

Geohuellas

El medioambiente a través de la geología



CANALES DE REGADÍO

UNA SOLUCIÓN ANCESTRAL PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN TIEMPOS DE SEQUÍA

Matías Taucare, Benoît Viguiet y Linda Daniele
Pag. 18

**CAMBIO CLIMÁTICO Y
LOS CAMPOS DE HIELO
PATAGÓNICOS**

Página 9

**CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE
CENTRAL: UNA MIRADA A
LARGO PLAZO**

Página 12

**ENTREVISTA A MAISA ROJAS,
DIRECTORA DEL (CR)2**

Página 30



GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
SOCIEDAD GEOLÓGICA DE CHILE

Equipo Editorial

Luna Pérez
Delia Rodríguez
Valeria Tort
Rocío Ortega
Hernán Bobadilla
Ricardo Krefft

Diseño y diagramación

Ariel Alarcón

Ilustraciones

Ariel Alarcón
Edwin González
Alfredo Rivas (Revista Ciencias de la Tierra)

Geohuellas

El medioambiente a través de la geología

Número 3 | Enero 2021



@gga_chile



facebook.com/geologiambientalchile



@geologia_ambiental

www.geologia-ambiental.cl
www.sociedadgeologica.cl



GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL

Sociedad Geológica de Chile
Valentín Letelier #20, Santiago, Chile

ÍNDICE DE CONTENIDO



Cambio climático y los campos de Hielo	9
Cambio Climático en Chile Central	12
Humedales: resiliencia climática	16
Canales de Regadío	18
Enos: cambio climático y peligros geológicos	24
Columna de opinión: Gestión sustentable del Agua en Chile	27
Entrevista a Maisa Rojas, directora del (CR)2	30

¿TE INTERESA LA GEOLOGÍA?

Visita nuestro diccionario de geología ambiental:

www.geologia-ambiental.cl/diccionario



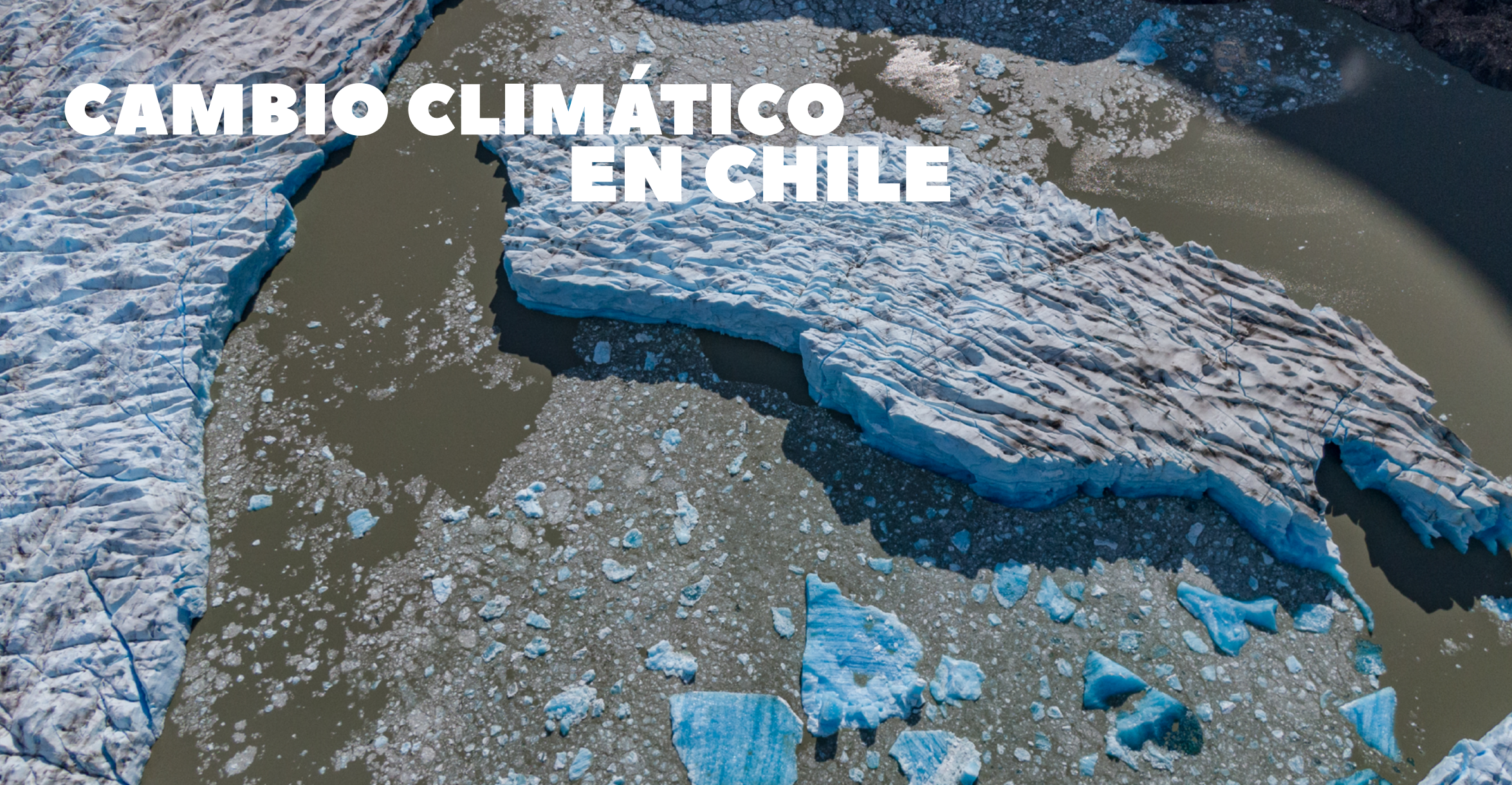
PORTADA 3^{ER} NÚMERO



En la portada, Vado (humedal) de Putana, camino a Machuca y los geysers del Tatio.

Fotografía de Francisco Andreas (www.franciscoandreas.com).

CAMBIO CLIMÁTICO EN CHILE



Desprendimiento del glaciar Grey. Fotografía tomada por Richard Bezzaza y cortesía de la Fundación Glaciares Chilenos.

INTRODUCCIÓN

El concepto de [cambio climático](#) se encuentra en el vocabulario común desde hace varios años. Pero como un susurro colectivo, algo nos dice que es una verdad inevitable, o *inconveniente*, como la presentó Al Gore en el 2006. Probablemente, a estas alturas, todos han visto un gráfico que marca las emisiones de dióxido de carbono disparadas por los aires —literalmente— justo cuando comenzaba la actividad industrial humana. Efecto invernadero. Calentamiento global. Cambio climático. Pero ¿qué es el clima? ¿por qué cambia? ¿qué cambia?

Por lo general, con estos conceptos se vienen a la cabeza imágenes de hielo derritiéndose en la Antártica, osos polares desolados, huracanes, calor, sequía. Políticos y escépticos cuestionando la veracidad de un hecho, de investigaciones y múltiples voces demostrando y luchando por lo mismo. Greta Thunberg siendo ícono de lucha para una generación más joven que recibe el planeta habitable en muy mal estado. Porque es la parte habitable del planeta la que está en mal estado; al planeta en sí mismo no le ocurre nada. Es al espacio que admite y conjuga todas las formas de vida la que está encontrando su límite. Claro que no solo por el cambio climático, pero es, ciertamente, una de las más grandes amenazas que enfrenta la humanidad y la vida en general, no necesaria- o exclusivamente en cuanto a su supervivencia, sino en cuanto a su calidad de vida, a la capacidad de planificación y sostenibilidad.

Aunque este concepto pareciera dormirse en nuestra cotidianidad, aún estamos a tiempo de mitigar. Aún hace sentido investigar sus consecuencias, enfrentarlo y aminorar el daño.

Desde la comunidad geocientífica de Chile tenemos mucho que contar y promover con respecto al cambio climático. Es por esto, que te invitamos a explorar un nuevo número de *Geohuellas: el medioambiente a través de la Geología*.

Luna Pérez
Equipo editorial Geohuellas

GLACIARES DE LA

REGIÓN METROPOLITANA

En la Región Metropolitana existen más de 21 glaciares. ¿Los conocías todos?



Inventario de Glaciares Oficial (DGA).

CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS CAMPOS DE HIELO PATAGÓNICOS

Dieter Tetzner (Geólogo)

Departamento de Ciencias de la Tierra, Universidad de Cambridge

Los glaciares son fieles indicadores de las condiciones climáticas en la región donde ellos se encuentran. Al estar principalmente formados por hielo, los glaciares son particularmente sensibles frente a cambios en los regímenes de temperatura y/o precipitación. Por un lado, al aumentar la temperatura promedio y al disminuir la precipitación anual en una región, se estimula el derretimiento del hielo, generando así una reducción, tanto de la superficie, como del grosor de los glaciares. Por el contrario, la disminución de la temperatura promedio junto con el aumento en las precipitaciones anuales, generará las condiciones propicias para conservar el hielo, resultando en un crecimiento de la superficie y en un aumento del grosor de los glaciares. Mediante estas relaciones, los glaciares son capaces de responder activamente frente a las variaciones en las condiciones climáticas.

En las últimas décadas, los glaciares han experimentado un considerable retroceso y adelgazamiento a nivel global. Como sostiene el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), esto se ha dado principalmente en respuesta al sostenido aumento en la temperatura promedio de la atmósfera y a los cambios en los patrones regionales de precipitación.

En el actual contexto de cambio climático en el que vivimos, los glaciares de montaña han sido particularmente impactados alrededor del mundo. Entre los glaciares de montaña, de especial interés es el caso de los glaciares ubicados en la cordillera de los Andes. Recientemente, diversos grupos de investigación han estimado que el derretimiento del hielo en los Andes es uno de los mayores contribuyentes (por unidad de superficie) al aumento del nivel del mar. Lo anterior, ha provocado que la comunidad científica ponga sus ojos en la región Andina, resaltándola como una zona de gran relevancia para estudiar los efectos del cambio climático sobre la criósfera.

Los Andes, a diferencia de otros cordones montañosos, atraviesan un amplio rango de

latitudes, permitiendo la existencia de una **gran variedad de glaciares**, pasando desde pequeños glaciares en zonas tropicales, hasta grandes campos de hielo en la zona austral. Si bien los Andes albergan una gran diversidad de glaciares, se ha identificado que no todos ellos han sido impactados con la misma intensidad por el cambio climático observado en las últimas décadas. Entre los glaciares que se han visto más afectados, están los que se ubican en los Andes Australes (40°S - 55°S), en especial, los que forman los campos de hielo Patagónicos (Norte y Sur) y el campo de hielo ubicado en la Cordillera Darwin (Figura 1).

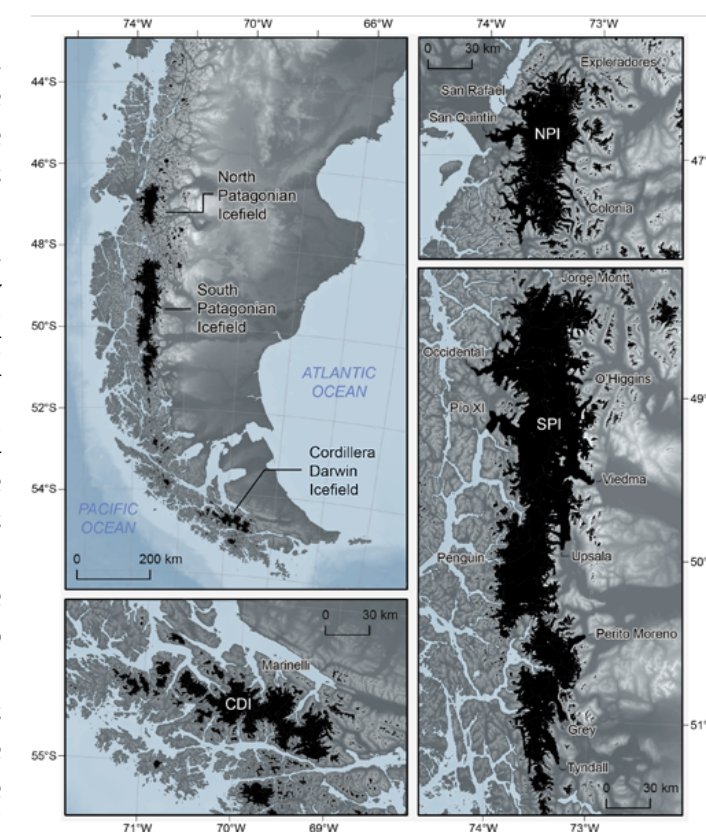


Figura 1. Ubicación campos de hielo. Fuente Pfeffer et al. (2014).

Los campos de hielo Patagónicos y el campo de hielo de la Cordillera Darwin, son los cuerpos glaciares que concentran el mayor volumen de hielo en Sudamérica. Juntos, albergan más de 2.000 glaciares, los cuales representan aproximadamente el 60 % de la superficie cubierta por glaciares en toda Sudamérica. Históricamente, los glaciares que

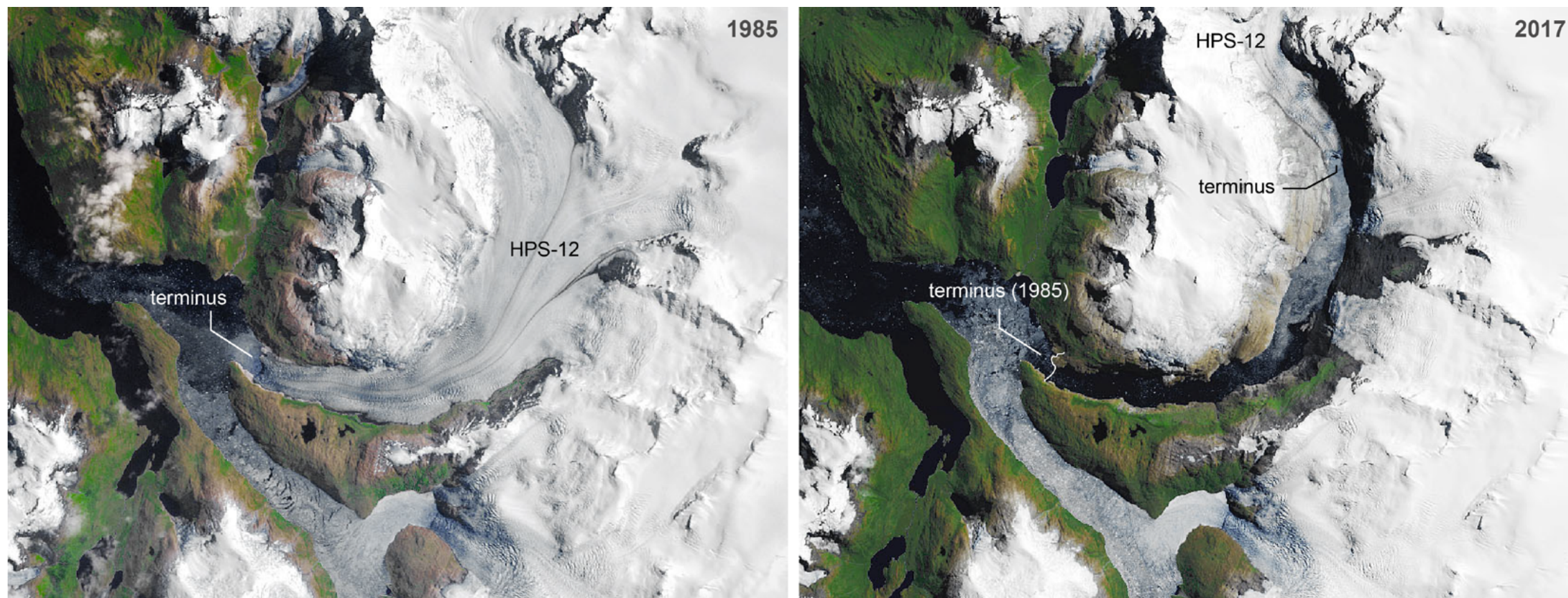


Figura 2. Retroceso glaciar HPS-12 (Fuente: Nasa, compilado por J. Bendle).

forman los campos de hielo Patagónicos y el campo de hielo de la Cordillera de Darwin han respondido de manera sincrónica frente a variaciones en las condiciones climáticas.

Diversos estudios han demostrado que durante la denominada “pequeña edad del hielo”, un periodo frío entre los siglos XVI y XIX, estos glaciares aumentaron considerablemente su tamaño, registrando notables avances en sus frentes. En el siglo XX, desde el fin de la “pequeña edad del hielo”, estos glaciares han presentado un paulatino retroceso, el cual ha significado una reducción de 13-20 % en su superficie. Si bien, la reducción en la superficie glaciar ha sido una tendencia regional durante el último siglo, la tasa de reducción se ha acelerado de manera dramática en las últimas décadas. Esto se ha traducido en un considerable adelgazamiento de los glaciares acompañado por un retroceso generalizado de sus frentes, que supone la mayor pérdida de masa glaciar (por unidad de superficie) en toda Sudamérica.

Los recientes cambios observados en la región, han sido interpretados como la respuesta de los glaciares frente a las variaciones de temperatura y precipitación durante el último siglo. Numerosos estudios han propuesto que el aumento de la temperatura promedio en la atmósfera, junto con la

disminución de las precipitaciones en la región, serían los principales parámetros causantes de la pérdida de masa glaciar. Al aumentar la temperatura promedio de la atmósfera se produce el ascenso de la llamada “isoterma o °C” (altura a la que la atmósfera alcanza los o °C). El ascenso de la isoterma o °C expone una mayor superficie a temperaturas por sobre el punto de congelación del agua, estimulando el derretimiento del hielo que se encuentre bajo esta altura. En paralelo, el ascenso de la isoterma junto **con las variaciones en los patrones de precipitación no solo afecta la extensión de la superficie donde se acumulará la nieve, sino que también modifican la estacionalidad y la magnitud de las precipitaciones**, impactando directamente en la cantidad de nieve que se depositará año a año.

Los impactos del reciente cambio climático se han visto particularmente intensificados en los glaciares que forman los campos de hielo Patagónicos y Darwin. Esto, se debe principalmente a que una parte considerable de ellos se encuentra emplazada en zonas bajas y a temperaturas cercanas al punto de fusión. Lo anterior, sitúa a estos glaciares en una posición de extrema sensibilidad. No solo frente al reciente cambio climático, sino que también en todos los posibles futuros escenarios de cambio climático. Adicionalmente, muchos de estos glaciares terminan

en fiordos o en lagos proglaciales, haciéndolos aún más vulnerables debido a su interacción ya sea con las mareas o con los cambios en los niveles de los lagos, los cuales pueden afectar su estabilidad en la zona terminal.

A pesar de que los campos de hielo Patagónicos y el campo de hielo de la Cordillera Darwin han presentado un retroceso generalizado durante las últimas décadas, no todos sus glaciares se han comportado de igual manera. Entre los cientos de glaciares que han registrado un retroceso en sus frentes, existen algunos glaciares que se destacan por haber retrocedido dramáticamente. En el campo de hielo Patagónico Sur, los casos más emblemáticos corresponden al glaciar Jorge Montt, con un retroceso de 19,5 km durante el último siglo, el **glaciar O'Higgins** (link [↑](#)) que ha retrocedido 11,6 km en los últimos 60 años y el glaciar HPS-12 que ha presentado un retroceso de 13 km en los últimos treinta años (Figura 2). De igual manera, el campo de hielo de la Cordillera Darwin alberga glaciares que han presentado retrocesos dramáticos durante las últimas décadas. Un ejemplo de esto es el caso del glaciar Marinelli. Este glaciar es el más extenso de este campo de hielo y estimada que ha retrocedido 12,2 km en las últimas seis décadas. Si bien el retroceso y adelgazamiento de los glaciares ha sido

generalizado en la región, también existen excepciones. Una de estas excepciones es el glaciar Pío XI, uno de los pocos glaciares a nivel mundial que ha registrado un avance de su frente en las últimas décadas. El glaciar Pío XI es el glaciar de mayor superficie del campo de hielo Patagónico Sur y también de Sudamérica. Desde el año 1945 ha registrado un avance de por lo menos 10 km en su zona frontal, alternando periodos de rápido avance con periodos de relativo equilibrio (Figura 3). El aislado avance de este glaciar ha sido considerado como una anomalía, la cual aún no tiene una explicación clara. Sin embargo, se ha sugerido que este comportamiento no sería una respuesta únicamente climática.

Los campos de hielo Patagónicos y el campo de hielo de la Cordillera de Darwin son los mayores cuerpos de hielo en Sudamérica. El cambio climático reciente los ha impactado considerablemente, derritiendo grandes volúmenes de hielo y produciendo dramáticos retrocesos de sus frentes, lo que supone la mayor pérdida de masa glaciar (por unidad de superficie) en toda Sudamérica y un aporte aproximado de un 10 % de todo el derretimiento generado por glaciares de montaña a nivel mundial. El acelerado derretimiento de estos glaciares no sólo tiene implicancias locales en la biodiversidad y en los ecosistemas, sino que también tiene implicancias directas sobre el aumento del nivel del mar y la disminución del albedo, resaltando su relevancia a escala global.

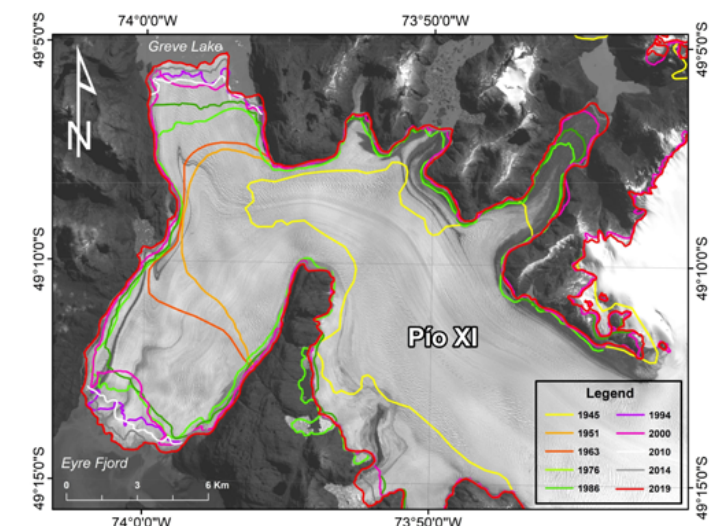


Figura 3. Imagen extraída de Masiokas *et al.* (2020).



Antonio Maldonado (Biólogo, Paleoclimatólogo)

Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas

El cambio climático y sus impactos en el paisaje y la sociedad son algo que vemos cada vez con mayor claridad y desde diferentes aspectos. Escasez hídrica en algunos sectores, eventos extremos de precipitaciones, grandes incendios en épocas de sequías, necesidad de mejores tecnologías para la agricultura, son algunos de los ejemplos más evidentes tanto en el centro como en el norte de Chile. Sin embargo, ¿cuánto de esto ya ha vivido el planeta y particularmente Chile en el pasado? El registro fósil nos ha mostrado que el planeta y la humanidad han presenciado desde siempre cambios climáticos. Los grupos humanos de cazadores recolectores que han habitado el territorio nacional por más de 12.000 años, también se han visto inmersos en procesos de cambios ambientales, lo cual los ha llevado a cambiar sus conductas, desarrollar nuevas tecnologías y, en casos extremos, abandonar ciertos lugares.

Los estudios paleoclimáticos y paleoambientales disponibles para Chile Central, a través de las reconstrucciones del clima y el ambiente del pasado, muestran que, durante el Holoceno (últimos 11.500 años), ha habido períodos de mayor aridez que el actual. Principalmente, estos períodos se han registrado en el Holoceno temprano y medio (hasta hace al menos, unos 4.000 años). Además, existen algunos registros que muestran estos cambios, como estudios de depósitos de sedimentos en la cordillera de Chile Central y Norte Chico, registros de los bosques pantanosos en la costa de la provincia del Choapa y el estudio de sedimentos en la Laguna de Aculeo, al sur de Santiago (Figura 1).

Utilizando registros de partículas de carbón en sedimentos de lagos de la cordillera (las cuales son indicadoras de frecuencia de incendios), se ha inferido que los incendios de mayor magnitud ocurrieron en el Holoceno temprano y medio en períodos de importantes aumentos de aridez, posiblemente facilitados por un ambiente seco y cálido. Por otra parte, en la costa de la región de Coquimbo, estudios

en sedimentos de bosques pantanosos muestran que los registros de partículas de carbón aumentan en cantidad y magnitud durante los últimos 3.000 años, en coincidencia con un aumento demográfico importante en la población humana.

Los estudios de polen, como indicadores de cambios en la vegetación, en estos mismos sedimentos, han mostrado que estos bosques se secaron y desaparecieron durante la fase más árida del Holoceno medio, situación que está comenzando a repetirse hoy en día en algunos de estos bosques. De la misma manera, el registro de Laguna Aculeo muestra una fase de playa lacustre, es decir, posee sedimentos que indican que la laguna estuvo al borde de secarse durante el Holoceno temprano, de igual manera como se ha visto durante el último período.

La extracción de agua de las napas freáticas, entre otros factores, tanto antrópicos como naturales, ha llevado a replicar situaciones en el paisaje y los recursos naturales casi tan extremas como las ocurridas durante la fase más árida de los últimos 11.500 años.

Estos efectos en el paisaje y en los recursos naturales en el pasado afectaron a los grupos humanos, los cuales cambiaron sus estrategias de subsistencia y movilidad para enfrentar estas situaciones adversas. En la costa del Norte Chico, los grupos de cazadores-recolectores pasaron por una serie de cambios en las estrategias de obtención de recursos y ocupación del espacio, complementando así el uso de los valles interiores y zonas cordilleranas durante los períodos más adversos.

Una situación aún más extrema es la que se ha documentado en la Pampa del Tamarugal, en el Norte Grande. Dicho lugar fue ocupado inicialmente por cazadores recolectores en momentos de mayores precipitaciones que las actuales (Figura 2). Más tarde, durante el Holoceno temprano y medio la pampa fue desocupada y solo en el Holoceno tardío (hace no más de 4.000 años) se reocupó, de manera más intensiva, con extensos campos de cultivos. Pese a que la

disponibilidad hídrica era menor que en el primer período de ocupación, los avances tecnológicos permitieron un uso habitual e intensivo del lugar. Posteriormente, con la disminución de precipitaciones, la pampa deja de ser un lugar ocupado de manera habitual. Solo en épocas históricas con nuevos avances tecnológicos ha sido ocupada nuevamente; por ejemplo, en la época del salitre y en la actualidad. Sin embargo, esta última ocupación, en conjunto a los avances tecnológicos, lleva al uso de recursos naturales no renovables, tal como lo son las aguas de napas freáticas, cuyas últimas recargas importantes ocurrieron a finales del Pleistoceno (~11.000-25.000 años atrás). Algo similar ocurrió con el uso de madera antigua (sub-fósil), de esa misma época, que posteriormente quedó enterrada en la pampa y fue explotada en la época del salitre.

Los cambios en el paisaje que estamos viendo hoy, son un efecto combinado de los cambios en el clima y el uso excesivo de los recursos naturales, por lo que no son totalmente equivalentes a los descritos para el pasado. Sin embargo, esta comparación nos muestra hacia dónde podemos llevar al ambiente, en caso de mantenerse las actuales tendencias de cambio climático y uso de recursos. De ser así, es necesario prepararnos y, sobre todo, repensar nuestra relación con el medio natural. Ante cambios climáticos desfavorables, los grupos humanos del pasado reorganizaron el uso del espacio y los recursos, ampliando rangos de ocupación, abandonando algunos lugares y ocupando otros, incorporando tecnologías y estrategias de adaptación a los cambios en el ambiente.

Pero, ¿cuánto de esto podemos hacer en la actualidad? ¿Estamos dispuestos a desplazar ciudades, por ejemplo? ¿Cuánto realmente necesitamos explotar? ¿Cuánto es necesario conservar? ¿Con cuánto podemos vivir? ¿Necesitamos pensar y mirar nuestra



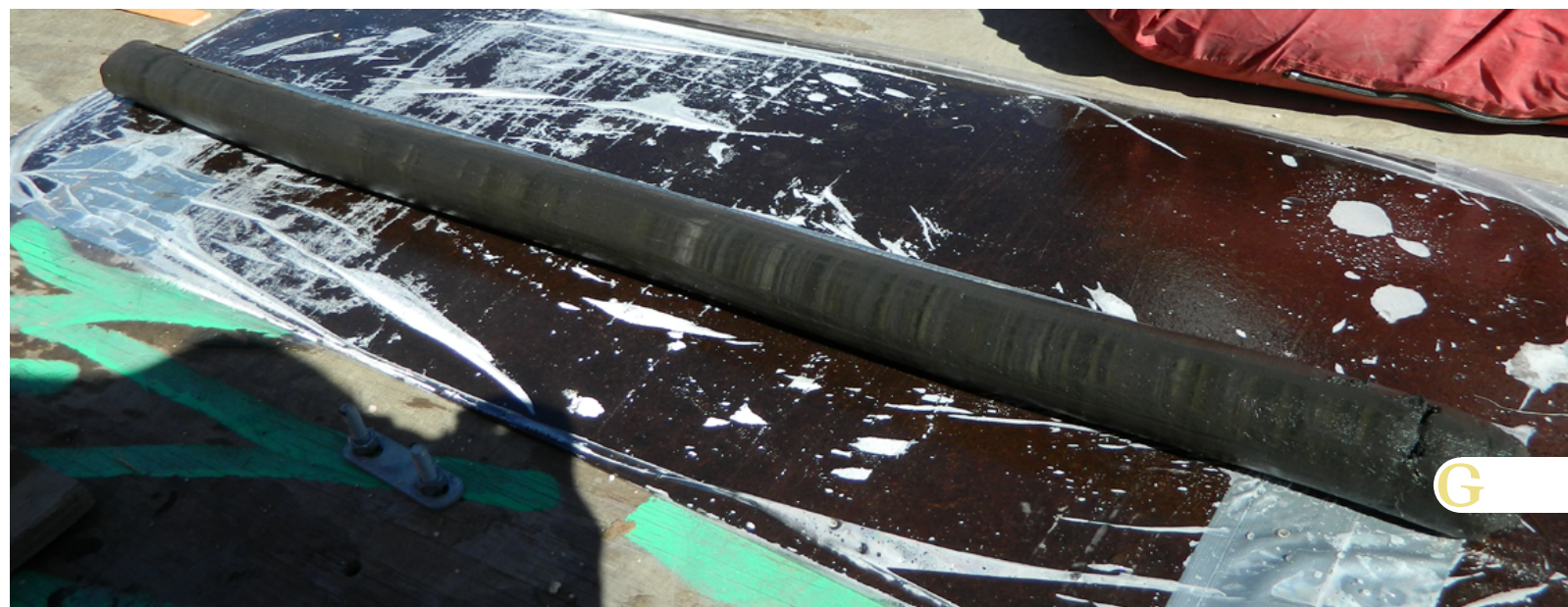
Figura 2. Aldea arqueológica en la pampa del Tamarugal.

relación con el medio natural de una manera distinta o confiaremos en que el avance tecnológico siempre nos va a permitir mantener nuestro modo de relación con la naturaleza?

En el presente, las estrategias deben ir por otra vía, posiblemente asociadas a mayor desarrollo de tecnologías, pero también hacia un cambio de mentalidad, hacia una sociedad que integre el sistema natural como engranaje central de los procesos productivos y sociales, al cual hay que cuidar y comprender para no sobrepasar su capacidad de carga. En este sentido, tal vez debemos aprender más de la cosmovisión de los pueblos originarios, en los cuales, la relación con la naturaleza es distinta. La naturaleza es entendida como un ser vivo que entrega recursos, pero también al que hay que cuidar y proteger.

Por último, esta visión sobre el cambio climático en el pasado, incluyendo también la relación de las sociedades con el medio ambiente través de la historia paleoclimática y arqueológica, podría permitirnos obtener lecciones para pensar y entender el proceso que estamos viviendo en la actualidad, con miras a un futuro que genere armonía entre la naturaleza y la sociedad.

Figura 1. Testigo de sedimentos extraído en la Laguna de Aculeo, al sur de Santiago.



LA CRIÓSFERA

Indicadora de la crisis climática en Chile

La **crisis climática** repercute en la mayoría de los componentes del sistema Tierra, y en Chile se ha visto potenciada por la **megasequía** y el rápido avance de la **desertificación**. Una porción quizá menos visible del territorio y afectada de manera transversal por la crisis climática es la **criósfera**.

Durante el último siglo, la **temperatura** en la tierra ha aumentado en **1°C** y la concentración de **CO₂** atmosférico ha incrementado un **45%**.



Esto ha ocasionado una **disminución** en las **precipitaciones** de hasta un **40%** en Chile central, con una consecuente **reducción** en los **caudales de los ríos**: entre las cuencas de los ríos Aconcagua y Maule, los caudales han disminuido entre un **3** y **37%**.



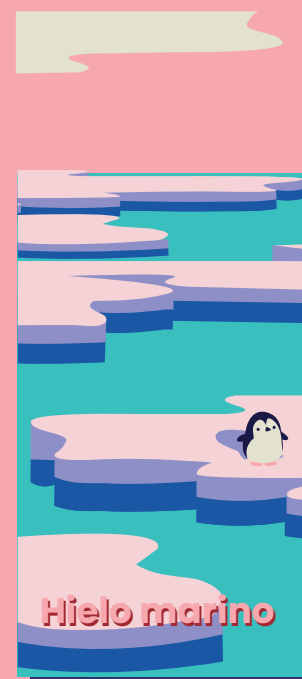
Sumando el efecto de la **desertificación**, la cual se desarrolla entre **400 m** a **1 Km** al año, lo expuesto implica una **menor** disponibilidad de **agua**, restringiendo el **consumo** de las **personas**, la **agricultura** y las **actividades productivas**.



Retroceso del hielo marino

Una componente **criosférica** de Chile es el hielo marino. Su superficie suele fluctuar entre **17** y **20 millones** de Km² en invierno, y **2** a **4 millones** Km² en verano. Entre 2014 y 2016 se registró la **extensión mínima** histórica del **hielo marino antártico**, con una **disminución** de **1,6 millones** de Km².

¿Qué es la criósfera?



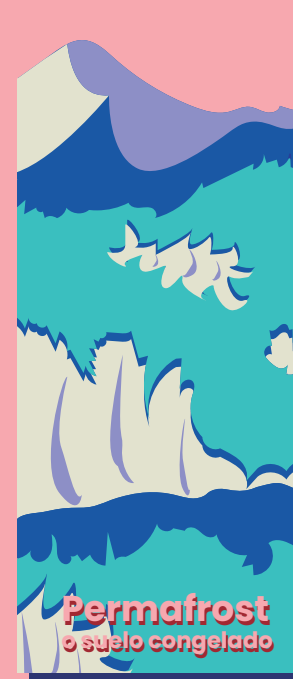
Hielo marino



Nieve



Casquetes de hielo



Permafrost o suelo congelado



Glaciares

Todas las **crioformas** están sujetas a los efectos del aumento de la temperatura: desde los **glaciares** emplazados en las altas cumbres del Altiplano hasta los grandes **campos de hielo** de Patagonia y Antártica. Esto es posible observarlo en el **declive** de su superficie y volumen. En el caso de los **glaciares de Los Andes**, este **retroceso** se ha ido acelerando, hasta una tasa promedio de **0,7 metros** equivalente en agua por año.

Son todos aquellos elementos del planeta en los que el **agua** se presenta de manera **congelada**, sobre o bajo la superficie. Ocupan un área equivalente al **13%** de la superficie de la Tierra y contienen casi el **70%** del **agua dulce** disponible en el planeta. Está conformada por:

Vale añadir que desde 1986 a la fecha, el manto nivoso se ha **reducido** en casi un **20%** en los Andes, impactando directamente los **recursos hídricos**.

Chile es, literalmente, un país de glaciares. Con **más de 24.000**, Chile posee el **80%** de este tipo de masas de hielo de **Sudamérica**.

Comprender estos procesos es fundamental para generar **conciencia** del efecto de la **crisis climática** en la **criósfera** en general. Las variaciones aquí expuestas apuntan no solo a una reducción del **aporte hídrico**, sino a los inminentes **peligros** que se pueden desencadenar debido a la **reducción ininterrumpida** de la porción congelada del territorio. Como ejemplo se encuentra el derrumbe por **inestabilidad** de laderas que ya

no se encuentran congeladas. Por lo tanto, más que ser espectadores de estos efectos, se debe **actuar** y velar por la **adaptación** y **resiliencia** de las **comunidades** que conviven y dependen de la nieve, el permafrost y los glaciares.

Contenidos por Felipe Ugalde Peralta, Geoestudios Asesores SA. Diseño e ilustración por Edwin González, Revista Geohuellas.

Isotermas e inestabilidad de laderas

El **suelo congelado** del país está sujeto a condiciones de **baja temperatura** en zonas de **gran elevación geográfica**. Producto del alza en la altura de la **isoterma cero**, el **permafrost** se ve forzado a **migrar** a regiones de mayor altitud y latitud. Esto provoca **inestabilidades** en las **laderas** que alguna vez se mantuvieron estables debido al **congelamiento perpetuo**.



Un ejemplo de este fenómeno es el **deslizamiento** que ocurrió en la zona alta del **Santuario de la Naturaleza de Yerba Loca**, Región Metropolitana, en agosto de 2018.

El impacto extra del polvo

El deshielo se refuerza con la **deposición de polvo** en la cordillera. Este polvo proviene principalmente de:



Al momento en que cae sobre la **nieve o hielo**, disminuye la capacidad de la superficie de reflejar la **radiación del sol (albedo)**, retroalimentando su **derretimiento** al volver la nieve más oscura.



HUMEDALES RESILIENCIA CLIMÁTICA

Roberto Vera (Estudiante de Geología)

Universidad Austral de Chile

Uno de nuestros grandes desafíos como sociedad en el presente, y futuro próximo, será nuestra **capacidad de responder** y reorganizarnos para afrontar sucesos o perturbaciones peligrosas que afecten negativamente nuestras comunidades, ciudades e incluso todo el planeta. Si lo conseguimos, lograremos **mantener sus funciones, su identidad y estructura**, conservando al mismo tiempo su capacidad de **adaptación y aprendizaje**.

En las últimas dos décadas, los grupos de trabajo del **IPCC (Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático)** han elaborado informes sobre los impactos del cambio climático, incluyendo aspectos como la vulnerabilidad y **capacidad de adaptación de las comunidades** a él. Han entregado datos cuantificables y cualitativos sobre las consecuencias que produciría un **aumento global de la temperatura en 1,5 °C** con respecto a los niveles preindustriales. De esta forma, han proyectado los diferentes escenarios que deberían producirse a causa de las emisiones globales de gases de efecto invernadero para dar una respuesta mundial a la amenaza del cambio climático sobre el desarrollo sostenible y los esfuerzos para erradicar la pobreza. En este sentido, **los humedales juegan**

un rol fundamental en la lucha contra el cambio climático, presentando importantes beneficios, así como desafíos y responsabilidades.

Los humedales son ecosistemas acuáticos que albergan una gran biodiversidad y proveen de importantes recursos para la vida. Son superficies saturadas con agua, ya sea de forma permanente o estacional, que adquieren las características de un ecosistema diferenciado. Los **humedales continentales incluyen lagos, ríos, acuíferos subterráneos, pantanos, esteros, pastizales húmedos, turberas, llanuras de inundación (floodplains) y oasis**. Entre los **humedales costeros** se incluyen **estuarios, deltas, llanuras intermareales, manglares y zonas costeras marinas**, así como **arrecifes de coral**.

De acuerdo con información del IPCC (2018) y el primer informe de la **Convención Ramsar (2007)**, que es el principal organismo intergubernamental que vela y protege los humedales, estos cubren aproximadamente el **6%** de la superficie de la Tierra. Las “áreas protegidas” por Ramsar incluyen más de 1.873 sitios, cubriendo aproximadamente 184.030.126 ha. En el caso particular de Chile, hay humedales desde Arica y Parinacota, hasta Magallanes, pero se encuentran en mayor concentración en las regiones de Los Lagos (133.753 ha), Aysén (97.372 ha) y Los Ríos (89.467 ha).

Dentro de sus **beneficios ecosistémicos** que ayudan a combatir el cambio climático, destaca su importante papel como reservorio. Esta capacidad de almacenamiento es crucial, ya que además **evita la emisión de los tres principales gases de efecto invernadero** que atrapan el calor en la atmósfera y que generan el calentamiento global, estos son: dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O). En el caso del **ciclo del carbono**, los humedales capturan alrededor del **12%** del CO₂ a mundial. Asimismo, son un elemento clave de mitigación de

la **escasez del recurso hídrico**, ya que actúan como esponjas **liberando** el agua que almacenaron en invierno de manera paulatina durante estaciones más secas.

En la última década, los humedales han estado bajo fuertes **presiones hídricas** debido a **cambios en la hidrología** de los ecosistemas. Concretamente, debido a la naturaleza y la variabilidad del **hidroperiodo** (disponibilidad de agua, definida por la duración y frecuencia del recurso en los hábitats) y a la cantidad y magnitud de fenómenos extremos de precipitación. Estos **cambios** incidirán en un aumento en el número y severidad de las sequías e inundaciones, lo cual someterá a todos los seres vivos a un gran estrés hídrico. Esto, sin considerar el **impacto causado por acciones humanas**, como es el caso de los rellenos con escombros y sedimentos para la construcción de infraestructura urbana o para ser usados como vertederos y el **impacto del calentamiento global**, sobre todo si no se limita el aumento de la temperatura en 1,5 °C en vez de 2 °C.

En este sentido, la **protección, conservación y restauración** de los humedales es de gran importancia para contrarrestar futuros fenómenos climáticos como por ejemplo, aumentos en el nivel del mar que generan inundaciones costeras o la ocurrencia de ciclones. Estos hábitats constituyen una primera línea de defensa costera y son estabilizadores climáticos, ya que regulan la temperatura del medio. Además, controlan el volumen y calidad del agua que abarca el ecosistema y los sitios próximos a él, regulando los niveles de salinidad y de ciertos minerales presentes. Por todo esto, se puede decir que los humedales contribuyen al logro de los **ODS (Objetivos de Desarrollo Sostenible)** de las Naciones Unidas, específicamente con el **ODS 13** que tiene relación con la toma de medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos. Desempeñan un rol vital en la reducción del riesgo de desastres naturales hidrológicos y en el almacenamiento de carbono atmosférico, tanto o más que los bosques.

En la naturaleza están las herramientas necesarias para combatir los fenómenos del futuro. Esto implica acabar con las prácticas que interfieren y afectan negativamente estos hábitats. Como ejemplo, se puede mencionar el caso del **Santuario Río Cruces** (Valdivia) que gracias a años de lucha por parte de sus comunidades, sobre todo después del **desastre ambiental** provocado por la empresa **ARAUCO** en el año **2004**, ha logrado conformar un importante lugar



ecosistémico de investigación, conservación y que ha ayudado a la proliferación de especies endémicas de flora y fauna en la región, así como ha elevado la calidad de vida de sus ciudadanos.

En enero del 2020, Chile modificó una de sus leyes ambientales, específicamente la **Ley n.º 21.202**, la cual hace referencia a los **humedales urbanos**. Dentro de los humedales que se están tratando de proteger gracias a esta ley se encuentran: el **humedal Río Lluta** de Arica y Parinacota, los **humedales Ojos de Mar** en Valparaíso, **Angachilla-Llancahue** en Valdivia, **humedal Batuco** en Santiago, **humedal Los Batros y humedales del Río Maullín** en las regiones del Biobío y Los Lagos o el humedal **Bahía Lomas** de Magallanes, entre otros. En este contexto, **las comunidades juegan un rol primordial**, ya que son quienes conviven a diario en estos ecosistemas y son quienes, en muchos casos, más luchan por cuidar de ellos. Este es el momento para **escuchar y apoyar a las comunidades**, realizar espacios de divulgación abierta a las personas para generar consciencia como sociedad respecto al cuidado que necesitan y merecen este tipo de ecosistemas que favorecen el bienestar del planeta, tanto para esta generación como para las futuras.



CANALES DE REGADÍO

UNA SOLUCIÓN ANCESTRAL PARA LA RECARGA DE ACUÍFEROS EN TIEMPOS DE SEQUÍA

Matías Taucare (Dr. en Ciencias Mención Geología), Benoît Viguié (Dr. en Hidrogeología) y Linda Daniele (Dra. en Hidrogeología)

Universidad de Chile (M.T.), Universidad de O'Higgins (B.V.) y Universidad de Chile (L.D.).

No está demás destacar la importancia del agua, en especial en las regiones áridas o semiáridas del planeta, donde el vital recurso no está todo el tiempo a la vista, y su forma invisible se vuelve esencial para el abastecimiento y para todas las actividades socioeconómicas: el agua subterránea. Aquellas regiones son las más vulnerables al impacto de **presiones antrópicas** (sobreexplotación y/o contaminación) y de cambio climático, por lo que el apropiado uso de los recursos hídricos subterráneos depende de una gestión sostenible en el tiempo, la cual está sujeta a una adecuada comprensión de los **sistemas hidrogeológicos**. Identificar los componentes y procesos involucrados en el **balance hídrico de acuíferos**, con especial énfasis en las **entradas de agua**, es decir la **recarga** (Figura 1), es fundamental para poder cuantificar con mayor precisión la disponibilidad de los recursos hídricos de tales regiones.

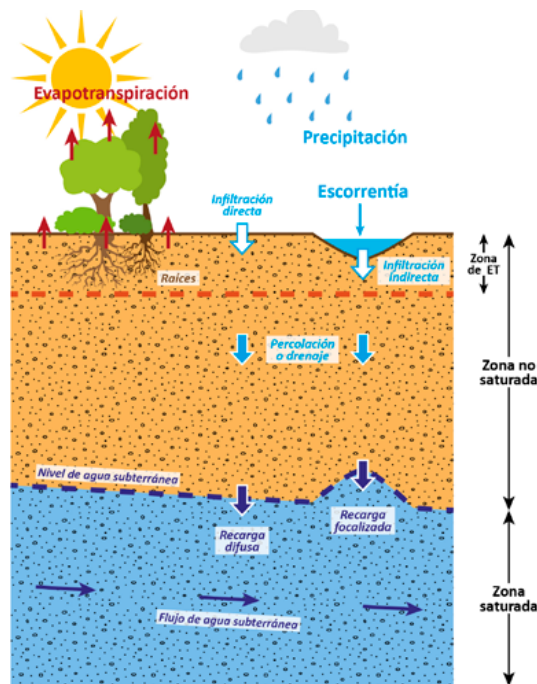


Figura 1. Esquema para la recarga hídrica.

En este artículo se hablará de un componente que pareciera ser relevante en el balance hídrico de Chile

central y que, de manera inconsciente, está aportando en la recarga de los acuíferos aluviales: los canales de regadío. Además, se hablará de la importancia de su conservación, que peligra debido al desconocimiento de su aporte.

Chile central (32°-36°S; Figura 2) es una macro-región donde viven más de 10.000.000 habitantes, concentrándose principalmente a lo largo de la Depresión Central. Esta macro-región se caracteriza por un clima semi-árido con un **gradiente en las precipitaciones de norte a sur**, desde 270 mm/año en Cabildo hasta 970 mm/año en Linares (promedio anual durante el periodo de 1980-2010). Las principales actividades socioeconómicas de Chile se reúnen en esta región, donde el **uso consuntivo del agua es dominado por la agricultura, con un 82% del total** de agua consumida según la Dirección General de Aguas. El 18% restante se reparte entre actividades industriales (8%), suministro de agua potable (7%) y minería (3%).

En la actualidad, las principales cuencas hidrográficas de Chile Central se encuentran con decreto de escasez hídrica (Río Petorca, Río La Ligua, Río Aconcagua, Río Maipo, Río Rapel, Río Mataquito y Río Maule). Según un informe del Banco Mundial del año 2010, la disminución en la disponibilidad de los recursos hídricos renovables en esta macro-región se debe al aumento de las presiones antrópicas desde la década de 1980 y al actual sistema de gestión del agua. De hecho, los acuíferos aluviales se encuentran en estado de sobreexplotación producto de la sobreutilización del agua subterránea, consistente con el aumento notorio de derechos de agua otorgados (Figura 3). Además, de acuerdo con un estudio de 2019 hecho por el investigador René Garreaud y otros, se sabe que durante la última década (2010 al presente) esta situación se ha visto agravada por la denominada **megasequía**, período en cual se han registrado disminuciones en las precipitaciones que promedian entre un 30 y 45% en relación con el período histórico (1980-2010), y hasta un 90% en 2019, de acuerdo con

datos de la DGA. En consecuencia, la combinación entre el aumento de las presiones antrópicas y de cambio climático sobre los recursos hídricos de esta zona ha quedado reflejada en el marcado descenso de los niveles de agua subterránea, de ~20 m en la cuenca del Río Rapel y de hasta ~40 m en las cuencas del Río La Ligua y Río Aconcagua (Figura 3). Tal situación ha provocado un aumento en los problemas relacionados al agua, especialmente en los sectores rurales donde los pozos poco profundos se encuentran secos.

Durante los últimos años, en Chile Central se han llevado a cabo estudios para entender las variables que participan en el balance hídrico (por ejemplo, trabajos de los autores de este mismo artículo), y así poder mejorar los criterios técnicos que se utilizan para la gestión de los recursos hídricos. De esta forma, se han logrado avances importantes sobre el conocimiento del funcionamiento de los sistemas hidrogeológicos. Dentro de ellos se ha mostrado que existen procesos de recarga artificial, no planificados, relacionados a la infiltración en canales de regadío. Los canales de regadío son obras hidráulicas que tienen la función de captar parte del agua de un río en la zona cordillerana y conducirla hasta las zonas de cultivos en la Depresión Central. En otras palabras,

“La infiltración de los canales de regadío da pie a procesos de recarga artificial, que en Chile no están planificados, y que en algunas cuencas más de la mitad de la recarga de los acuíferos aluviales proviene de dicho proceso”.

los canales actúan como un sistema que distribuye y reparte el agua desviada de los ríos por toda la cuenca. Aunque este sistema modifica el caudal natural de los ríos, los canales no revestidos (es decir no impermeabilizados) y excavados directamente en el suelo (Figura 4) permiten aumentar la superficie de **recarga focalizada**. Dicho proceso da pie a una mayor tasa de recarga, a diferencia de la **recarga difusa** por lluvia (de acuerdo con estudio de los autores Healy y Scanlon, en 2010).

El año 2017, la Comisión Nacional de Riego cuantificó

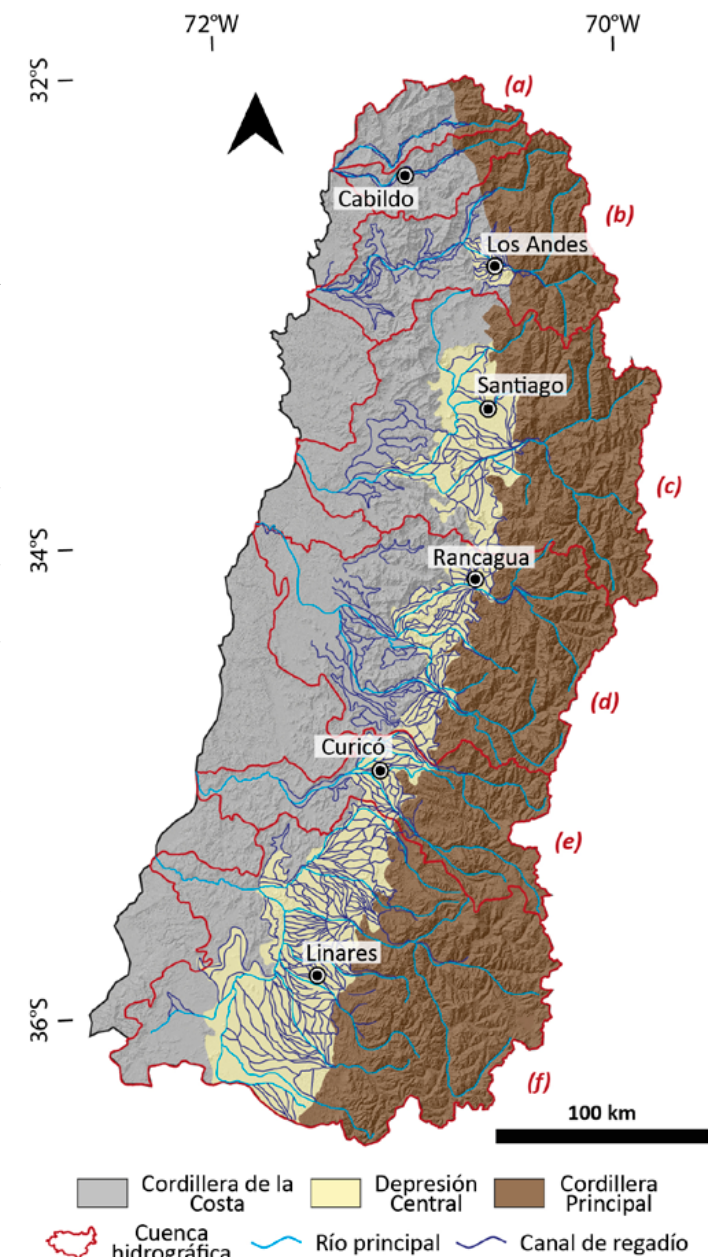


Figura 2. Hidrografía del Chile central.

la infiltración de estos canales en algunas de las cuencas de Chile Central. Por ejemplo, en la cuenca del Río Mataquito en promedio el 20% del agua transportada por el Canal Cumpeo se ha estado infiltrando desde 1998. En la cuenca del Río Maule, se estimó que la infiltración desde la red de canales varía entre un 20 y 30%. Estos datos permiten cuantificar el importante volumen de potencial recarga que genera la infiltración de canales. Según un estudio de Arumi y otros en el año 2018, en la cuenca del Río Rapel se ha estimado que 52% de la recarga del **acuífero aluvial**

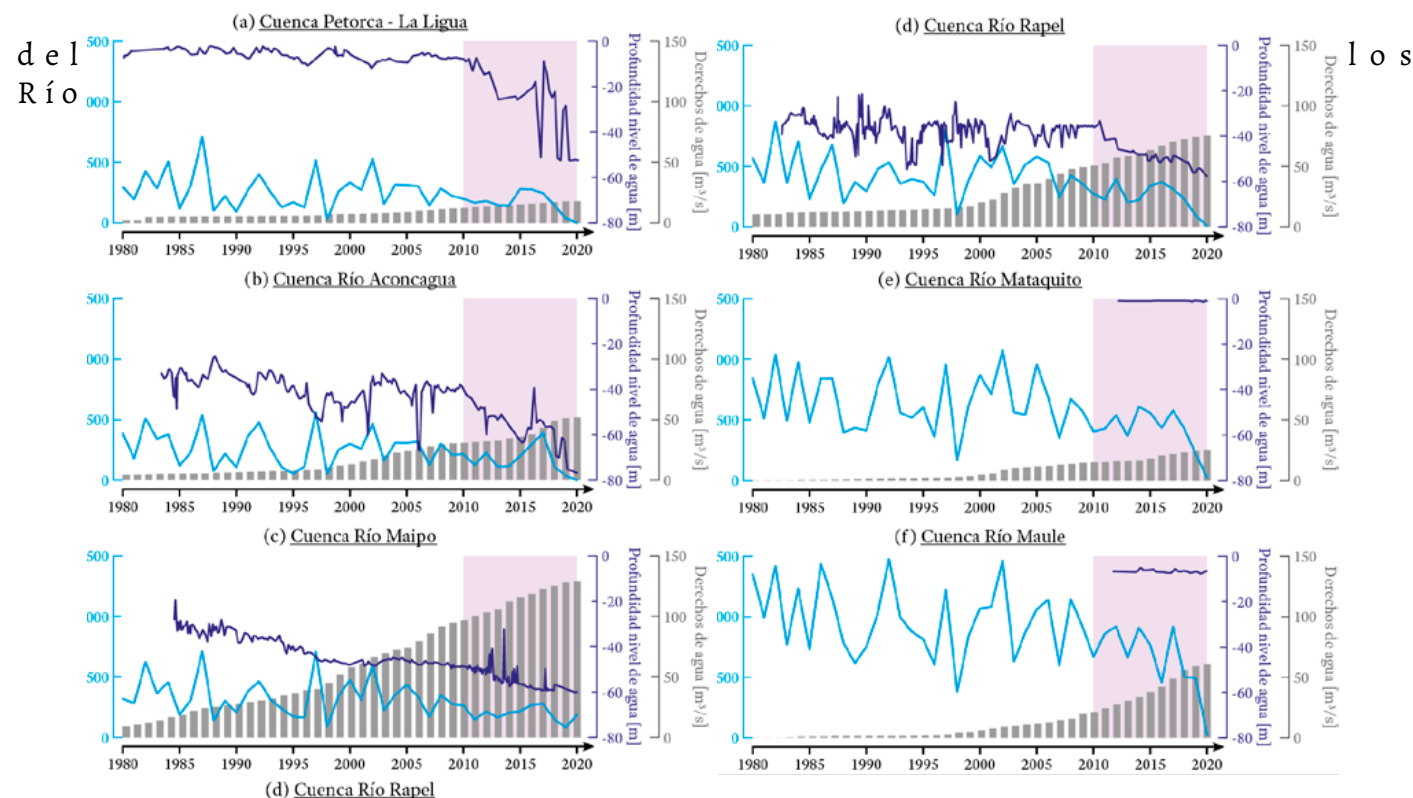


Figura 3. Niveles de agua subterránea en la cuenca de los ríos Rapel, La Ligua y Aconcagua.

Cachapoal proviene de la infiltración de estos canales. La evidencia de este proceso de recarga focalizada distribuida en la Depresión Central (Figura 2), ha quedado plasmada en la **huella isotópica** de las aguas subterráneas del acuífero aluvial de San Felipe (cuenca del Río Aconcagua), **resaltando la labor de recarga de los canales y su participación en el ciclo hidrogeológico.**

Los datos hidrometeorológicos registrados (Figura 3) indican claramente el impacto de la megasequía en las aguas subterráneas, **y quizás el escenario podría haber sido peor sin la labor silenciosa de los canales**, al menos a nivel local. De hecho, los canales de regadío han sido implementados por civilizaciones en la antigüedad como herramienta de adaptación a la escasez de agua en zonas de montaña de Chile y, sin necesariamente saberlo, han favorecido la recarga durante siglos. Ejemplos de esto son las **civilizaciones preincaicas en los Andes** (Perú; investigación de Ochoa-Toachi y otros en 2019), arábicas e hispano-romanas en la Sierra Nevada (España; investigación de Martos-Rosillo y otros en 2019), y bereberes en la Cordillera del Atlas (Marruecos; investigación de Bouimouass y otros en 2019), entre otras. Por su parte, gracias a un informe de la Comisión Nacional de Riego de 1982, se tiene conocimiento de que en Chile Central **parte de la red de canales existe desde tiempos Precolombinos**, y debido a su beneficio para

agricultores, la red de canales siguió creciendo hasta principios del siglo XX. En la actualidad esta red ha alcanzado más de 8.000 m de longitud total, cubriendo principalmente la Depresión Central y los valles (Figura 2). Si bien, no se sabe con exactitud el porcentaje de canales de esta red que se encuentran revestidos, al 2014 solo un mínimo de canales (< 5%) presentaban revestimiento en la cuenca del Río Aconcagua y solo en algunas secciones (de acuerdo con la Comisión Nacional de Riego, 2016). Esto implica que **un importante porcentaje del caudal total transportado se infiltra al subsuelo.**

En los últimos años, **en Chile se ha optado por impermeabilizar los canales con el fin de evitar las**



Figura 4. Canales no revestidos cercanos a un centro urbano.

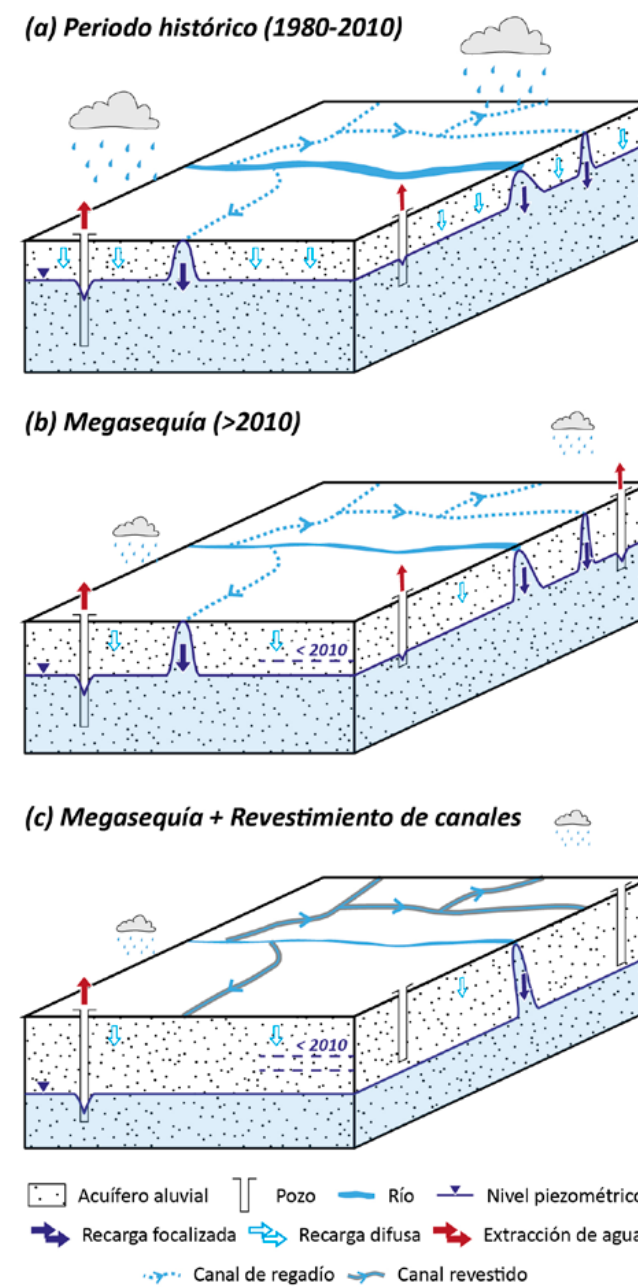


Figura 5. Esquema de infiltración histórico.

“pérdidas de agua”, pero esta medida va a disminuir la infiltración hasta un 95%, afectando notablemente la recarga de los acuíferos asociados (Figura 5). Si bien esta medida es para que los usuarios puedan aprovechar de manera eficiente sus derechos de agua superficiales, existen organizaciones de canalistas que piensan que el revestimiento de los canales es vital para enfrentar la escasez hídrica (por ejemplo: informe de la Comisión Nacional de Riego, 2016). **No obstante, el impacto en los sistemas hidrogeológicos es muy alto, al no considerar la relación entre los sistemas subterráneos con las aguas superficiales.** Entonces, el revestimiento de canales implicaría una interrupción de los procesos de recarga focalizada a lo largo de la red de canales, generando una disminución abrupta de los niveles actuales de agua subterránea, en parte sostenidos por la infiltración de los canales. En otras palabras, los impactos se reflejarían en:

- Los pozos de poca a mediana profundidad quedarán secos.**
- Una disminución en el caudal de los ríos aguas abajo que se alimentan principalmente de agua subterránea.**

En ambos casos, se afecta de manera directa el abastecimiento de agua. Por lo tanto, no es correcto considerar la infiltración como una pérdida, incluso para los usuarios de las aguas superficiales. Lo correcto sería considerar el ciclo del agua en su totalidad incluyendo la red de canales.

Aunque la complicada administración del agua separa el agua superficial de la subterránea, **en la naturaleza ambas están estrechamente vinculadas**, y los canales han operado durante siglos como ejes de

DESDE EL SUELO AL SUBSUELO

El agua subterránea, como parte del ciclo hidrológico, es la principal fuente de agua dulce en la Tierra. Esta se origina de la lluvia y de aquí surge la pregunta... ¿Cómo llega el agua a estar bajo nuestros pies? Hay que indicar que parte de las precipitaciones generan escorrentía que circula en la superficie del terreno, otra parte vuelve a la atmósfera a través de la evapotranspiración, y la parte restante se infiltra directa o indirectamente luego de haber circulado en superficie. La infiltración es la entrada de agua desde la superficie al subsuelo. En este primer paso el agua puede retornar a la atmósfera por evapotranspiración, ya que se encarga de alimentar la vegetación a través de las raíces de las plantas, o simplemente puede permanecer almacenada temporalmente en la zona no saturada (sistema compuesto de roca, aire y agua). Posterior a la infiltración, el segundo paso es la percolación o drenaje, que corresponde al flujo vertical y descendente de agua en la zona no saturada, por debajo de una profundidad límite donde los procesos de evapotranspiración ya no afectan a los flujos. En otras palabras, la **percolación** es la circulación de agua hacia zonas más profundas. Por último, una vez que el agua alcanza la zona saturada (sistema compuesto de roca y agua) se convierte en recarga.

conexión silenciosos. Los canales y procesos asociados pertenecen al ciclo del agua en Chile Central y, sin quererlo, han trabajado como una solución tecnológica adaptada a la escala local para atenuar los efectos del cambio climático y la consecuente escasez hídrica. Esto demuestra que algunas soluciones para el agua

no necesitan de grandes infraestructuras. Finalmente, ha quedado demostrado que los canales juegan un rol principal en el **balance hídrico** de los acuíferos de Chile Central y, por lo tanto, es relevante entenderlos en detalle.

ALGUNAS DEFINICIONES

Acuífero aluvial: Es aquel acuífero, es decir unidad geológica capaz de transmitir y almacenar agua, compuesto por material sedimentario aluvial no consolidado.

Balance hídrico: El balance hídrico es la contabilidad de los flujos de entrada y salida de agua, y los cambios de almacenamiento dentro de un determinado volumen de control.

Huella isotópica: Corresponde a la composición isotópica de un elemento estable (ej.: ^{18}O , ^2H , ^{13}C , ^{12}C) como resultado de diferentes procesos de fraccionamiento isotópico. En hidrología, se utiliza para identificar procesos relacionados a la circulación de agua en la atmósfera, la superficie y al interior de los acuíferos. Así, se permite caracterizar el ciclo del agua, y entre otras cosas, el origen de la recarga del agua subterránea.

Infiltración: Es un flujo vertical descendente, difuso o focalizado, considerado como la entrada de agua desde la superficie al subsuelo. Este flujo puede llegar a la zona saturada del acuífero y ser entonces considerada como recarga, por lo que la infiltración puede ser vista como una recarga potencial. El agua infiltrada está sujeta a diferentes procesos de almacenamiento en la zona no saturada y puede retornar a la atmósfera por evapotranspiración. Por lo anterior es que se distingue infiltración de recarga.

Presión antrópica: Es el efecto en el medio ambiente causado por las actividades humanas.

Recarga: Corresponde al flujo vertical descendente que el alcanza la zona saturada en un acuífero libre, siendo una adición a la reserva de agua subterránea.

Recarga difusa: Recarga que se origina de una infiltración directa que se distribuye sobre grandes áreas en la superficie del suelo.

Recarga focalizada: Recarga que se origina de una infiltración indirecta, es decir posterior a una escorrentía, desde cuerpos de agua superficiales espacialmente delimitados (ej.: ríos, canales o lagos).

Sistema hidrogeológico: Conjunto de componentes y procesos que controlan la circulación de agua subterránea.

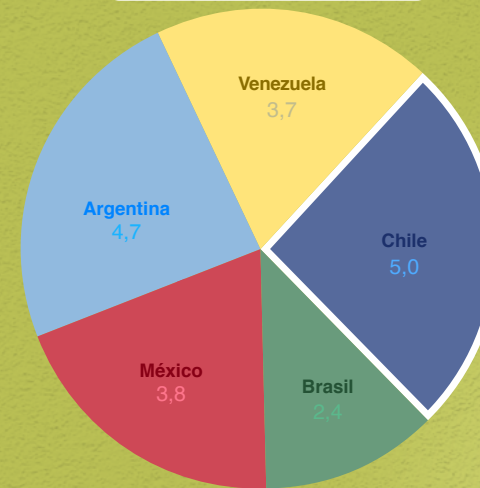
Uso consuntivo del agua: Es el agua que una vez usada, no se devuelve al medio donde se ha captado.

CONSUMO EN CHILE

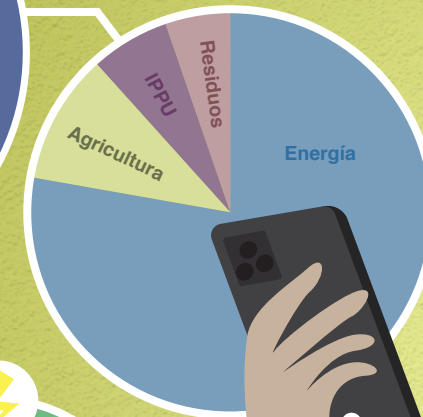
¿Cuál es la realidad de la chilena y el chileno promedio?

Escrito por la arquitecta Constanca Verde. Ilustrado por Ariel Alarcón.

Producción de CO_2 per cápita en Latinoamérica

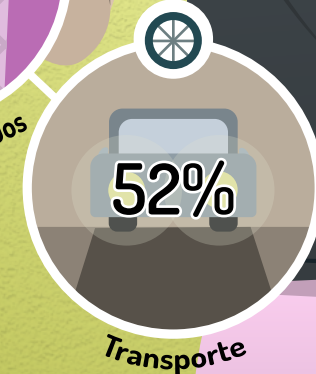
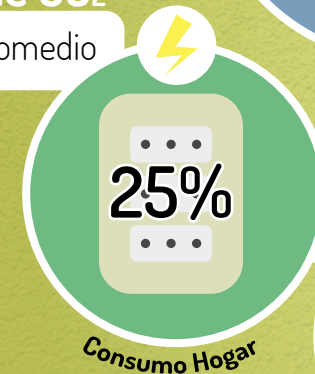


Producción de CO_2 Total (kt) per cápita



Emanaciones de CO_2

de un ser humano promedio



Consumo de Agua

- 125-200 L per cápita (el doble del consumo diario necesario).
- El doble que en Europa (128 L per cápita diario).
- Mayor consumo en Lo Barnechea, Vitacura, La reina y Huechuraba (> 600 L diarios).
- Menor consumo en San Pedro de la Paz, Puerto Montt y Curicó (media de 70 L diarios).

Generación de residuos

- 1,1 kg de desechos diarios per cápita.
- 23 millones de toneladas al año.
- Solo 10% es reciclado o reutilizado.
- Segunda mayor producción de basura diaria (1,15 kg/día) en latinoamérica.

¡Seamos agentes del cambio!

Optar por el uso de bicicleta: existen 369,35 km de ciclovías a lo largo de 33 comunas de la Región Metropolitana.

Separar los residuos en casa y utilizar los puntos de reciclaje disponibles: existen más de 1.000 puntos a lo largo de Chile: rechile.mma.gob.cl/donde-reciclar

Mejorar la educación ambiental: fomentar y participar de proyectos de educación ambiental, tanto en el área pública como privada para lograr concientizar a la población, participando en charlas, talleres, o capacitaciones.

Aprovecha la luz natural y evita el consumo vampiro de electrodomesticos: cocinar con ollas tapadas y cubrir ventanas con cortinas o persianas para evitar fuga de calor.

Reduce y regula tu consumo energético en el hogar: Aprovechar la luz natural, evitar el consumo vampiro de electrodomésticos, cocina con tapa de olla, cubre ventanas con cortinas o persianas para evitar fuga de calor, etc.

Consumir productos de origen local y evitar desperdicios: comprar a granel, cocinar con tallos y hojas, elaborar conservas, etc.

Preferir productos reciclables o reutilizables: encuentra una nueva utilidad en tus residuos antes de desecharlos. Reutiliza telas viejas para hacer bolsas, envases o cartones como organizadores, botellas como maceteros, etc.

ENOS: CAMBIO CLIMÁTICO Y PELIGROS GEOLÓGICOS

Ivo Véliz (Geólogo)

El fenómeno del Niño fue reconocido inicialmente por pescadores de Perú y Ecuador como una corriente cálida que se presentaba en las costas de estos países a principios de la época de navidad. Actualmente, se conoce por ENOS (El Niño Oscilación del Sur), el cual consiste en periodos en que domina una fase fría conocida como “Niña” y una fase cálida conocida como “Niño”, separadas por una tercera fase llamada **fase neutral**.

ENOS se presenta con una periodicidad de entre dos a siete años, afectando principalmente las costas de Sudamérica, Sureste Asiático y Australia. Este produce un calentamiento de entre 1 °C y 3 °C en las aguas superficiales de una gran franja del océano tropical, afectando la temperatura y nivel de las aguas marinas y también otros parámetros relacionados, tales como la temperatura del aire, la presión atmosférica y la intensidad y/o dirección de los vientos alisios (aquellos que circulan desde los trópicos hacia el Ecuador).

En conjunto, todos estos factores afectan a los patrones globales de circulación oceánica y atmosférica, y su alteración tiene como consecuencia lluvias torrenciales y periodos muy húmedos, seguidos de periodos de sequía extrema, así también, calentamiento de las corrientes oceánicas, incluida la de Humboldt. Entre los efectos inmediatos, está la alta mortandad de especies que no logran sobrevivir a los cambios de temperatura del océano y consecuentes pérdidas pesqueras. Ocurre también una mayor incidencia de enfermedades, como el cólera, que se transforman en epidemias difíciles de erradicar; o hambrunas, por falta de productividad agrícola, entre otras consecuencias.

¿POR QUÉ EL CAMBIO CLIMÁTICO Y, EN PARTICULAR, EL CALENTAMIENTO GLOBAL AFECTA AL FENÓMENO DE ENOS?

Debido al aumento en la emisión de gases invernaderos como el dióxido de carbono (CO₂), ozono superficial (O₃), óxidos de nitrógeno (NO_x), metano (CH₄) y compuestos clorofluorocarbonos (CFC), entre otros, se han alcanzado grandes concentraciones de estos

en la atmósfera, lo que genera un aumento constante de la temperatura del planeta, conocida como “calentamiento global”.

Los gases acumulados en la atmósfera retienen el calor proveniente de la radiación, por lo que el constante aumento de gases producido por actividades antrópicas acelera y retiene mayor cantidad de radiación. La radiación retenida es transferida a los océanos, produciendo un aumento de temperatura del agua, lo que a su vez, implica un alza de la temperatura global del planeta.

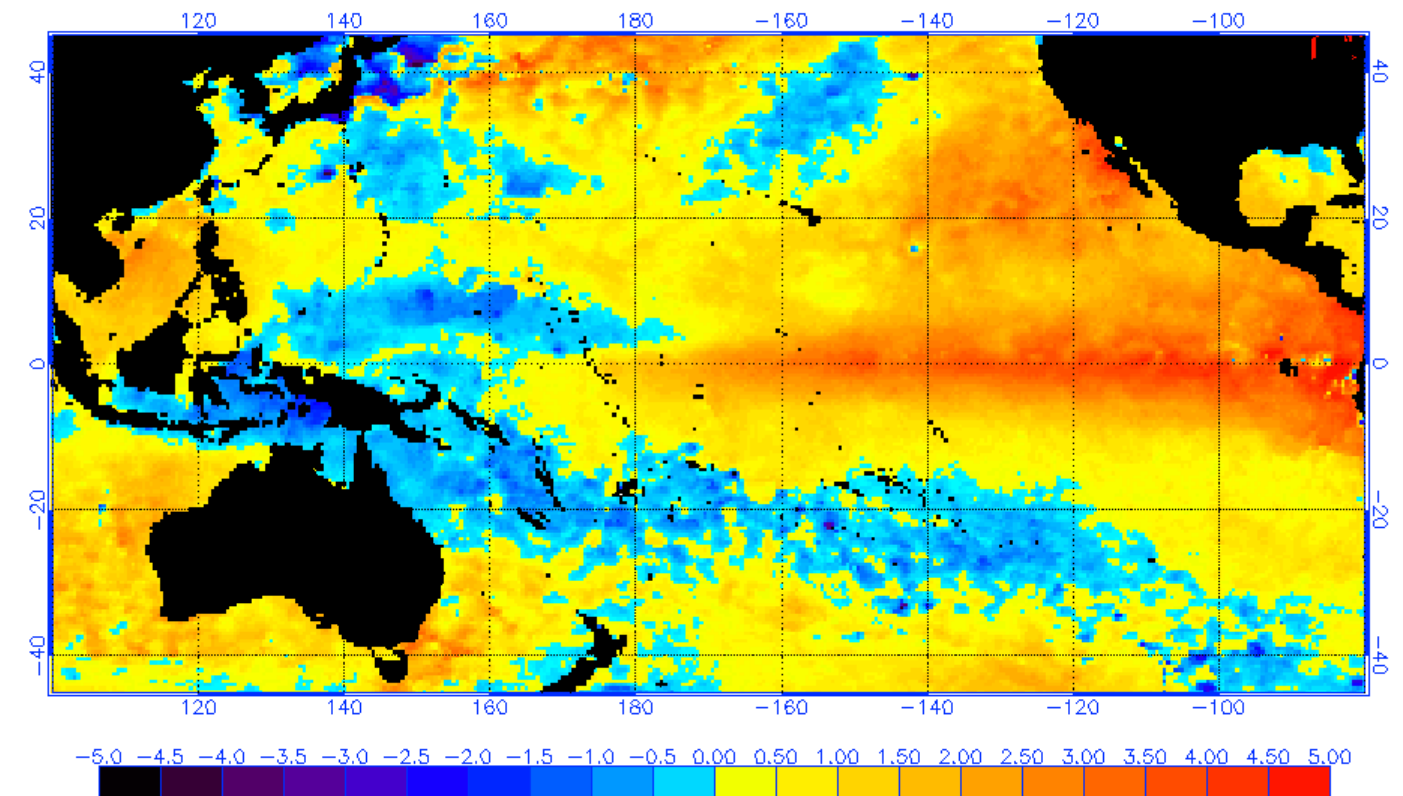
Este aumento de la temperatura a nivel global, y particularmente en la superficie del mar, amplifica los efectos del fenómeno de transmisión de calor entre el Océánico y la atmósfera, ocasionando una oscilación de temperatura más drástica del fenómeno de ENOS. En consecuencia, las intensas precipitaciones producidas por el Fenómeno del Niño, se ven amplificadas por el Cambio Climático, generando una escorrentía superficial anómala, que se traduce en grandes inundaciones y remociones en masa que afectan a distintas regiones del planeta. Así también, con la intensificación del fenómeno de la Niña, se amplifican las sequías y, en consecuencia, el estrés hídrico (cuando la demanda de agua es mayor a la cantidad de agua disponible).

¿CÓMO AFECTARÁ EL CAMBIO CLIMÁTICO A LAS PERSONAS?

El Dr. Scott Power, líder de la Oficina de Meteorología en Australia, asegura que a futuro, el fenómeno de ENOS se seguirá intensificando en respuesta al Cambio Climático. Otros investigadores de la Ocean University de China y de la Universidad de Hawái, concuerdan con esta idea y plantean que su frecuencia, intensidad e impacto en América podría ser cada vez mayor, pensando en un plazo de unas cuantas décadas.

Resulta obvio que nos enfrentamos a diversos peligros geológicos que, si bien existen de forma natural, pueden verse incrementados en respuesta al Calentamiento Global que afecta especialmente a regiones susceptibles al fenómeno de ENOS. Para

NOAA/NESDIS SST Anomaly (degrees C), 10/15/2015



Anomalía de temperatura superficial en el Océano Pacífico el 15 de octubre del 2015.

poder minimizar los riesgos que afectan a la población, es esencial que como sociedad tengamos una percepción real de los diferentes peligros a los que se encuentra expuesta la población.

Para ello, debemos conocer las diferentes zonas susceptibles a inundación, remociones en masa o escasez hídrica. En este sentido, es necesario que exista una planificación territorial preventiva, en que se tengan en cuenta los peligros geológicos e hidrometeorológicos y también considerar la disponibilidad de recursos hídricos para promover un desarrollo urbano sustentable y sostenible.

¿QUÉ CONSECUENCIAS HA TENIDO ENOS PARA CHILE?

A lo largo de los años el fenómeno de ENOS ha provocado intensas inundaciones y diversos eventos de remociones en masa, que han causado miles de damnificados y centenares de víctimas fatales. Uno de los casos más destacados, ocurrió en Antofagasta en 1991. Intensas precipitaciones produjeron un aluvión (remoción en masa tipo flujo, extremadamente rápido) que provocó la muerte de 91 personas y dejó 19 desaparecidos, 70 mil damnificados y 6 mil casas destruidas. Más recientemente, en el año 2006, Concepción se vio afectada por intensas precipitaciones que dejaron la ciudad inundada y, con

ello, 22 personas fallecidas y múltiples daños en infraestructura y viviendas. El último gran evento tuvo lugar en Copiapó en el año 2015, cuando las torrenciales precipitaciones provocaron un aluvión que ocasionó la muerte de 28 personas y dejó 59 desaparecidos, además de numerosos daños por destrucción de viviendas, caminos e instalaciones de uso público.

Chile en conjunto a los países que conforman la CEPAL (Comisión Económica para América Latina y el Caribe) ha generado diversos objetivos para promover un desarrollo económico, social y ambientalmente sostenible de América Latina y el Caribe, uno de los objetivos que tiene como fin adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático es el Objetivo 13 “Acción por el clima”, el cual tiene como fin fortalecer la resiliencia y la capacidad de adaptación a los riesgos relacionados con el clima y los desastres naturales en todos los países. Los países que conforman la CEPAL tienen conocimiento de los diferentes eventos que provocará el Cambio Climático, por lo que, como sociedad también debemos formar una conciencia entorno a ello, de esta manera comprender y analizar los diferentes avisos que nos ha entregado la Tierra.

GESTIÓN SUSTENTABLE DEL AGUA EN CHILE

Camila Musante (Abogada). Red del Buen Vivir.

A la izquierda, Laguna de Aculeo en el 2010. A la derecha, Laguna de Aculeo en el 2020.

Conocida es la situación de estrés hídrico y megasequía que azota a múltiples zonas de nuestro país. El agua, fuente de vida, debe comenzar a ser tratada como un recurso de carácter ambiental que afecta a los diversos elementos que sostienen la vida: suelos, clima, ecosistemas, consumo humano, consumo animales no humanos,

etc. Lo anterior, nos ha llevado al punto de tener zonas de escasez hídrica por explotación desmedida del recurso hídrico, las cuales serían ciertamente una pérdida en materia de justicia ambiental y gestión de recursos naturales.

Para avanzar hacia una administración sostenible de las aguas, debemos incorporar una gestión de

recursos hídricos en instituciones públicas con un enfoque multisectorial. Esto es, **crear una nueva institucionalidad**, como un **Consejo de Recursos Hídricos**, que funcione como órgano multidisciplinario con diversas competencias, sobre la base y paradigma que la problemática del agua es de carácter integral. Trabajaría con comunidades organizadas por cada cuenca hidrográfica, de manera de generar una gobernanza hídrica, con participación en la toma de decisiones públicas tanto a nivel local, regional y nacional.

En un primer paso para conseguir el objetivo anterior, sería relevante generar un **“Plan de gestión de las aguas”**, como un conjunto de alternativas técnicas y económicas viables para abordar esta problemática. Como segundo paso, la elaboración de un **“Diagnóstico inicial para la formulación del Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas hídricas de Chile”**. Este diagnóstico se obtendría en base a la información bibliográfica, estudios precedentes, informes, entre otros, y describiría problemas centrales en las áreas temáticas de: aprovechamiento de recursos hídricos, calidad del agua, cultura del agua, institucionalidad y gobernanza, cambio climático y gestión de riesgos, financiamiento, entre otras.

Por consiguiente, frente a los problemas que aquejan a las cuencas de los ríos, el Consejo debiera estar integrado tanto por gobernadores, consejeros regionales, alcaldes, así como por dirigentes sociales, sindicales, presidentes de juntas de vecinos o líderes de comunidades que gestionarían día a día el recurso hídrico. Así, el marco institucional para afrontar la problemática e implementar alternativas de solución se construiría desde la ciudadanía, que participaría de forma directa en la toma de decisiones, hasta las autoridades, que ejercen un mandato de carácter representativo al haber sido electas por votación popular.

Este Consejo, debiera estar dotado de una normativa que contemple **formas de participación ciudadana e indígena vinculante**. Entre las formas de participación ciudadana, como mínimo debiera incluirse una consulta previa al desarrollo de proyectos con impacto ambiental-hídrico, iniciativas populares para desarrollar proyectos de saneamiento de agua potable en sectores rurales, licitaciones para financiamiento de desarrollo técnico en la gestión de recursos (así avanzamos hacia comunidades auto-gestionadas y auto-capacitadas), entre muchas otras opciones. Por otro lado, **la consulta indígena debiera**

desarrollarse no sólo siendo entendida como un deber internacional impuesto por el Convenio 169 de la OIT, sino más bien, cómo una forma de entender que los pueblos originarios que habitan en Chile tienen una vinculación con el medio que se desenvuelven, que data de tiempos anteriores a la conquista y que permite la sostenibilidad de los recursos que los pueblos utilizan para su beneficio personal.

Pero para que este nuevo modelo de gestión funcione correctamente, es necesario tener como factor vital la **cultura del agua**. Esto quiere decir, que es necesario promover entre los diversos actores de las cuencas (comunidades, organizaciones no gubernamentales, fundaciones, juntas de vecinos, organizaciones sociales, territoriales, comunidades indígenas, autoridades locales, empresas que gestionan el recurso hídrico, entre otros) el valor sociocultural, económico y ambiental del agua, consagrando así en la gestión del recurso hídrico el principio de valoración. El agua es un elemento vital y eje principal de desarrollo social, por ello debemos concientizar y sensibilizar nuevas prácticas y hábitos para su manejo sostenible. Es necesario que la información sobre el valor del recurso hídrico se divulgue correctamente y se implementen programas de educación ambiental destinados a tal efecto. Esta podría ser una de las funciones del Consejo de Recursos Hídricos, junto con la gobernanza justa y sostenible de los recursos naturales. ¿Permitiría un Consejo de Recursos Hídricos el funcionamiento sostenible de los ecosistemas y la biodiversidad, protegiendo los derechos de las generaciones futuras? Que nos importe la respuesta ya es el primer paso; lo que sigue es la acción.

EL CAMBIO CLIMÁTICO

Gea y Terry están compitiendo para ver quién hace más aportes contra el cambio climático. Ayúdalos descifrando los códigos de su conversación. Para hacerlo, debes seguir las siguientes instrucciones:

Código GEA: las páginas con códigos tendrán un símbolo especial (**letra G**) en el número de página. ¡Usa los colores de los códigos para identificar las páginas! El número del código representa la línea del párrafo (desde arriba a abajo) y la letra la palabra (desde izquierda a derecha). Por ejemplo, el código 3D-F se encuentra en la tercera línea y se compone de la cuarta hasta la sexta palabra. En este ejemplo, el código se trata de una frase.

Código TERRY: para buscar los códigos de Terry debes encontrar el artículo (archivo en pdf) que habla sobre cambio climático en el [sitio web](#) de la revista Ciencias de la Tierra, y descifrarlo de la misma forma que con los códigos de GEA. Para contar las líneas, no consideres el título principal ni los pies de figura.

Cuando tengas el diálogo, escríbenos a nuestro instagram [@geologia_ambiental](#) **por interno**. Sortearemos un premio sorpresa entre las respuestas correctas y además una ilustración/caricatura junto a Gea y Terry.

¡Hola **Terry**! Apuesto que yo me preocupo más que tú por la lucha contra el cambio climático.

¡Qué! Ni en tus sueños bebé.

Para empezar, pienso que hay que cuidar a **8B-C** como a **29L-N**.

Pues yo creo que es más importante comenzar a reducir los gases del "**37H-I**".

Eso no lo es todo. ¿Te has preocupado de los efectos de la **10G** y el avance de la **2K**? ¡Necesitamos una **19j-L**!

¡Lo que necesitamos es cambiar nuestra **49K** como **50E** y **52F-K**!

¡Muy bien! Pero para eso hay que **32J-Ñ**. Hace falta una sociedad **13F-G**.

¡Así es! Debemos dar a conocer lo que ha demostrado el **55E-I** y disminuir las **57A-C**.

¿De nuevo con el CO_2 ? Lo que más falta es un nuevo **12J-K**.

Vale vale, que es lo que digo yo.

Veo que los dos somos de los que cuidan el planeta amigo, lo importante es que juntos podemos hacer un cambio.

¡Tienes razón! Nuestra meta al 2030 es reducir la emisión de carbono a la mitad, y al año 2050 a cero.

ENTREVISTA A **MAISA ROJAS**

por Hernán Bobadilla



María Heloisa Rojas – mejor conocida como Maisa Rojas – es geofísica de la Universidad de Chile y directora del Centro de Ciencias del Clima y Resiliencia (CR)2. Sus especialidades cubren la física atmosférica, paleoclima, y el modelamiento regional del clima. Actualmente, ella participa en el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC).

Hernan: Muchas gracias, Profesora, por su presencia. Deseo llevarla por varios temas, pero quisiera empezar con algunas preguntas de carácter más bien biográfico. Primero, deseo saber cuales fueron los estímulos que la motivaron a estudiar las materias de la física atmosférica y el modelamiento climático.

Maisa: Eso llegó más o menos tarde en la vida. En el colegio decidí que quería estudiar física. Ya estando en la carrera de física, me di cuenta de que quería hacer investigación, pero quería dedicarme a algún área en que la vinculación con problemas más sociales fuese un poco más evidente que en la física pura. Así que pensé que me interesaría trabajar en temas de contaminación atmosférica, que tienen que ver con la física, pero son también problemas ambientales importantes de resolver. Y así es cómo llegué al departamento de geofísica [de la Universidad de Chile]. Al final nunca me he dedicado a ese tema [ríe] y me dediqué más bien – dentro de las ciencias atmosféricas – a temas un poco más teóricos, de dinámica y de la influencia de la atmósfera en su gran escala sobre el clima. Y así empecé a estudiar el clima. Ya dentro del estudio del clima, he trabajado muchos años en “paleoclima”, para entender la evolución del

clima en una escala más bien larga, aunque geológicamente corta porque trabajo en el cuaternario [últimos 2.5 Millones de años]. Pero igual me interesa la evolución de la atmósfera a lo largo de toda la existencia del planeta. Y bueno, como trabajo en cambio climático, he tenido que incursionar en todos los otros aspectos del cambio climático, sobre todo desde que soy directora del (CR)2 donde abordamos la parte física, biológica, química, pero también humana del cambio climático.

H: El año pasado se publicó un artículo en el que usted como coautora habla de los distintos factores que afectan las decisiones de estudiantes mujeres en la universidad respecto de elegir carreras geocientíficas. ¿Podría comentarnos qué factores afectaron positiva y negativamente su decisión de estudiar la carrera de geofísica?

M: Efectivamente, junto a algunas colegas, se hizo un trabajo con algunas entrevistas a jóvenes que habían tomado la decisión de entrar a geofísica o geología [en la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile]. Hay varios factores que afectan sus decisiones, pero hay un factor que es bien importante que es **el ambiente en las distintas**

carreras. De hecho, esa fue una de las razones por las que decidí estudiar física en la Facultad de Ciencias, con un ambiente más pequeño, en el que uno se podía conocer, y por lo tanto mucho más amable.

Hay otro aspecto que afecta la decisión de estudiantes mujeres a entrar a las geociencias. Nos hemos dado cuenta de que en una facultad donde las mujeres siguen estando bastante subrepresentadas – tanto a nivel de estudiantes como a nivel de académicos – **cuando hablamos sobre resolver problemas complejos, como lo son el cambio climático o en general problemas de sustentabilidad, aparecen muchas mujeres de forma natural.** Parece que hay un tema de empatía con ese tipo de problemas que entusiasma a muchos estudiantes, pero en particular a mujeres, porque requieren de un **trabajo más colaborativo e interactivo para pensar en las interdependencias.** Y en ese sentido, las geociencias parecen ser pequeños oasis dentro de una facultad históricamente reconocida como muy masculinizada.

H: Usted decidió empezar a estudiar las dinámicas del clima en los años 90s. Me pregunto cómo percibía usted las discusiones respecto del cambio climático en aquel entonces, antes de ser la experta que es hoy.

M: Probablemente – porque yo en esa época ya estaba haciendo mi doctorado y estaba estudiando la atmósfera – veía a la atmósfera como el componente más relevante para entender el cambio climático. Hay que recordar que las ciencias atmosféricas tienen un desarrollo muy amplio gracias al interés en meteorología. De hecho, muchos de los modelos atmosféricos existentes se desarrollaron por intereses meteorológicos. Así que, obviamente, la atmósfera es relevante para entender el cambio climático. Pero con los años me he dado cuenta de que hay otros componentes muy importantes, no sólo para entender el fenómeno, sino también para proponer soluciones. Así que **el fenómeno del cambio climático lo he empezado a ver progresivamente de forma más compleja.**

H: Ahora quisiera hablar sobre sus campos de investigación. Una de sus especialidades es el paleoclima. Quisiera que nos comente por qué es importante estudiar el paleoclima.

M: Bueno, hay muchas razones por las cuales es importante estudiar el paleoclima. Por un lado, a

mi me parece fascinante entender cómo funciona el sistema Tierra en su conjunto. Te mencioné que cuando comencé a estudiar, yo estudiaba solamente la atmósfera. Me parecía que solamente esa componente del sistema climático y del sistema Tierra era la más importante. Pero en la medida en que fui aprendiendo sobre cambio climático, me fui dando cuenta de que también son importantes otros componentes, como la hidrósfera, la criósfera, la litósfera, y la biósfera. Y es en el estudio de la evolución del clima en el largo plazo donde todas estas componentes y sus interacciones se hacen más evidentes. Por lo tanto, esa es una de las razones por la cual es importante estudiar paleoclima: porque es ahí donde aprendemos de mejor manera cuales son todas las interacciones complejas que ocurren entre los distintos componentes del sistema climático y cuáles son las retroalimentaciones que amplifican o amortiguan ciertas perturbaciones a este sistema.

Otra razón por la cual es importante estudiar el paleoclima es que el estudio del pasado nos da la oportunidad de mirar el mundo en condiciones muy distintas, que no son como las que hemos vivido en los últimos diez mil años o doscientos años. Pero este conocimiento nos puede dar luces respecto de hacia dónde nos encaminamos si tomamos una u otra decisión hacia el futuro. En ese sentido, permite estudiar el contexto en el cual se está dando el cambio climático.

Y la otra gran contribución del estudio del paleoclima es poder decir que lo que estamos observando hoy en día, aspectos del cambio climático antropogénico, no tienen precedente en los últimos doscientos años, en los últimos cinco mil años, en los últimos quince mil años, y en algunos casos, los últimos tres millones de años.

H: Dado que el estudio del paleoclima involucra un fenómeno que uno no puede observar de forma directa, me pregunto cuales son las metodologías y recursos que utiliza para estudiarlo.

M: Como en todas las ciencias, estudiamos el clima presente mediante la observación. Tenemos termómetros, pluviómetros, satélites, entre otras herramientas, que nos indican cómo está evolucionando el sistema climático hoy en día. [Pero uno no puede observar el paleoclima de forma directa]. Esa es otra razón por la que yo hallo fascinante estudiar paleoclima: La manera

tremendamente ingeniosa que tienen los geólogos, los paleoclimatólogos, y los paleoecólogos de observar la naturaleza y poder interrogar – con la evidencia que hoy existe en el registro geológico – qué es lo que ha ocurrido en el pasado. Probablemente el método más conocido son los anillos de árboles. Un árbol – y en general, la vida – responde al clima, a precipitaciones y a la temperatura. En este sentido, el ancho de estos anillos nos puede ayudar a reconstruir a veces las temperaturas y precipitaciones pasadas. Los testigos de hielo nos muestran la estructura del hielo en un glaciar o en un manto de hielo como en Antártica o Groenlandia, y también nos pueden indicar aspectos del paleoclima, como la concentración de gases de efecto invernadero en el pasado. Registros de fondo de lago, estratigrafía, registros del fondo del mar... hay una cantidad realmente insospechada y tremendamente ingeniosa de formas de interrogar a la naturaleza para que nos indique cómo era el clima en el pasado.

H: Pero usted es además experta en modelamiento climático...

M: Verdad [ríe]. De lo que anteriormente dije, yo no hagonada de eso. Más bien yo siempre he trabajado con modelos. Y la gracia de trabajar con modelos es que, con un mismo modelo, se puede estudiar el pasado, el presente y el futuro. Yo hago las tres cosas. Y esto es complementario. Uno de los principios de las ciencias del clima es que adquirimos nuestro conocimiento sobre el clima de varias formas: observándolo, a través de estudios teóricos de procesos, o a través de la modelación. **Y cuando tenemos muchas líneas de evidencia, independientes que nos están indicando hacia una misma respuesta, podemos decir con mucha certidumbre que el clima está cambiando y que somos los humanos los responsables en gran medida de los cambios que hemos observado en los últimos 150 años.** Estos son los resultados de las evaluaciones que hace, por ejemplo, el Panel Intergubernamental del Cambio Climático.

H: Como usted comentaba, el clima es un fenómeno muy complejo. Por ello, me pregunto cuál es el grado de certidumbre que tienen los resultados obtenidos con modelamiento.

M: Pues, los modelos se han desarrollado y han evolucionado de una manera muy significativa en

las últimas décadas. Se han ido complejizando y se han transformado en modelos que van más allá de solamente la atmósfera. Se han transformado en modelos del sistema Tierra completo, incluyendo el ciclo del carbono, el ciclo del nitrógeno, biogeoquímica de los océanos, etcétera. En gran medida estos modelos han evolucionado justamente para responder la pregunta del cambio climático. Obviamente, los modelos tienen sus falencias. Pero yo creo que lo importante es lo que te mencionaba antes. Cuando una institución como el IPCC, a través de sus informes de evaluación, llega a la conclusión de que el cambio climático es inequívoco, de que es un hecho, y de que la gran parte del calentamiento que hemos observado se puede atribuir a la acción directa humana, esa conclusión no se saca de un sólo modelo. Se saca de múltiples modelos, de distintos tipos de observaciones, y de nuestro entendimiento teórico del tema.

H: Usted trabaja para el IPCC. ¿Nos puede contar sobre su rol en dicha organización?

M: Sí, esto es bien importante. El IPCC es una organización que fue creada por Naciones Unidas y la Organización Mundial de Meteorología hace ya más de treinta años. Tiene como rol hacer evaluaciones sistemáticas sobre todo lo que sabemos sobre el cambio climático. **El IPCC no realiza investigación. Tampoco monitorea el clima. Lo que hace es evaluar la evidencia científica existente.** Yo aporté al Grupo de Trabajo 1, que ve la parte física. El trabajo para el IPCC es un trabajo voluntario, ad honorem. Un informe puede demorar tres o cuatro años en producirse. Así que es un compromiso de largo aliento. En mi caso, yo fui autora del capítulo de paleoclima del quinto informe, publicado en el año 2013. Ahora se está trabajando en el sexto informe, el que se va a empezar a publicar el próximo año y yo coordino el capítulo 1, el cual da el contexto al informe completo. Así que mi rol es el de “autora líder coordinadora” (“coordinating lead author”).

H: ¿Tiene una estimación de la cantidad de investigadoras e investigadores de Sudamérica o en particular de Chile que trabajan para el IPCC?

M: Es bastante poco. El IPCC tiene tres grupos de trabajo. El grupo 1 aborda la parte física. Ahí somos dos autoras chilenas, Laura Gallardo y yo. En el grupo

2, que aborda los impactos del cambio climático, vulnerabilidad y adaptación, hay tres autores chilenos: uno de la Universidad de Chile, otro de la Universidad Católica, y Laura Ramajo del Centro de Estudios Avanzados en Zonas Áridas (CEAZA). Y en el grupo 3, que aborda las opciones de mitigación, creo que hay uno o dos autores chilenos. Así que creo que **somos siete en total quienes en esta ronda estamos aportando desde Chile.**

Respecto de América Latina, en el grupo 1 somos como 300 investigadores en total y yo creo que **debemos ser unos 15 o 20 autores latinoamericanos**, más o menos. Pero en general poco. La mayoría de los autores son europeos o de Estados Unidos. Y eso es un problema porque los informes deben [...] ser balanceados en la expertise y conocimiento regional. Por muy experto que sea un autor que vive en Alemania, Estados Unidos, o Canadá, es imposible que sepa todo lo que se hace en nuestra región. Por eso creo también que es importante que más científicos participen. Es un trabajo muy arduo, son muchas horas de dedicación. En ciertas etapas, yo le dedico el 80% de mi tiempo a los informes del IPCC. Pero también es una enorme oportunidad de aprendizaje respecto de cómo se realizan estas evaluaciones con los colegas con quienes uno está trabajando a diario.

H: ¿Cuáles cree que son las causas de estas diferencias de representación regional?

M: Una causa evidente es que hay menos científicos reconocidos en estos lados del mundo. Sin embargo, el IPCC está haciendo un esfuerzo por tratar de balancear la representación de las distintas regiones. Lo otro es que hay un proceso de nominación de investigadores por país [...] Con estas nominaciones, El IPCC tiene que armar los grupos de trabajo, y los tiene que armar con expertise que pueda cubrir los temas que aborda cada capítulo. Si los países no nominan, entonces uno no tiene cómo escoger a sus investigadores. Así que ahí hay también un rol de los países: que se preocupen de nominar a sus investigadores, de nominar gente joven, de nominar mujeres, para que participen en esta tarea.

H: ¿Qué se puede decir respecto de las dinámicas climáticas para las próximas décadas en Chile? ¿Qué es lo que indican los modelos y su investigación, a escala bien macro?

M: Está más o menos claro que la parte centro-sur del país se va a secar. Lo digo porque lo hemos observado: Los datos nos indican que las precipitaciones en las últimas décadas han bajado. [En particular] la última década la hemos denominado la “mega-sequía” en la zona centro-sur del país, la sequía más extensa en el tiempo y también en el espacio de la cual tenemos registro. Además, tenemos estudios de atribución: Parte de esta mega-sequía ya la podemos atribuir a la acción humana [...] Y tenemos las proyecciones futuras, que nos están diciendo, hace ya muchos años, que la tendencia se mantiene, aunque las proyecciones probablemente son menos severas de lo que ya hemos observado. Esto es obviamente una mala noticia. Pero la buena noticia es que tenemos un buen grado de certidumbre. Esto nos debería permitir tomar decisiones mejor informadas. En Magallanes las proyecciones dicen que las precipitaciones deberían aumentar. Y eso se está (más o menos) observando, pero no es una señal demasiado fuerte. La región donde no sabemos qué es lo que va a pasar es en el Altiplano porque tenemos pocas observaciones y porque los modelos indican resultados contradictorios.

H: Y respecto de la zona central, ¿cuáles son las decisiones a escala política que podemos tomar, como población pero también de forma individual?

M: Bueno, la falta de agua tiene un impacto sobre otros varios sistemas, tanto físicos como humanos. Tiene un efecto, por ejemplo, sobre la agricultura, sobre nuestros bosques, sobre acceso al agua, y sobre un aumento en los incendios forestales. Por lo tanto, en todas esas áreas, las decisiones que se tengan que tomar a través de los planes de adaptación sectorial, debieran incluir este hecho de la causa. Pero esas decisiones no las vamos a tomar nosotros en el (CR)2 ni yo como climatóloga. Sino que las deberán tomar quienes desarrollen los planes de adaptación [...]

H: ¿Y hay algo que podamos hacer respecto de revertir estas dinámicas?

M: La única manera que tenemos de impedir que estos impactos sean aún mayores, es limitar el calentamiento. Esto implica dejar de emitir gases de efecto invernadero a la atmósfera. Ésta es una tarea titánica, pero es una tarea con la cual estamos comprometidos a escala nacional y mundial. Todos

los países firmaron el acuerdo de París y por lo tanto tienen ese compromiso. Y más allá del acuerdo de París, muchos de los países se han comprometido, tal como sugiere la ciencia, a ser carbono-neutrales en el año 2050. Ese es el camino que tenemos que tomar como planeta para limitar el calentamiento global. Después del tremendo anuncio que hizo China en septiembre, que por primera vez habla de carbono-neutralidad para el año 2060, lo acaba de secundar Japón. Y Japón nunca había querido comprometerse. Así que, en ese sentido, hay buenas noticias.

Para el caso del agua en Chile, obviamente [la medida] es frenar el calentamiento. **Pero lo otro es un cambio bien importante en la gestión del agua.** Tenemos evidencia de que la mayor cantidad de problemas hídricos que ya tenemos no se deben a que han disminuido las precipitaciones, sino a que estamos gestionando mal el agua.

H: Profesora, estamos llegando al final de la entrevista, pero quisiera antes tocar un poco la contingencia mundial. ¿Existe una relación entre el cambio climático y la emergencia de episodios pandémicos como el que estamos viviendo?

M: Hablando bien en general, yo diría que sí. Yo diría que lo que estamos observando en los últimos años, a través de estas múltiples crisis que hemos visto – cambio climático, la pandemia, la crisis de biodiversidad, la crisis social y económica – son todos síntomas de que estamos haciendo mal las cosas en el planeta [...] Debemos entender estas crisis, no como problemas aislados, sino que interconectados. Y con este entendimiento, vamos a poder enfrentar las crisis de una manera más eficaz.

Hernán Bobadilla es investigador del Proyecto Anillo “Knowledge Production in Contemporary Chile: a Multidisciplinary Study of Science in the Making” (ANID-PIA-Anillo SOC180039).

PALABRAS FINALES

Chile es un país visceralmente geológico. Emana roca fundida y fragmentada en cientos de millones de trozos incandescentes, que atraviesan los valles e incluso las fronteras, carbonizando, ahogando el viento, perfilando una geografía sinuosa e impredecible. Meteorizada, allanada por el hielo y pulida de avalanchas, nutrida de aguas eternas que van siendo ya fortuitas. Víctima de estremecimientos que congelan el tiempo en la memoria y agrietan las certezas que nos sostienen, pero que a la vez liberan un cálido suspiro que nos dice que todo va a estar bien.

Chile es volcanes, glaciares, humedales, ríos, lagos, energía geotérmica. Es suelo y es agua. Pero también es sismos, aluviones, lahares, inundaciones, contaminación y sequía.

Y ahora también somos calentamiento global.

Chile es un país que no cuenta con una planificación territorial vinculante con la realidad geológica, ecosistémica y cultural del país. Es necesario un paradigma cultural diferente, que reconozca nuestra identidad geológica y las necesidades y urgencias vigentes. Este paradigma debe verse reflejado en las acciones de quienes dirigen nuestro país y esperemos que en la nueva Constitución política de Chile.

Luna Pérez
Equipo editorial Geohuellas

Geohuellas

El medioambiente a través de la geología

Número 3 | Enero 2021



GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
Sociedad Geológica de Chile

Valentín Letelier #20, Santiago, Chile

