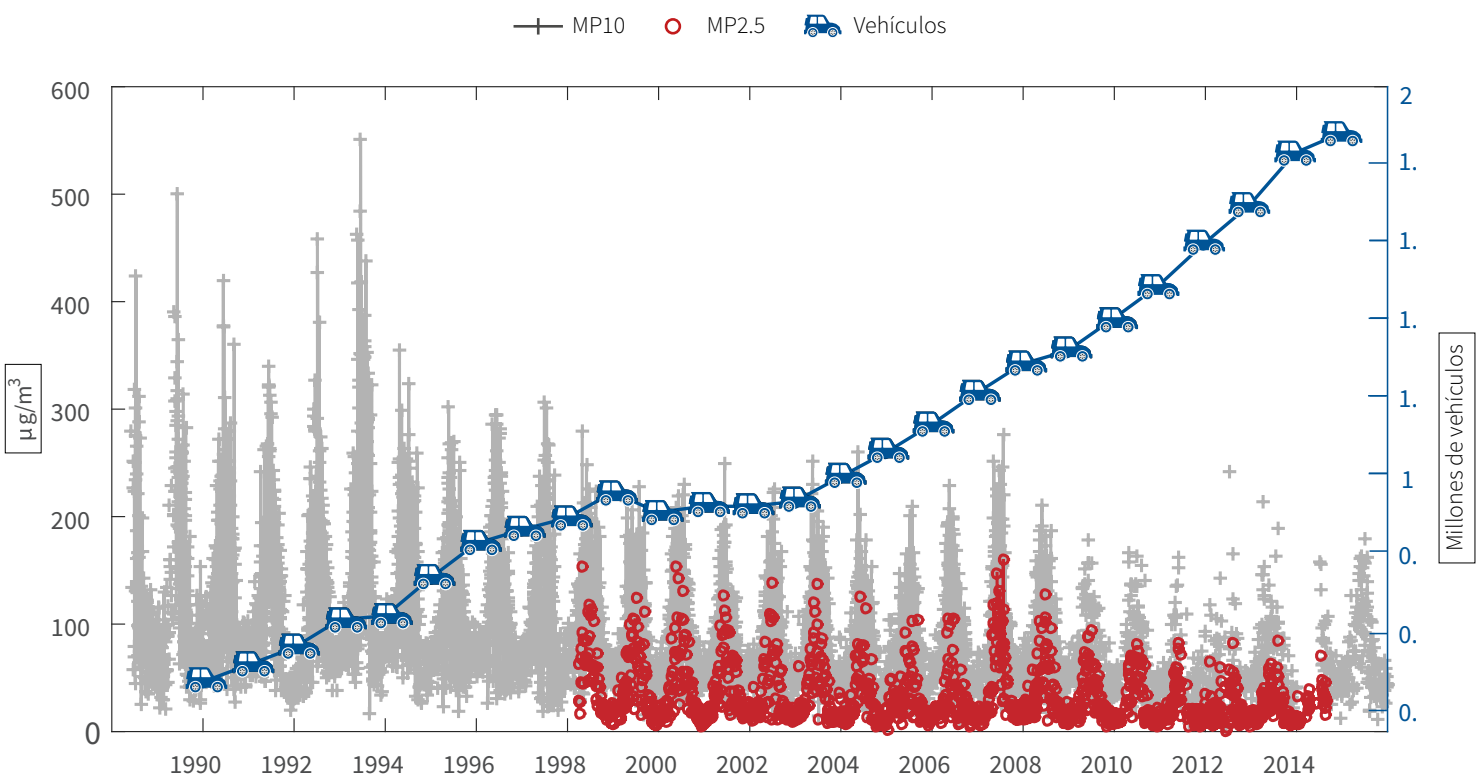
CAPÍTULO

2

La evolución de la movilidad y la calidad del aire en los últimos 30 años en Santiago de Chile demuestran el éxito de las políticas basadas en la ciencia, pero también muestra que los cambios tecnológicos no son suficientes. El desarrollo urbano sostenible en el contexto del Antropoceno requiere una ciencia y una política integradas que aborden la complejidad, enfaticen los cambios de comportamiento y vayan más allá de las visiones sectoriales.

En los últimos 30 años, la expansión urbana ha creado comunidades segregadas y con poca conectividad, experimentando impactos ambientales y socioeconómicos perjudiciales. Se ha observado una disminución dramática en el uso del transporte público en Santiago, pasando de 83% en 1977 a 47% en 2012, con un aumento en el uso de automóviles privados. Pese a esto, hay evidencia de una disminución sustancial en las concentraciones de material particulado grueso (MP10) en Santiago. Esto refleja el éxito de las medidas adoptadas desde principios de los años noventa, las que han sido principalmente tecnológicas y operativas. Sin embargo, estos esfuerzos se han contrarrestado, en el caso del material particulado fino (MP2.5), por el aumento de los niveles de actividad vehicular. Del mismo modo, también surge de nuestro análisis una transición a una atmósfera más oxidativa, donde la formación de aerosoles secundarios y la contaminación fotoquímica cobran especial relevancia. Por lo tanto, se debe prestar atención a la evolución del sector del transporte por sus emisiones de óxidos de nitrógeno, entre otros. Las medidas tecnológicas y operativas serán, probablemente, insuficientes si los cambios de comportamiento no conducen a un aumento en el uso del transporte público. Con este fin, la incorporación de científicos sociales y comunicadores en el ámbito de la formulación de políticas será primordial.

Evolución del MP10, MP2.5 y número de vehículos entre 1988 y 2016

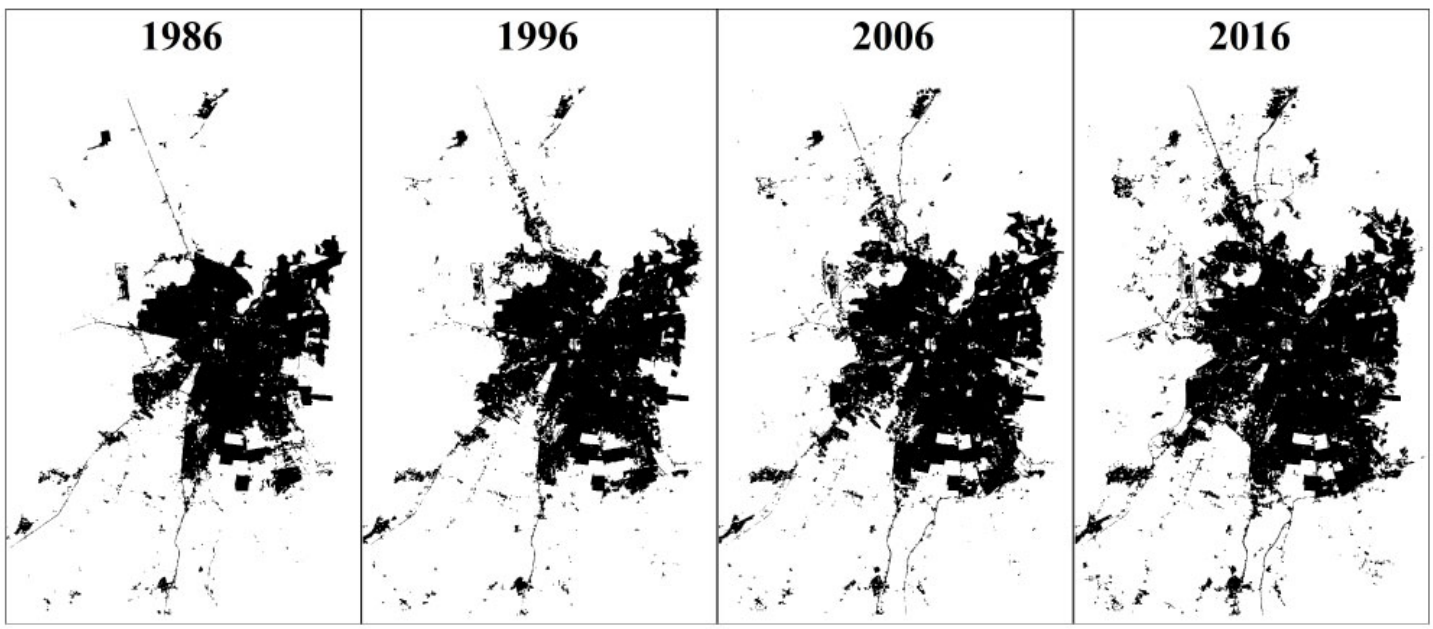


Junto con eso, los esfuerzos de monitoreo actuales deben ser mejorados, por lo que sugerimos el establecimiento de, al menos, un supersitio de monitoreo en Santiago y, eventualmente, en todos los principales centros urbanos del país. Si se realiza juntamente con un consorcio académico, tal iniciativa permitiría la colaboración a largo plazo con la comunidad científica. Además, es fundamental ampliar las estimaciones actuales de emisiones de gases de efecto invernadero, para incluir contaminantes climáticos de vida media corta y sus precursores, incluyendo carbono negro, metano, óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, entre otros. Cabe señalar también que los análisis de costo-beneficio se han limitado a los impactos en la salud, sin considerar otros impactos, como la visibilidad, el daño a los cultivos, los impactos en la vegetación, la seguridad de los alimentos y cuerpos de agua, entre otros. Del mismo modo, parece necesario un cambio, desde enfatizar los efectos a corto plazo (agudos) hasta los efectos a largo plazo (crónicos).

El contexto del Antropoceno exige una acción audaz y creativa. Muchas acciones deben ocurrir dentro de la ciudad y ser refrendadas y sostenidas por la ciencia, los medios de comunicación y la voluntad política. Las ciudades pueden ofrecer oportunidades para transformaciones tecnológicas y sociales hacia la eficiencia energética y la descarbonización, de conformidad con el Acuerdo de París.

Autores: Laura Gallardo, Francisco Barraza, Andrés Ceballos, Mauricio Galleguillos, Nicolás Huneeus, Fabrice Lambert, Cecilia Ibarra, Marcela Munizaga, Raúl O'Ryan, Mauricio Osses, Sebastián Tolvett, Anahí Urquiza, Karina D. Véliz
Publicado en: http://doi.org/10.1525/elementa.293

Evolución de los límites de la ciudad de Santiago desde 1986 a 2016





Perspectivas del forzamiento antropogénico en la surgencia costera de Chile central y sur

CAPÍTULO

3

Las tendencias de variables ambientales observadas en el océano costero del centro y sur de Chile durante las últimas dos décadas denotan la influencia del cambio climático antropogénico, generando una cadena de impactos en sus ecosistemas marinos que afectan a la pesca. Esto es clave en afloramientos costeros de Chile, sistemas con alta productividad biológica que se encuentran asociados a importantes actividades económicas. Cambios en la intensidad y frecuencia de los afloramientos costeros asociados a cambios en los patrones de viento tienen numerosas consecuencias físicas y biológicas. Para abordar este problema de manera efectiva se requerirá contar con mejor información para analizar el océano mediante un sistema de observación representativo, por ejemplo, de boyas oceanográficas, que opere de manera efectiva en el largo plazo y que permita proponer medidas de respuesta a cambios adversos en el océano costero.

En las últimas dos décadas se ha observado un aumento en la presión atmosférica a nivel del mar en el Pacífico suroriental, así como un desplazamiento hacia el sur del anticiclón subtropical. Estos cambios han resultado en cielos más despejados (mayor radiación solar en superficie) y vientos más intensos, favorables para la surgencia costera –proceso por el cual aguas frías, con baja concentración de oxígeno y ricas en nutrientes, ascienden a la superficie–. Esto se traduce en un enfriamiento costero y un mayor aporte de nutrientes a la capa superficial lo que, a su vez, repercute en el incremento de biomasa de fitoplancton y en menores concentraciones de oxígeno disuelto. También es evidente un aumento en la profundidad de la capa de mezcla marina que influye sobre la distribución vertical de variables fisicoquímicas. Estos cambios, probablemente, representan el resultado del cambio climático antropogénico, ya que los patrones espaciales de las tendencias observadas durante las últimas décadas son consistentes con las proyectadas por los escenarios de cambio climático para fines del siglo XXI. Sin embargo, la variabilidad natural a escalas interanual e interdecadal también juegan un papel clave.

Imagen satelital en color del mar y ubicación de la Estación 18

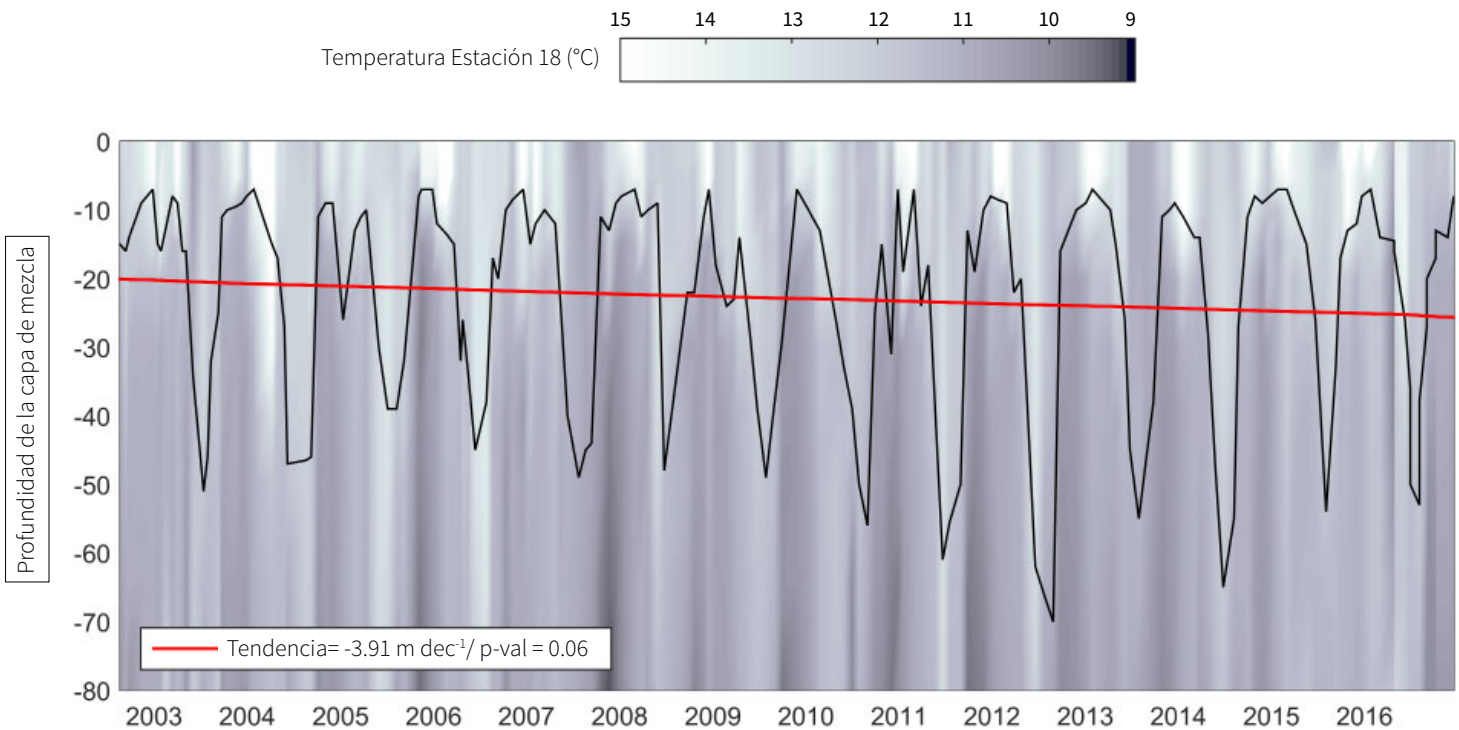


La evidencia resumida en este trabajo ilustra la rápida tasa de cambio y la complejidad del sistema biofísico de la surgencia costera del centro sur de Chile. Las tendencias observadas están influenciadas por el cambio climático antropogénico, ocasionando impactos en los ecosistemas marinos que sustentan la pesca y repercuten en el bienestar humano. Los cambios en el sistema de surgencia costera y sus consecuencias, por lo tanto, representan una clara manifestación regional del Antropoceno. Por tanto, la toma de decisiones debe integrar mejor la política y la ciencia, y utilizar un enfoque ecosistémico.

Para este fin, es vital aumentar el nivel de certeza sobre las causas de los cambios pasados y futuros, ampliando la base de observación y de monitoreo a largo plazo.

Autores: Catalina Aguirre, Sebastián García-Loyola, Giovanni Testa, Diego Silva, Laura Farías.
Publicado en: http://doi.org/10.1525/elementa.314

Evolución de la profundidad de la capa de mezcla inferida de la temperatura mar adentro de Concepción (2003-2017)





Secamiento antrópico en el centro y sur de Chile evidenciado con observaciones de largo plazo y proyecciones climáticas

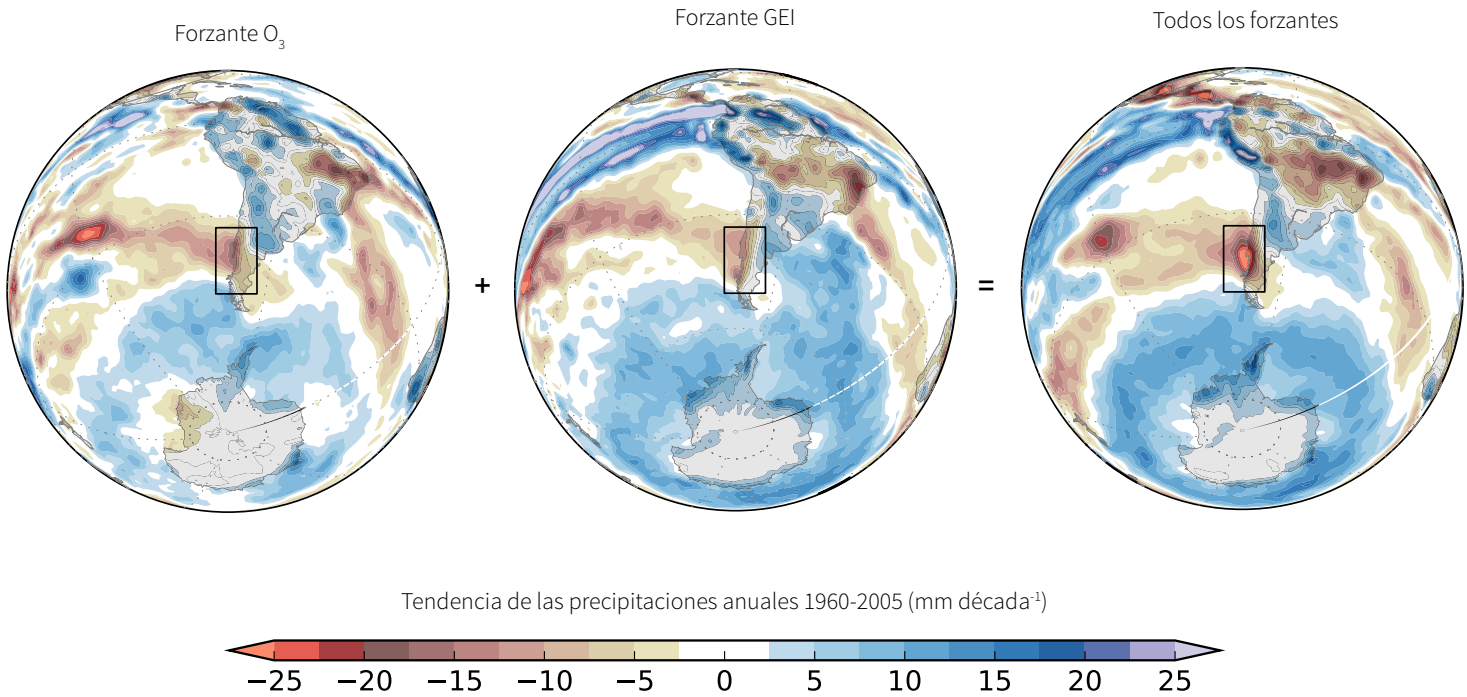
CAPÍTULO

4

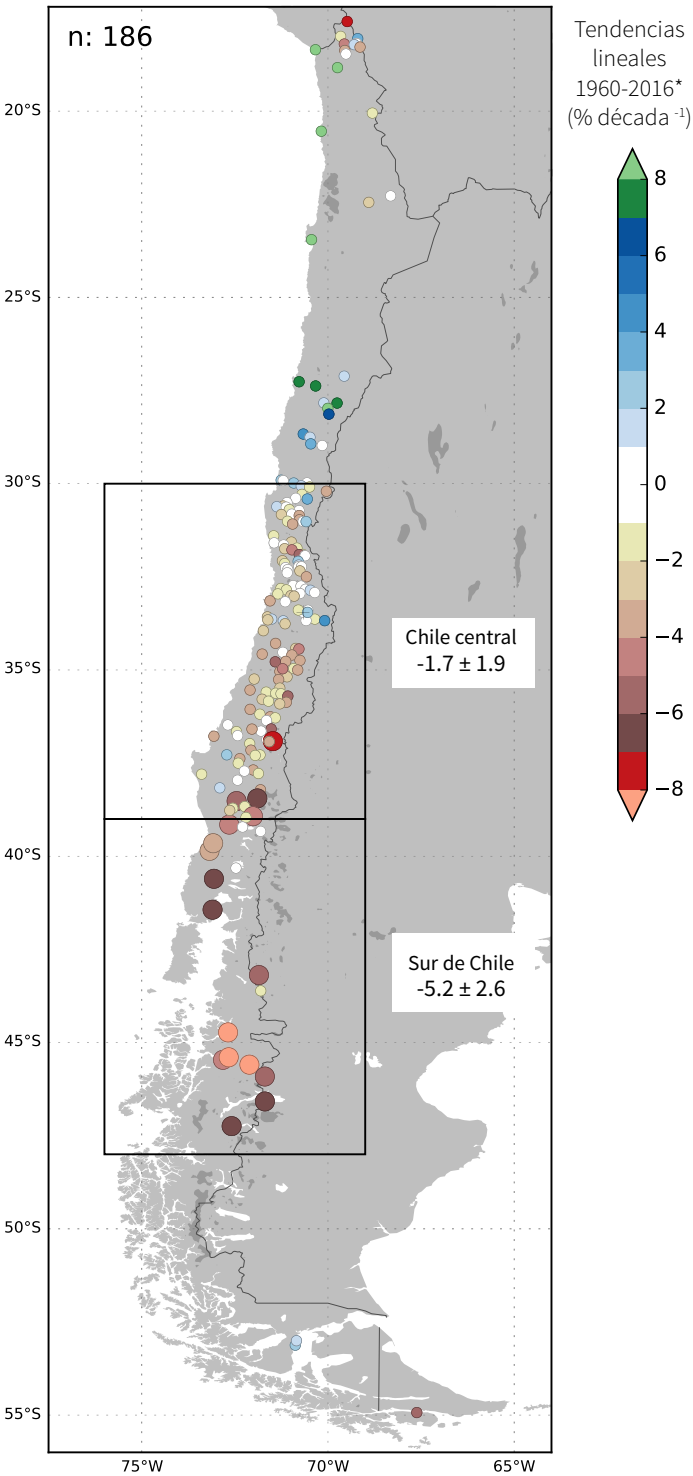
La tendencia histórica hacia un clima más seco observada en el centro sur de Chile emerge como una señal de cambio climático antropogénico. Sin fuertes medidas de reducción de las emisiones globales de gases de efecto invernadero, podemos esperar que esta tendencia continúe en el mediano y largo plazo, aunque modulada en escalas de tiempo anuales o decadales por la variabilidad climática natural. La sequía prolongada y extensa experimentada en Chile en los últimos años sirve como un análogo para el clima futuro. Además del impacto directo en la disponibilidad de agua, el déficit de lluvias ha generado múltiples impactos -a menudo vinculados- que afectan la vegetación, la biogeoquímica marina costera y la intensidad de los incendios forestales, destacando los efectos mutuamente dependientes de la sequía en los sistemas socio-ecológicos de Chile.

Los cambios en el régimen hídrico de Chile se reconocen como un riesgo importante para el desarrollo futuro del país. El análisis de observaciones en el período entre 1960 y 2016 confirma una tendencia significativa hacia un régimen de menor precipitación en el centro y sur del país. Se estima que esta señal de cambio climático regional emergió por sobre la variabilidad natural durante la última década. De hecho, el comportamiento estacional en la disminución de las precipitaciones en esta región es coherente con la respuesta modelada bajo múltiples forzamientos antropogénicos. Por lo tanto, concluimos que la señal de secamiento de largo plazo observada en Chile es, en gran medida, atribuible al forzamiento antropogénico. En particular, una fuerte tendencia de secamiento en verano (aproximadamente 8% por década) observado al sur de la latitud 38° S se asocia al adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico, amplificando el efecto de secamiento forzado por el aumento de gases de efecto invernadero. Cabe señalar que la recuperación paulatina del ozono estratosférico, esperada a lo largo del siglo XXI como resultado del Protocolo de Montreal, debería menguar la señal de cambio observada en el régimen de precipitación estival en el sur de Chile. Por otra parte, la disminución de las precipitaciones de la zona central del país es más significativa en el invierno y empieza a distinguirse en un régimen de alta variabilidad natural. Esta tendencia tiene una forzante oceánica (natural) importante, pero integra también una componente antropogénica de más largo plazo. Así, los modos de variabilidad natural como El Niño-Oscilación del Sur y la Oscilación Decadal del Pacífico seguirán modulando el régimen de precipitación en conjunto con una tendencia hacia un clima más seco.

Simulación de la presión del nivel del mar y tendencias de precipitación



Cambios en la precipitación anual



A pesar de la coherencia general entre los cambios observados y simulados en el régimen de precipitación en Chile, la magnitud de la tendencia observada de secamiento es sustancialmente mayor que la obtenida con los modelos de clima. Los análisis indican una baja probabilidad que este sesgo se explique completamente por la variabilidad natural, surgiendo una subestimación de los impactos en la precipitación del centro y sur de Chile por parte de las simulaciones climáticas actuales. Por tanto, se necesita una evaluación profunda de mecanismos de cambio climático regional y multi-modelo para reducir las incertidumbres en la intensidad de los efectos hidrometeorológicos en Chile.

Dado que los cambios en el régimen de precipitación se superponen con una tendencia hacia mayores temperaturas, se deben considerar otros aspectos fundamentales para los sistemas hidrológicos, particularmente el aumento de la evapotranspiración y los cambios en el ciclo anual de deshielos y escorrentías. Los cambios en la temperatura, la línea de nieve y los extremos de lluvia también deben tenerse en cuenta al evaluar el riesgo de inundaciones o sequías. Con respecto a la disponibilidad de agua en las próximas décadas, podemos esperar que la tendencia hacia un clima más seco continúe, aunque modulada en escalas de tiempo anual a decadal por la variabilidad natural.

Autores: Juan P. Boisier, Camila Álvarez-Garretón, Raúl R. Cordero, Alessandro Damiani, Laura Gallardo, René D. Garreaud, Fabrice Lambert, Cinthya Ramallo, Maisa Rojas, Roberto Rondanelli
Publicado en: http://doi.org/10.1525/elementa.328



Antropoceno y caudales: una perspectiva de largo aliento de caudales y derechos de agua

CAPÍTULO

5

Aquí se analizan las asignaciones de los derechos de uso de agua considerando la variabilidad natural de largo plazo (1590–2015) y los escenarios futuros de los recursos hídricos del Perquilauquén, un afluente de la cuenca del Maule, ubicado en Chile central. Enfatizamos la necesidad urgente de una revisión de las metodologías actuales de asignación de derechos de agua y su legislación, que no concuerdan con la dinámica y la naturaleza no estacionaria de los procesos hidrológicos. La escasez de agua y su gobernanza son dos de los temas clave que debe enfrentar Chile en el Antropoceno.

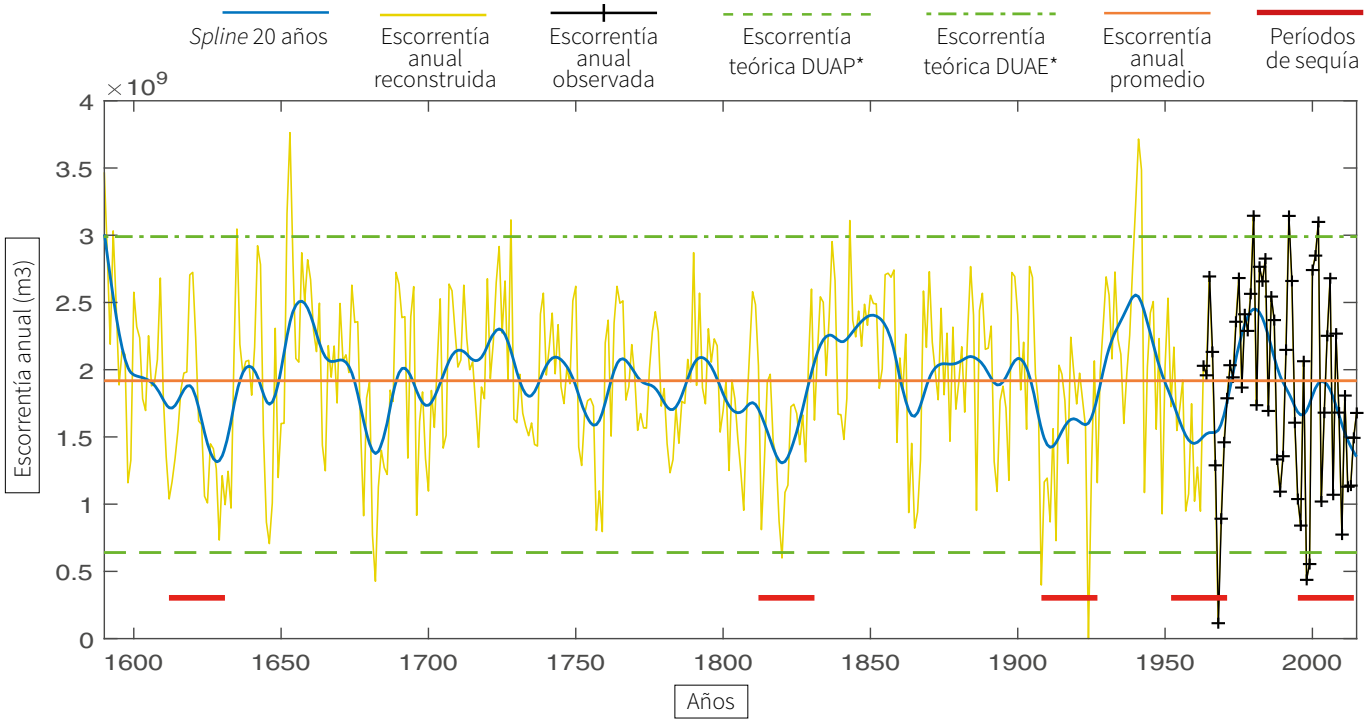
Desde 1981, la asignación del agua en Chile se ha basado en un mercado de derechos de uso del agua, con mecanismos regulatorios y de supervisión limitados. El volumen que se otorga como derechos de uso del agua, permanente y eventual, se calcula a partir de los registros de caudal en la cuenca de interés -si se dispone de datos- o a partir de datos de cuencas similares que, generalmente, tienen menos de 50 años de registros.

Para evaluar el desempeño de este sistema de asignación, se analizó el caso del río Perquilauquén, un afluente del río Maule en Chile central. Se estudió su variabilidad natural a largo plazo a través de una reconstrucción de la escorrentía de ~400 años (1590–2015) y los derechos históricos de agua. Junto con esto, evaluamos el desempeño de la legislación actual en un escenario climático proyectado en base a simulaciones históricas de escorrentía calibradas contra datos observados y proyecciones futuras.



Asistentes de investigación del Laboratorio de Dendrocronología y Cambio Global de la Universidad Austral de Chile tomando muestras de anillos de crecimiento de árboles milenarios de ciprés de la cordillera (*Austrocedrus chilensis*) para reconstruir el clima de los últimos 1.000 años. Lugar: Serranía El Ciprés, El Asiento, Valle del Aconcagua, Región de Valparaíso.

Escorrentía observada del río Perquilauquén considerando el registro instrumental y la reconstrucción desde 1590

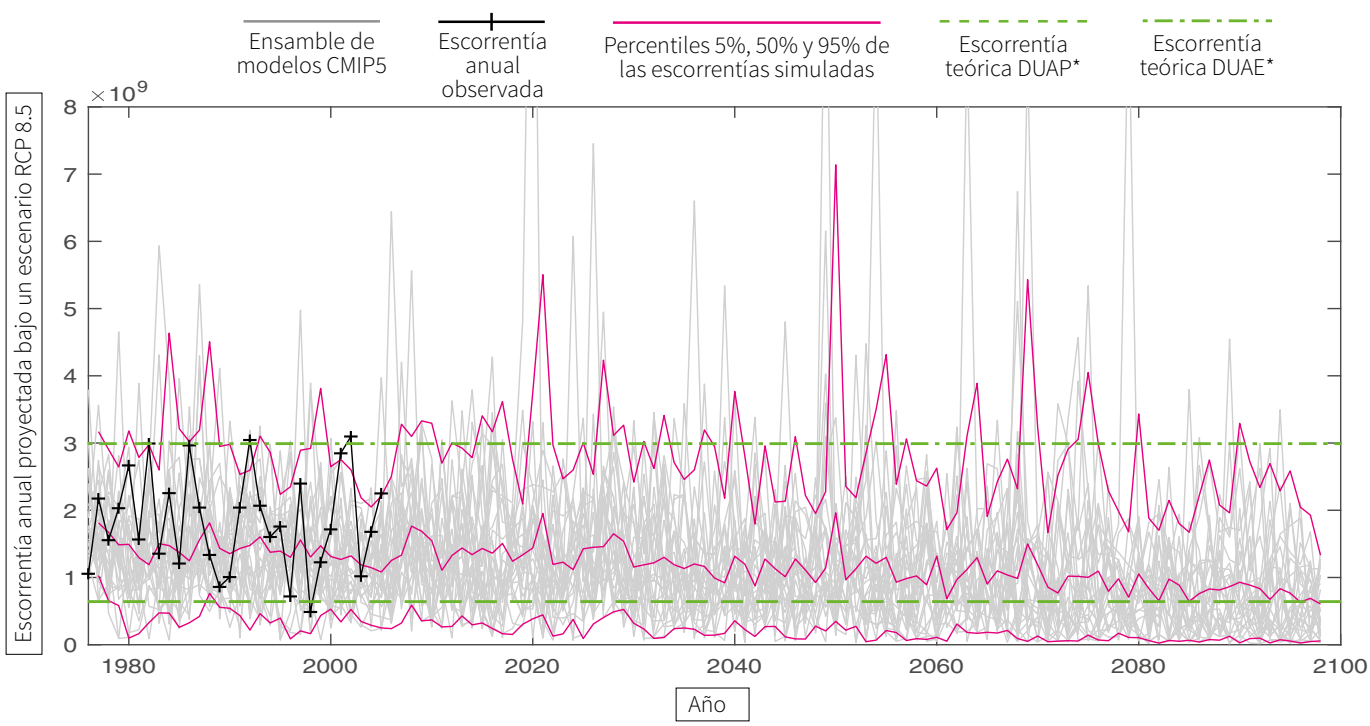


Nuestros análisis indican que la metodología de asignación que aplica actualmente la Dirección General de Aguas es muy sensible a la ventana de tiempo de los datos utilizados, lo que conduce a una subestimación de la variabilidad y las tendencias a largo plazo. De acuerdo con la base de datos proporcionada por la Dirección General de Aguas, los derechos de uso del agua en el río Perquilauquén ya están sobreasignados.

Considerando las proyecciones climáticas regionales, la condición actual de sobreasignación se exacerbará en el futuro. Además, se han diagnosticado serios problemas relacionados con el acceso y la calidad de la información en los derechos de uso de agua ya otorgados y el uso real del agua, lo que dificulta aún más las estrategias ambientales para enfrentar y adaptarse al cambio climático. Por estos motivos, enfatizamos la necesidad urgente de una revisión de las metodologías actuales de asignación de agua y del Código de Aguas, pues no concuerdan con la dinámica y la característica no estacionaria de los procesos hidrológicos.

Autores: Pilar Barría, Maisa Rojas, Pilar Moraga, Ariel Muñoz, Deniz Bozkurt, Camila Álvarez-Garretón
Publicado en: http://doi.org/10.1525/elementa.340

Proyecciones de escorrentía anual (m³) del río Perquilauquén considerando el período futuro(2006-2080)



**(DUAP) Derechos de Uso de Agua Permanente*
(DUAE) Derechos de Uso de Agua Eventual



Cambio de uso y cobertura de suelos en el Antropoceno

CAPÍTULO

6

Desde la Región del Maule hasta la Región de Los Ríos las plantaciones forestales son el principal contribuyente a la pérdida de bosques nativos. Esto tiene consecuencias adversas sobre la biodiversidad, los regímenes de incendios y la provisión de agua. Es imperativo diseñar una nueva política forestal para asegurar la conservación de uno de los puntos de acceso a la biodiversidad más singulares del mundo, enfrentar nuevos regímenes de incendios y asegurar el suministro de agua en el centro sur de Chile.

En el centro y sur de Chile los bosques nativos y los matorrales fueron la principal cobertura de suelo durante el período preeuropeo. Desde entonces, la pérdida de bosques nativos se ha manifestado como el principal cambio en el uso y la cobertura del suelo, habiéndose reducido en más del 50% respecto de su área original, a través de su conversión a pastizales, matorrales, tierras agrícolas y plantaciones forestales de especies exóticas. Los bosques nativos en el centro sur de Chile se consideran uno de los 35 *hotspots* de biodiversidad del mundo. Los principales gatilladores que subyacen al cambio en el uso y la cobertura del suelo desde mediados del siglo XIX fueron los incendios provocados por los humanos y la tala de bosques para la expansión de la agricultura y los pastizales para la colonización europeo-chilena promovida por el Estado. En las últimas décadas, en tanto, uno de los principales gatilladores fue el incentivo a las plantaciones forestales mediante el Decreto Ley 701 aprobado en 1974. La política forestal y los incentivos a las plantaciones se renovaron cuando Chile transitó a la democracia y continuó operando hasta 2012.

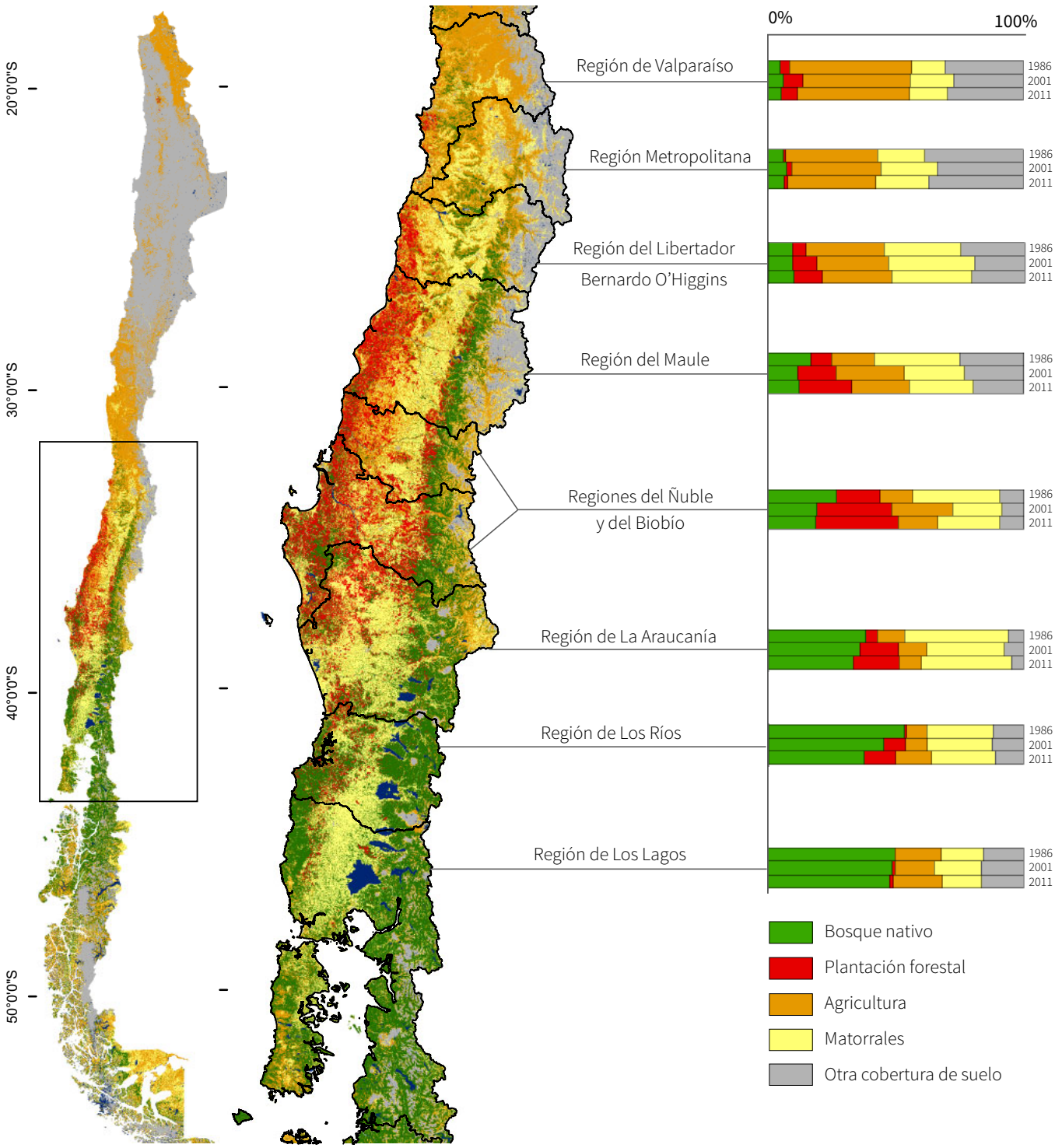


Las décadas de incendios producidos intencionalmente para despejar bosques nativos para la agricultura y la ganadería, provocaron una erosión catastrófica del suelo. El desarrollo de extensas plantaciones exóticas, homogéneas y continuas, muy propensas al fuego, ha contribuido a los incendios causados por los humanos. Otro impacto importante de los paisajes altamente dominados por plantaciones exóticas es la disminución del suministro de agua (cantidad y calidad) como un servicio ecosistémico, debido a sus mayores tasas de evapotranspiración en comparación con los bosques nativos.

Native forest loss in the Chilean biodiversity hotspot: revealing the evidence
Autores: Alejandro Miranda, Adison Altamirano, Luis Cayuela, Antonio Lara, Mauro González
Publicado en: https://doi.org/10.1007/s10113-016-1010-7

Forests and water in South America. Hydrological Processes
Autores: Julia Jones, Auro Almeida, Felipe Cisneros, Andres Iroumé, Esteban Jobbágy, Antonio Lara, Walter de Paula Lima, Christian Little, Carlos Llerena, Luis Silveira, Juan Camilo Villegas
Publicado en: https://doi.org/10.1002/hyp.11035

Distribución geográfica de las principales coberturas y usos de suelos





Incendios en el Antropoceno

CAPÍTULO

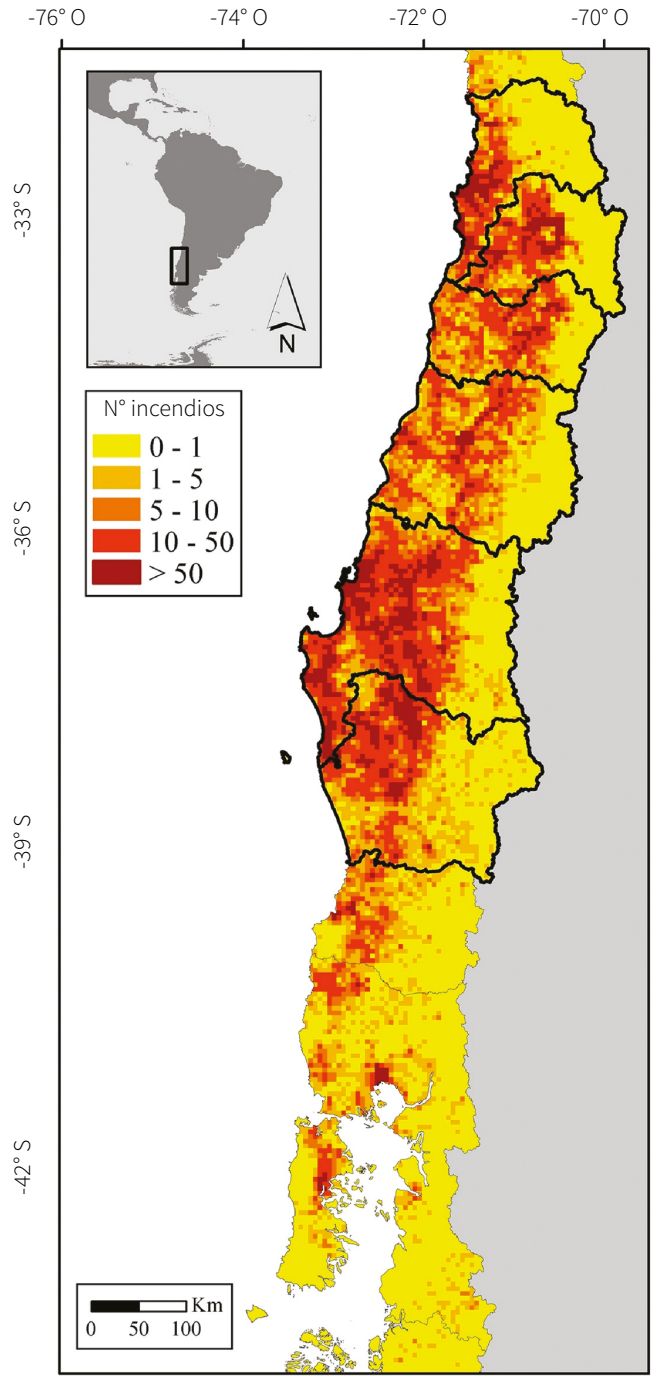
7

Las áreas agrícolas con cultivos anuales, las áreas de pastoreo, así como las extensas plantaciones forestales, son más propensas al fuego que los bosques templados nativos. Esto implica que la gestión adecuada del combustible y el diseño de los paisajes serán elementos clave para reducir el impacto de los incendios en el escenario de cambio global en el que ya estamos inmersos.

En general, cuando el combustible (hojas, ramas, madera, hierba fina, entre otros) está seco e inflamable, sólo se requiere una fuente de ignición para que se inicie un incendio. Sin embargo, una vez que el fuego ha comenzado, la intensidad de éste dependerá de la carga de ese combustible, y su velocidad de propagación dependerá de la continuidad de ese combustible en el paisaje, su inflamabilidad, la topografía y las condiciones meteorológicas. A escala global, tanto el cambio climático como el cambio en el uso del suelo son considerados responsables del aumento en la ocurrencia de incendios.

En las últimas décadas, el paisaje del centro y sur de Chile ha sufrido una fuerte transformación: grandes áreas de bosque nativo han sido reemplazadas por áreas agrícolas y plantaciones de bosques exóticos. Los mega incendios ocurridos en Chile en el verano de 2017 tuvieron lugar tras un período prolongado de sequía, con déficits de precipitación de alrededor del 30% en las regiones del Maule y Biobío, sumado a una fuerte ola de calor con temperaturas superiores a 32.6 °C durante tres semanas. Las plantaciones forestales fueron el uso de la tierra más afectado por los incendios (aproximadamente 286 mil hectáreas). Así, la conjunción de, por un lado, condiciones meteorológicas excepcionales y, por otro, la disponibilidad de combustible que se distribuye de forma extensa, homogénea y continua en el paisaje, como es el caso de las plantaciones forestales, permitió la propagación de incendios. Estos fueron excepcionales en términos de intensidad y velocidad de propagación, reduciendo la capacidad de las instituciones para extinguirlos. Por lo tanto, la diversificación del uso de la tierra y la generación de mosaicos de paisajes heterogéneos será una herramienta fundamental para protegernos de los mega incendios en el futuro.

Número total de incendios por cuadrícula (5x5 km; sistema de proyección WGS84 UTM 19S) durante el período 1985-2015



Es crucial que las políticas forestales y de prevención de incendios incorporen el conocimiento científico disponible, en relación con la optimización de la gestión del combustible basada en el análisis de riesgos, para comenzar a implementar herramientas de gestión eficientes a escala del paisaje. Esto es particularmente necesario en áreas de interfaz urbano-rural, donde la seguridad de las personas es una prioridad. Aún hay tiempo para adoptar diseños de paisaje más inteligentes que reconcilien la conservación de la biodiversidad, la prestación de servicios ecosistémicos y la protección contra incendios.

Temperature and agriculture are largely associated with fire activity in Central Chile across different temporal periods. Forest Ecology and Management
Autores: Susana Gómez-González, Mauro E. González, Susana Paula, Ignacio Díaz-Hormazábal, Antonio Lara, Manuel Delgado-Baquerizo
Publicado en: https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.041

The 2010-2015 Megadrought and its influence on the fire regime in central and south-central Chile
Autores: Mauro E. González, Susana Gómez-González, Antonio Lara, René Garreaud, Ignacio Díaz-Hormazábal
Publicado en: https://doi.org/10.1002/ecs2.2300

Portugal and Chile: Longing for sustainable forestry while rising from the ashes.
Autores: Susana Gómez-González, Fernando Ojeda, Paulo M. Fernandes
Publicado en: https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.11.006





Gobernanza del cambio climático en el Antropoceno: aparición del policentrismo en Chile

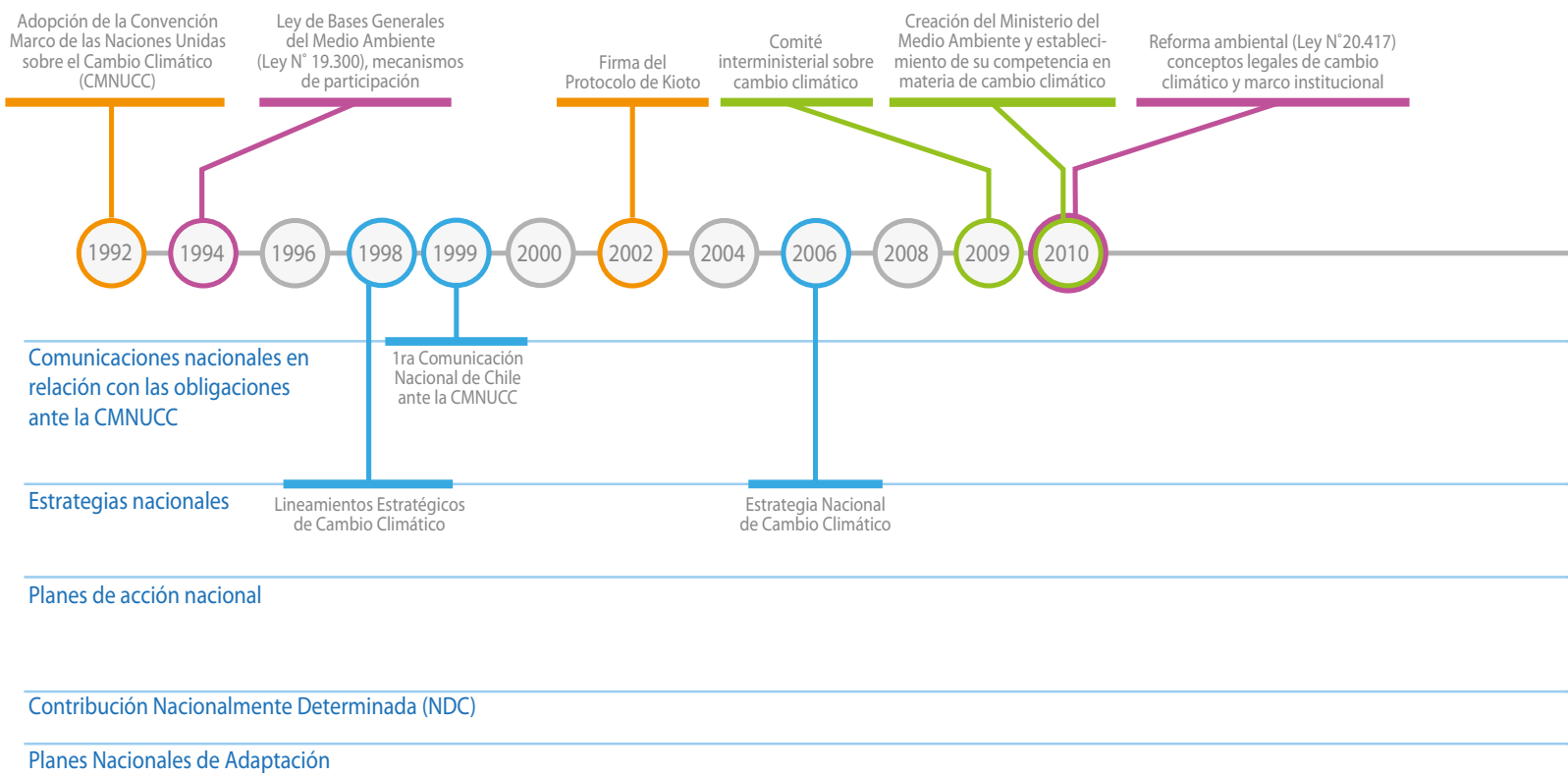
CAPÍTULO

8

El policentrismo, entendido como un enfoque de gobernanza que coordina múltiples centros de toma de decisiones semiautónomas y que involucra a una amplia gama de actores públicos y privados, puede proporcionar una estrategia adecuada para abordar los muchos desafíos de la gobernanza climática en el Antropoceno. Se revisaron dos estudios: la Contribución Nacionalmente Determinada de Chile sobre el Cambio Climático (NDC) y el Plan de Acción Nacional de Cambio Climático de Chile (PANCC). Nuestro análisis demuestra que Chile ha dado los primeros pasos hacia el policentrismo, pero aún está muy lejos de lograrlo. Además, el gobierno nacional coordinó ambos procesos, mostrando el papel clave de las intervenciones en los niveles jurisdiccionales más altos para mejorar la planificación estratégica y abordar mejor el cambio climático.

Se ha propuesto un marco conceptual para explorar las oportunidades para la gobernanza policéntrica del cambio climático en nuestro país, entendiendo el policentrismo como una aproximación que tiene el potencial para coordinar múltiples centros de toma de decisiones semiautónomas. Afirmamos que el policentrismo involucra a una amplia gama de actores públicos y privados para lograr un enfoque más efectivo para reducir la amenaza del cambio climático. De esta manera, el policentrismo puede proporcionar una estrategia adecuada para abordar los muchos desafíos de la gobernanza climática en el Antropoceno. Identificamos evidencia (o falta) del surgimiento de la gobernanza policéntrica al revisar la NDC y el PANCC de Chile. En este contexto, consideramos cuatro ámbitos de policentrismo: (i) los niveles de gobierno relevantes y los roles correspondientes; (ii) actores y sus roles (formales e informales); (iii) vínculos institucionales a gran escala entre múltiples actores; y (iv) producción de conocimiento. Tras revisar y analizar la NDC y el PANCC de Chile, identificamos un incipiente surgimiento de la gobernanza policéntrica, lo que revela un compromiso político con procesos abiertos y participativos que buscan legitimar la toma de decisiones, evitar conflictos y generar compromisos sólidos con acuerdos internacionales, pasando de una participación social -a menudo simbólica- a una participación más activa de las múltiples partes interesadas. Nuestra evaluación también revela la necesidad de fortalecer los procesos participativos e integrar actores multisectoriales y multinivel a lo largo de todo el ciclo político, desde el diseño de políticas hasta su implementación y evaluación.

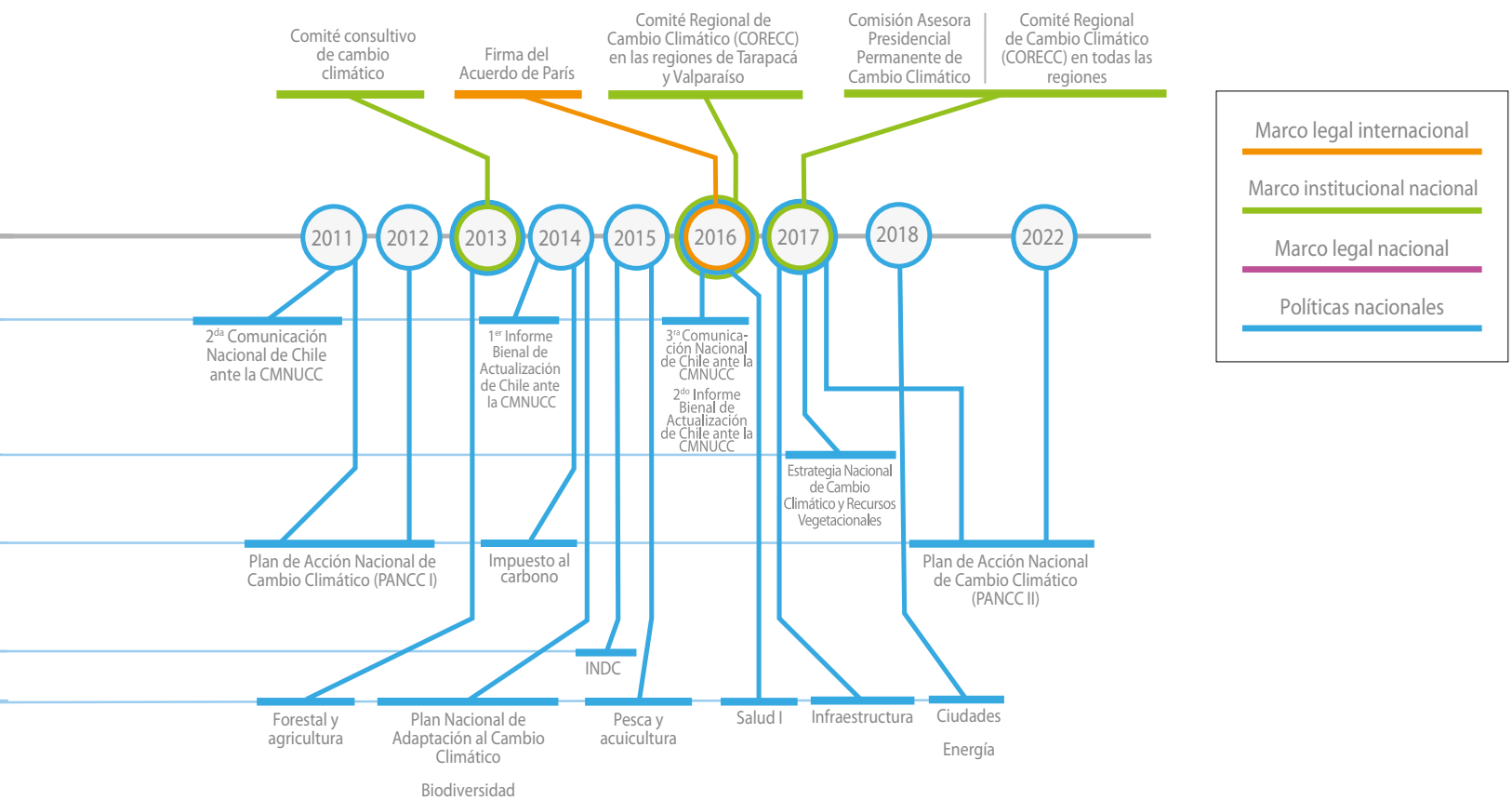
Línea de tiempo de los aspectos legales de la gobernanza climática chilena desde 1992



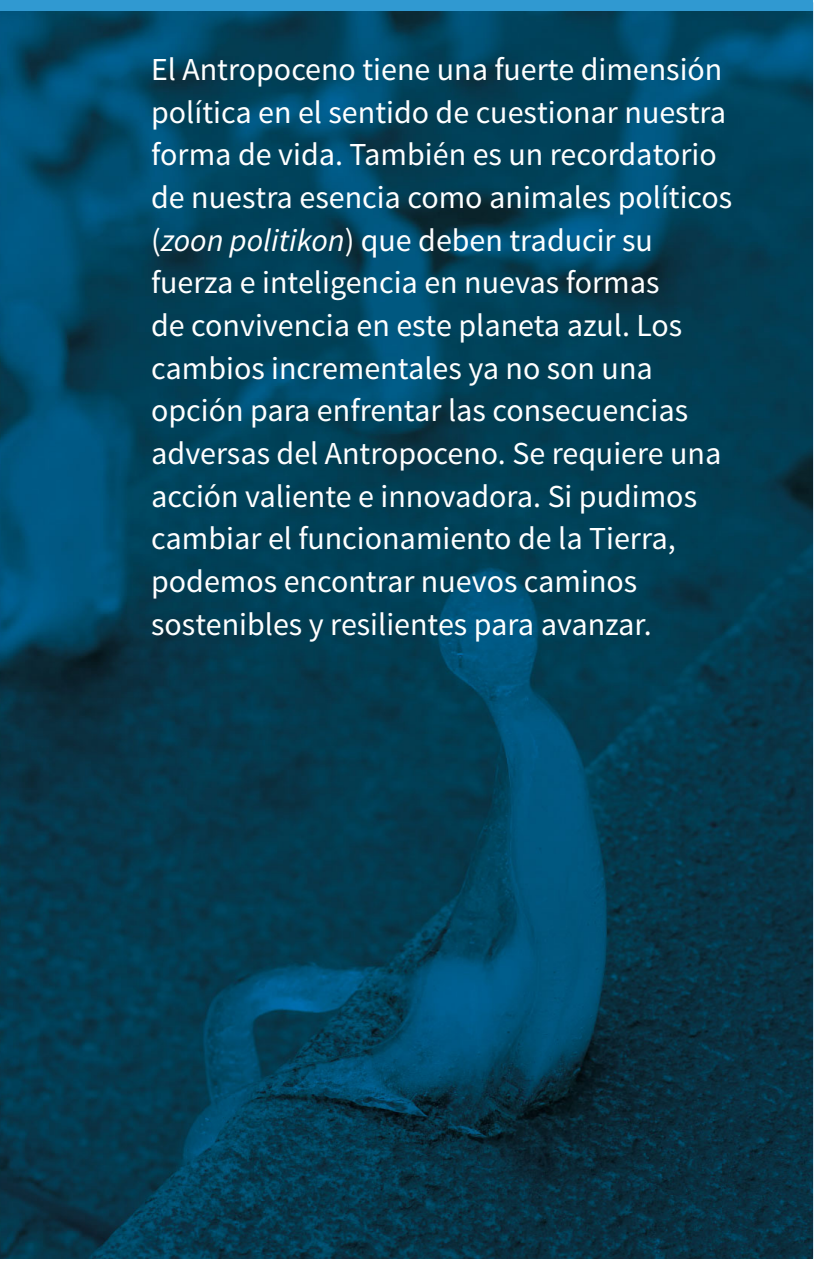
En términos de producción de conocimiento, los arreglos institucionales emergentes pretenden generarlo en el contexto de incertidumbre y establecer una comprensión común de los problemas. Es necesario institucionalizar la producción y co-creación de conocimiento y documentar las fortalezas y debilidades de este proceso para lograr una gestión adaptativa que aprenda de experiencias anteriores, evite errores y aborde de manera efectiva las brechas de conocimiento.

Los esfuerzos para superar las debilidades de la arena de la política de cambio climático en Chile deben centrarse en fortalecer las estructuras institucionales actuales para la respuesta al cambio climático, alentar la reforma institucional, fortalecer los canales de comunicación y promover la toma de decisiones que incorpore a un grupo más amplio de organizaciones y actores sociales, así como múltiples niveles de gobernanza. En particular, la inclusión de actores a nivel local ofrece una oportunidad para mejorar los modos de gobernanza policéntrica, especialmente considerando el rol único de las administraciones locales como fuentes clave de conocimiento, al estar tanto directamente afectadas por el cambio climático como en la primera línea de la respuesta a éste. Sin embargo, los estudios de caso sugieren que el gobierno central también desempeña un papel clave en el desarrollo e implementación de una respuesta efectiva y coordinada al cambio climático.

Autores: Rodrigo Antonio Arriagada, Paulina Aldunce, Gustavo Blanco, Cecilia Ibarra, Pilar Moraga, Laura Nahuelhual, Raul O'Ryan, Anahí Urquiza, Laura Gallardo
Publicado en: http://doi.org/10.1525/elementa.329



Recomendaciones



El Antropoceno tiene una fuerte dimensión política en el sentido de cuestionar nuestra forma de vida. También es un recordatorio de nuestra esencia como animales políticos (*zoon politikon*) que deben traducir su fuerza e inteligencia en nuevas formas de convivencia en este planeta azul. Los cambios incrementales ya no son una opción para enfrentar las consecuencias adversas del Antropoceno. Se requiere una acción valiente e innovadora. Si pudimos cambiar el funcionamiento de la Tierra, podemos encontrar nuevos caminos sostenibles y resilientes para avanzar.

El Antropoceno, la época dominada por la impronta y huella humanas en el planeta, y sus manifestaciones regionales, representan numerosas amenazas tanto para Chile como para el mundo en general. Enfrentar esos desafíos requiere una mejor comprensión de los aspectos locales y regionales, así como de una nueva mentalidad capaz de adoptar medidas rápidas y de gran alcance, tal como lo recomienda la comunidad científica internacional y como lo demandan cada vez más los ciudadanos, especialmente las generaciones más jóvenes. Al hacerlo, estaremos construyendo un futuro más sostenible, equitativo y próspero.

El Chile que experimentaron nuestros antepasados es muy diferente del que estamos experimentando ahora y, probablemente, del que enfrentarán las personas en el futuro cercano. Todos los problemas abordados en este informe provienen de perturbaciones ambientales humanas que afectan las condiciones de vida de la sociedad chilena y la mayoría de nuestra población. Se han observado cambios drásticos en la temperatura del aire, la biodiversidad, la estratificación oceánica costera, la calidad del aire, la precipitación y los caudales, entre otros, durante períodos de menos de unas pocas décadas, es decir, aproximadamente una generación. Estos cambios traen fuertes desafíos a la gobernanza, ya que se deben enfrentar problemas entrelazados que requieren un vínculo mucho más sólido entre la ciencia y la política, más participación, con actores más diversos, bajo presiones internas y externas crecientes, expectativas en aumento y tasas de cambio aceleradas.

Recomendaciones

Hemos examinado los registros geohistóricos de los impactos ambientales humanos, incluida la evidencia de estrategias adaptativas adoptadas por las sociedades precolombinas en el centro y norte de Chile. Además, hemos visto los registros de cambios acelerados en la urbanización y el uso del suelo que llevaron a cambios en la calidad del aire, la biodiversidad, la disponibilidad de agua y los regímenes de incendios. Hemos discutido cómo las perturbaciones humanas en el clima, que resultan en tendencias de sequía y calentamiento en el centro y sur de Chile, plantean desafíos para la sostenibilidad del país a medida que el agua escasea. Esto, a su vez, cuestiona la forma en que se asignan los derechos de agua. Además, hemos analizado los cambios en el sistema de surgencia costera de Chile centro y sur y sus consecuencias en la pesca. Un conjunto de conclusiones y recomendaciones se extraen de nuestro trabajo y se presentan a continuación, con el objetivo de contribuir a enfrentar los desafíos del Antropoceno y construir los caminos hacia nuevas oportunidades para un futuro cercano sostenible.

1

De los registros geohistóricos dejados por las sociedades precolombinas hemos aprendido que las actividades humanas alteraron el medio ambiente mucho antes de la Revolución Industrial, aunque en una proporción mucho menor que en la actualidad. Las sociedades precolombinas pudieron amortiguar los cambios ambientales adversos utilizando estrategias de adaptación que combinaron el ajuste de las prácticas socioculturales y la adopción de nuevas tecnologías. Los registros geohistóricos y el análisis de estos ofrece “líneas base” para delinear espacios operativos seguros para Chile hoy y mañana.

2

Con una tasa de urbanización de casi el 90%, Chile debe aprovechar las oportunidades que ofrecen las ciudades para desencadenar transformaciones tecnológicas y sociales hacia la eficiencia energética y la descarbonización, de conformidad con el Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible. La evolución de la movilidad y la calidad del aire en los últimos 30 años en Santiago demuestra el éxito de las políticas basadas en la ciencia, pero también muestra que los cambios tecnológicos no son suficientes, enfatizando la necesidad de cambios de comportamiento e integración en todos los sectores con el objetivo de transformar Santiago y otras áreas urbanas en ciudades vivibles.

Recomendaciones

3

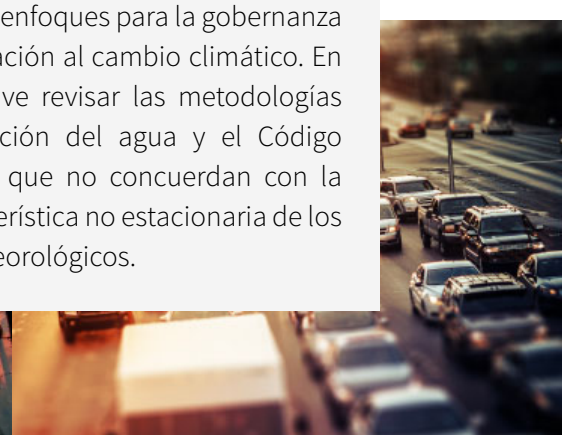
El cambio climático antropogénico está dejando una huella en el intrincado sistema de la surgencia costera, así como en su también compleja física y biología, que permiten la pesca, entre otras actividades productivas, lo que podría afectar a las comunidades costeras del centro y sur de Chile. El desplazamiento al sur de las condiciones favorables a la surgencia trae aguas ricas en nutrientes, pero también pobres en oxígeno a la capa de mezcla, lo que puede aumentar el riesgo de florecimiento de algas. Estos cambios y riesgos requieren una mejor comprensión y gobernanza. Para ello, es necesario ampliar la base de observación y mejorar el monitoreo a largo plazo del sistema socio-ecológico mediante una red oceanográfica compuesta, entre otros, por boyas oceanográficas y estaciones meteorológicas desplegadas en la costa de Chile.

4

La disminución de largo plazo en la precipitación en el centro sur de Chile es, en gran medida, atribuible a cambios de gran escala forzados por la actividad humana, principalmente el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero y el adelgazamiento de la capa de ozono estratosférico. Esta tendencia, en ausencia de fuertes medidas globales de reducción de dichos gases, continuará como una señal de cambio superpuesto a ciclos naturales de variabilidad interanual y decadal. La combinación de las componentes natural y antrópica resulta en extremos climáticos acentuados, en particular para el centro y sur de Chile, en sequías prolongadas, como la de la última década. Las consecuencias de este fenómeno son múltiples. Además del impacto directo en cuencas hidrográficas y la disponibilidad de agua fresca, los períodos secos afectan la biogeoquímica de las aguas costeras, la vegetación y la intensidad de los incendios forestales. Por lo tanto, enfrentar un clima más seco y las sequías en el Antropoceno requerirá de nuevos enfoques para la gobernanza del agua y la adaptación al cambio climático. En este sentido, es clave revisar las metodologías actuales de asignación del agua y el Código de Aguas de Chile, que no concuerdan con la dinámica y la característica no estacionaria de los procesos hidro-meteorológicos.







Recomendaciones

5

Las extensas plantaciones de especies exóticas, homogéneas y continuas, en combinación con una sequía prolongada y la aparición de olas de calor, generaron incendios sin precedentes en el verano de 2017 y múltiples consecuencias adversas para los sistemas socio-ecológicos en el centro y sur de Chile. Este cambio en el uso y la cobertura del suelo también ha contribuido a la disminución de la provisión de agua (cantidad y calidad) como un servicio ecosistémico, debido a sus mayores tasas de evapotranspiración en comparación con los bosques nativos. Por lo tanto, es imperativo diseñar una nueva política forestal para asegurar la conservación de uno los *hotspots* de biodiversidad más singulares del mundo, enfrentar nuevos regímenes de incendios y asegurar el suministro de agua en el centro y sur de Chile. El diseño inteligente del paisaje y la planificación territorial serán primordiales en este esfuerzo.

6

Los fenómenos en el Antropoceno están esencialmente entrelazados. Esto requiere una gobernanza que pueda involucrar a una diversidad de actores públicos y privados. Afirmamos que el policentrismo proporciona una alternativa, particularmente, en el caso de la gobernanza climática. Este sistema resalta la necesidad de fortalecer los procesos participativos e integrar actores multisectoriales y multinivel, incluidos los científicos sociales y naturales, a lo largo de todo el ciclo político, desde el diseño de políticas hasta su implementación y evaluación. Al mismo tiempo, se destaca el fortalecimiento del papel clave de las intervenciones en los niveles jurisdiccionales más altos para orientar el cambio institucional y así mejorar la planificación estratégica y abordar mejor la acción del cambio climático. Esto nos preparará mejor para enfrentar adecuadamente los desafíos del clima y de desarrollo sostenible que tenemos ante nosotros.





Glosario

Antropoceno: término propuesto para designar a la época geológica actual (post Holoceno), la que se define por la alteración de las condiciones biofísicas y geológicas del planeta como consecuencia de la actividad humana. (Fuente: Manifiesto Antropoceno en Chile. Hacia un nuevo pacto de convivencia. Enlace: http://antropoceno.co/manifiesto.pdf)

Forzante: agente o fenómeno que genera un cambio. En el caso del cambio climático, éste ocurre por procesos internos naturales, pero también por forzantes externos como cambios en los ciclos solares, erupciones volcánicas o acciones humanas sobre la atmósfera o el suelo que se mantienen en el tiempo. Los forzantes pueden ser locales o remotos, orbitales, entre otros. (Fuente: Glosario Panel Intergubernamental de Cambio Climático. Enlace: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/08/WGI_AR5_glossary_ES.pdf)

Oscilación Decadal del Pacífico: variaciones de temperatura por sobre la media que ocurren en el Océano Pacífico en determinados periodos de tiempo. (Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration U.S Department of Commerce. Enlace: https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/pdo/)

Supersitio de monitoreo atmosférico: se refiere a una estación de observación concurrente de múltiples parámetros con instrumentos más sofisticados que aquellos utilizados en sitios de monitoreo orientados a la verificación de normas de calidad de aire. Los supersitios de monitoreo están orientados a la comprensión de procesos que afectan la calidad de aire y a caracterizar su evolución. Los mismos contemplan la caracterización física y química del material particulado segregado por tamaño y sus precursores gaseosos, así como de otras trazas relevantes, incluyendo gases de efecto invernadero y variables meteorológicas. Este tipo de sitios de monitoreo proporcionan información valiosa para las ciencias atmosféricas y las comunidades de investigación de salud humana y exposición. Además, proporcionan mediciones de referencia para la calibración de instrumentos usados en estaciones comunes de calidad de aire. Estos sitios requieren de personal técnico altamente calificado y pueden ser operados en el contexto de consorcios entre autoridades ambientales y entidades académicas. Ejemplos de ellos se encuentran en el Reino Unido, Estados Unidos, Finlandia, etc.

Surgencia (afloramiento) costera: proceso en el cual aguas profundas, frías y ricas en nutrientes emergen a la superficie del océano, debido al viento que mueve las aguas superficiales. Las aguas frías reemplazan al agua empujada, lo que ocurre principalmente a lo largo de la línea costera. Estas aguas, al ser ricas en nutrientes, cuentan con mayor cantidad de biomasa, lo que permite una mayor actividad pesquera. (Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration U.S Department of Commerce. Enlace: https://oceanservice.noaa.gov/facts/upwelling.html)



(CR)² Center for Climate and Resilience Research

www.cr2.cl
@cr2_uchile
/Center For Climate and Resilience Research
comunicaciones.cr2@dgf.uchile.cl
(+562) 2978 4446
Blanco Encalada 2002, 4to piso. FCFM - Universidad de Chile.

Recycle it
Recíclalo