

GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL SOCIEDAD GEOLÓGICA DE CHILE

GEOHUELLAS

EL MEDIOAMBIENTE A TRAVÉS DE LA GEOLOGÍA Y EL ARTE NÚMERO 5 / 2023

A woman with long dark hair, an elderly woman with short white hair, and a small child are standing on a rocky, snow-dusted mountain peak. They are looking out over a vast valley where a city is nestled, surrounded by mountains. The scene is bathed in the warm, golden light of a sunrise or sunset, with a soft glow over the city and the surrounding landscape.

EL AGUA EN TIEMPOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

HETEROGENEAS RELACIONES CON EL MEDIO

GEOLOGÍA FORENSE EN CHILE: UN APORTE A LA JUSTICIA Y LAS
CIENCIAS AMBIENTALES (PAG. 11)

UN GEÓLOGO POR MUNICIPIO: EL CASO COLOMBIANO (PAG. 18)

EL AGUA EN SUS MÚLTIPLES DIMENSIONES

ENTREVISTA CON JOSEPH JULCA MENDOZA:

NUEVO TRATADO DE ALTA MAR (ONU) (PAG. 22)

DIÁLOGOS A (DES)TIEMPO EN UNA INTERFAZ ARTE — CIENCIA (PAG. 29)



GEOHUELLAS N°5

El medioambiente a través de la geología y el arte

DIRECTOR EDITORIAL

Hernán Bobadilla Rodríguez

EQUIPO EDITORIAL

Kristián Agurto Velásquez

Ariel Alarcón Veloso

Hernán Bobadilla Rodríguez

Catalina Buvinic Ureta

Erick Cifuentes Pino

Paulina Cortez Rivera

Catalina Saldías Innocenti

DISEÑO EDITORIAL E ILUSTRACIÓN

Ariel Alarcón Veloso

WWW.SOCIEDADGEOLOGICA.CL/GEOLOGIA-AMBIENTAL

 @GGA_CHILE

 @GEOLOGIA_AMBIENTAL

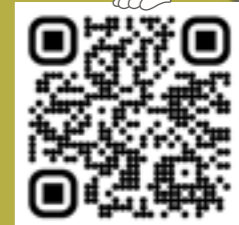
 GGAMBIENTALCHILE@GMAIL.COM

ÍNDICE DE CONTENIDO

- PAG. 4 **EDITORIAL GEOHUELLAS QUINTA EDICIÓN**
EQUIPO EDITORIAL
- HETEROGÉNEAS RELACIONES CON EL MEDIO**
- PAG. 7 **OPINIÓN: LA PRECAUCIÓN NO ES PARANOIA**
HERÁN BOBADILLA RODRÍGUEZ
- PAG. 9 **ESTRATEGIAS TRANSDISCIPLINARIAS DE GOBERNANZA LOCAL**
FELIPE ORELLANA SOLAR Y JAVIERA SAAVEEDRA CANGINO
- PAG. 11 **GEOLOGÍA FORENSE EN CHILE: UN APORTE A LA JUSTICIA Y LAS CIENCIAS AMBIENTALES**
KRISTIÁN AGURTO VELÁSQUEZ
- PAG. 14 **ZONAS DE SACRIFICIO EN CHILE: ACTIVIDAD MINERA**
NILDA LAY GALLEGUILLOS
- PAG. 17 **OPINIÓN: MARTE DESPUÉS, LA TIERRA PRIMERO**
JOSÉ CABELLO LECHUGA
- PAG. 18 **UN GEÓLOGO POR MUNICIPIO: EL CASO COLOMBIANO**
CLEMENCIA GÓMEZ GONZÁLEZ
- EL AGUA EN SUS MULTIPLES DIMENSIONES**
- PAG. 22 **ENTREVISTA A JOSEPH JULCA MENDOZA: NUEVO TRATADO DE ALTA MAR (ONU)**
ERICK CIFUENTES PINO
- PAG. 25 **EL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA EN LA SEGURIDAD DEL AGUA**
PAULINA CORTEZ RIVERA
- PAG. 27 **¿TE HAS PREGUNTADO QUÉ EDAD TIENE EL AGUA QUE CONSUMES Y USAS?**
CATALINA SALDÍAS INNOCENTI
- PAG. 29 **DIÁLOGOS A (DES)TIEMPO EN UNA INTERFAZ ARTE – CIENCIA**
CATALINA BUVINIC URETA
- PAG. 33 **POEMA A LA TIERRA, EL MIEDO Y LA ESPERANZA**
ARIEL ALARCÓN VELOSO
- PAG. 34 **ENTREVISTA A VALERIA RUDLOFF: COORDINADORA EJECUTIVA DEL MUSEO DEL AGUA DE LA UNIVERSIDAD DE O'HIGGINS**
HERNÁN BOBADILLA RODRÍGUEZ
- PAG. 38 **GUÍA DE AUTORES**

¿TE INTERESA LA GEOLOGÍA?

Si quieres saber más de nosotros o te gustaría unirse a nuestro grupo, puedes escribirnos a ggambientalchile@gmail.com. Para conocer nuestros números anteriores, puedes visitar nuestro sitio web en sociedadgeologica.cl/documentos-geologia-ambiental o escaneando el código QR ->



¡BIENVENIDAS Y BIENVENIDOS A ESTE QUINTO NÚMERO DE GEOHUELLAS!

Estamos muy contentas y contentos de poder seguir trayendo a ustedes esta revista, seis años después de la publicación de su primer número. Para aquellas y aquellos que no nos conocen, Geohuellas es una revista que trata temas medio ambientales desde las ciencias de la Tierra. Esta revista es una de varias iniciativas desarrolladas por el Grupo de Geología Ambiental de la Sociedad Geológica de Chile. Nuestro equipo editorial está conformado por voluntarias y voluntarios con diversas habilidades en ciencias de la Tierra, trabajando desde distintas partes de Chile y el mundo. Dado el carácter voluntario de nuestro trabajo, muchas personas han llegado a contribuir a Geohuellas, de alguna u otra forma, en algún momento de su existencia. Nuestro equipo editorial desea agradecer a cada una de estas personas. ¡Sin ustedes, no podríamos haber llegado hasta aquí!

En esta edición, hemos preparado contribuciones de diversa naturaleza: seis artículos, dos columnas de opinión, dos entrevistas, dos poemas, y una conversación ficcionada. Para poder navegar esta diversidad, es útil distinguir dos líneas temáticas en esta edición de Geohuellas. En una primera línea, abordamos **las heterogéneas relaciones que los seres humanos establecemos con nuestros entornos**. Por ejemplo, Nilda Lay Galleguillos nos relata sus experiencias con zonas de sacrificio en territorios de pueblos originarios Lickanantai. En los textos de Clemencia Gómez González y de Felipe Orellana Solar junto a Javiera Saavedra Cancino, se destaca el rol crucial que la geología juega en la gobernanza local de los pueblos. En su artículo, Kristian Agurto Velásquez nos explica el rol de la geología forense en la resolución de delitos medioambientales. En su columna de opinión, José Cabello Lechuga nos recuerda que debemos estrechar la relación con nuestro planeta antes de pensar en colonizar otros planetas. Finalmente, Hernán Bobadilla Rodríguez nos recuerda que tomar medidas precautorias respecto de desastres ambientales no debe conducir a actitudes paranoicas.

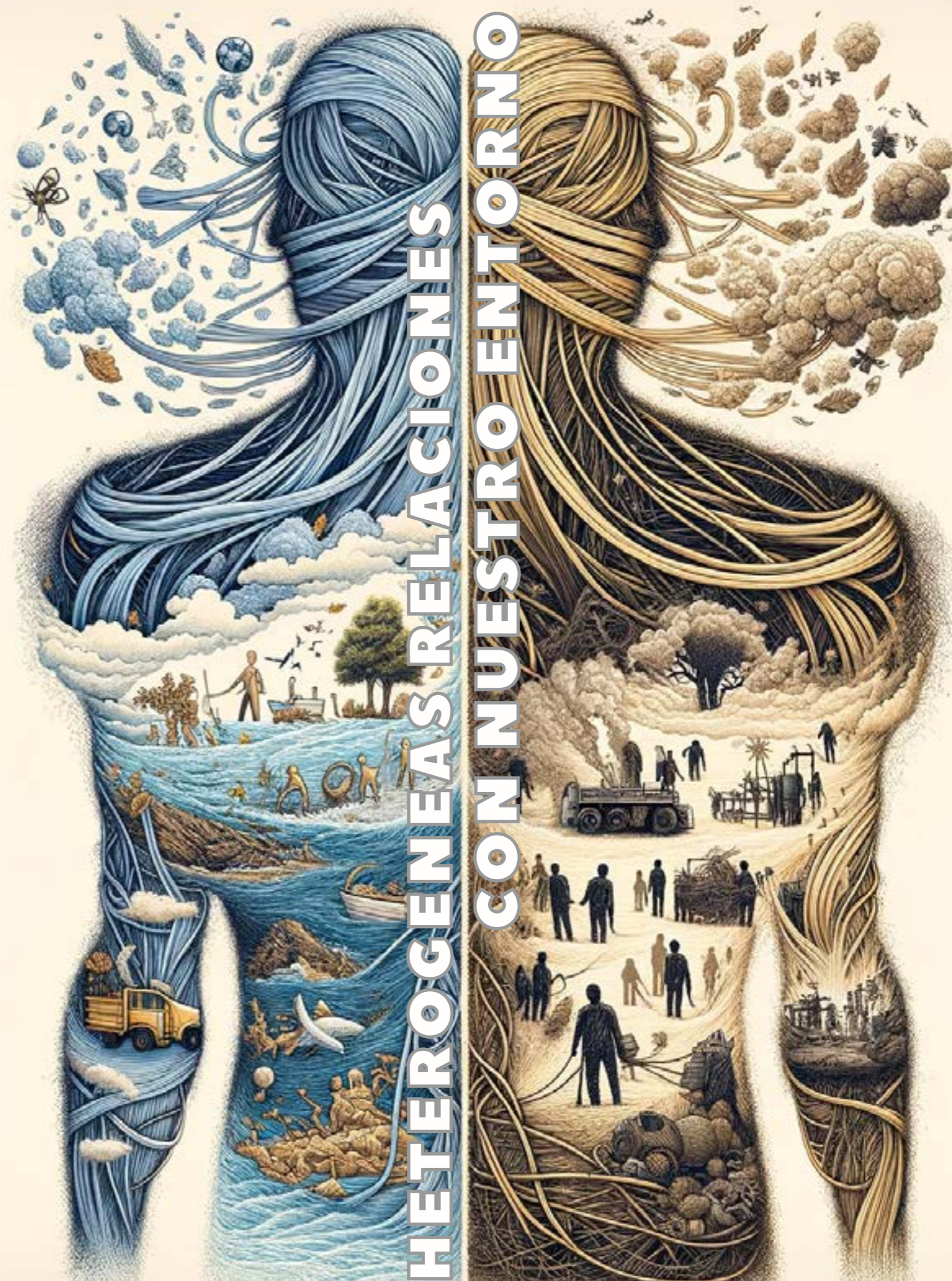
La segunda línea temática es la de **el agua en múltiples sentidos: como recurso, hábitat, objeto de estudio y de admiración**. Paulina Cortez Rivera aborda el agua como recurso vital y nos muestra como la tecnología nos ayuda en su gestión. Erick Cifuentes Pino explora junto a su entrevistado, Joseph Julca Mendoza, la importancia de los océanos en el contexto del Nuevo Tratado de Altamar de la ONU. Catalina Saldías Innocenti nos habla sobre la edad del agua, cómo medirla

y sus aplicaciones en problemáticas ambientales actuales. Hernán Bobadilla Rodríguez conversa sobre el agua en varias dimensiones con Valeria Rudloff, coordinadora ejecutiva del Museo del Agua de la Universidad de O'Higgins. Y Catalina Buvinic Ureta posiciona al agua como fuente de inspiración en su conversación "ficcionada" con las artistas Ximena Aguilar Vega y Camila Berdehle Ruiz.

En esta edición, hemos además querido reconocer **el rol que el arte juega en cultivar nuestra relación con el medio ambiente**. Por ejemplo, Valeria Rudloff nos habla enérgicamente de la importancia del arte en su carrera y en la educación científica. Por su parte, Ximena Aguilar Vega y Camila Berdehle Ruiz nos hablan de su producción artística motivada por sus interacciones con el agua. Finalmente, Ariel Alarcón Veloso nos regala dos poemas que ponderan el miedo y la esperanza respecto de la Tierra.

¡Muchas gracias
por leernos!

Cordialmente
Equipo editorial, Geohuellas





OPINIÓN: LA PRECAUCIÓN NO ES **PARANOIA**

por Hernán Bobadilla Rodríguez

Las incertezas respecto de potenciales desastres medioambientales suelen justificar la toma de medidas precautorias. Sin embargo, debemos evitar caer en actitudes paranoicas respecto de estas incertezas.

La incertidumbre es una componente omnipresente e ineludible de nuestras vidas. Si esperásemos a tener plena certidumbre para actuar, permaneceríamos inmóviles. En pos de evitar esta parálisis, tendemos a aceptar información incompleta, imprecisa, e incluso incorrecta, para motivar nuestras acciones. En tiempos como los de hoy, de gran acceso a la información (y desinformación), incontables perspectivas respecto del futuro se presentan como candidatas para guiar nuestras decisiones, aprovechándose de las ocasiones que la incertidumbre genera. Paradójicamente, varias de estas perspectivas son lo suficientemente desoladoras como para provocar ansiedades que nos vuelven a poner en un estado de parálisis. Entre estas perspectivas de futuro, pocas son responsables de generar tanta ansiedad como aquellas asociadas al cambio climático.

Nuestro entendimiento del clima y su evolución a escala global posee grados variables de incerteza. Para efectos de ilustración, consideremos el informe “Cambio Climático 2021” del Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC). El informe posee una primera sección dirigida a los responsables políticos para guiarles en su toma de decisiones. En ella, se enuncian varias afirmaciones respecto del sistema climático, matizadas con estimaciones de probabilidad basadas en investigaciones científicas (todas destacadas en cursiva). Expresiones tales como “virtualmente seguro”, “más probable que no”, y “extremadamente improbable” (entre otras) representan el nivel de confianza asignado a las varias afirmaciones sobre el cambio climático. Por ejemplo: “Es virtualmente seguro que el Ártico continuará calentándose por sobre la temperatura de la superficie terrestre, con un nivel de confianza alto por encima de dos veces la tasa de calentamiento global.”

Los responsables políticos deben encontrar maneras de ponderar los distintos grados de incerteza respecto de futuras catástrofes ambientales para tomar decisiones. Sin embargo, en el caso del cambio climático, los responsables políticos tienen un estrecho margen de maniobra: Las incertezas existen, pero no son amplias. Varios acontecimientos catastróficos son calificados como virtualmente seguros o de alta confianza a probables o de mediana confianza. Estas estimaciones justifican los grandes esfuerzos y sacrificios que responsables políticos alrededor del mundo proponen para mitigar la producción de gases de efecto invernadero derivados de actividades humanas. Sin

embargo, **no es obvio cómo los responsables políticos debiesen proceder en casos de potenciales catástrofes ambientales con un mediano a alto grado de incertidumbre.**

Este problema ha motivado una gran producción de ideas y teorías, todas complejas y con varios matices, cuya implementación varía según el contexto. En este artículo, sólo deseo discutir un aspecto perteneciente a una familia de criterios para tomar decisiones bajo incertidumbre. Los criterios que deseo discutir suelen ser englobados en lo que se denomina como **“Principio de Precaución”**. En las últimas décadas, este principio se ha transformado en una consideración central al momento de tomar decisiones de gran envergadura que involucran un alto grado de incertidumbre. En particular, el principio cumple un rol crucial en política y gestión ambiental, contexto en el cual las incertezas son varias y los potenciales daños severos e incluso irreversibles. A grueso modo, el principio de precaución indica que, aun cuando no exista certeza respecto de la ocurrencia de una potencial catástrofe, se deben tomar medidas para evitar dicha catástrofe o reducir sus impactos. En palabras simples: **Más vale prevenir que lamentar.** Esta consideración básica deja amplio espacio para discutir aspectos de implementación y justificación de decisiones. Por ello, es preferible hablar de una pluralidad de principios de precaución, los que pueden variar en sus prescripciones dependiendo del contexto.

Uno de los aspectos que amerita una discusión enfocada es el umbral mínimo de evidencia que justifica la consideración de potenciales catástrofes en la toma de decisiones. Para ponerlo en palabras simples, **el principio de precaución no pretende que tomemos precaución respecto de catástrofes meramente imaginables.** Más bien, el principio aborda la toma de decisiones respecto de catástrofes plausibles, aun cuando éstas permanezcan inciertas. En este sentido, un aspecto central para la implementación del principio de precaución es la definición de aquellas condiciones de conocimiento o evidencia que deben ser satisfechas para legitimar la consideración de escenarios potenciales en los contextos de toma de decisiones. La definición de dichas condiciones determina si nuestras acciones son realmente precautorias o más bien paranoicas.

Una intuición ampliamente discutida en la literatura es que **mientras más dañina sea una potencial catástrofe, menor certeza respecto de la catástrofe es suficiente para justificar la adopción de medidas**

precautorias. En otras palabras, se propone una relación inversa entre la magnitud del potencial daño y la cantidad/cualidad de evidencia que justifica la precaución. Esta intuición implica que no existe un estándar universal respecto del mínimo de evidencia que debe ser provisto para aplicar principios de precaución. Cuanta evidencia es necesaria dependerá del alcance y magnitud de la potencial catástrofe. Sin embargo, cabe preguntarse cuál es la real extensión de esta intuición. Después de todo, si se lleva esta intuición al extremo, una catástrofe absoluta no requeriría evidencia alguna para justificar acciones precautorias. Y es precisamente en este contexto que nuestras ansiedades podrían justificar ilimitada precaución sin evidencia, utilizando supuestas catástrofes absolutas como excusa.

Para evitar que nuestras ansiedades tomen control sobre nuestras decisiones es necesario revisar el espectro de peores casos científicamente informados. En el informe “Cambio Climático 2021” del IPCC, la metodología adoptada es el estudio científico de “escenarios” para caracterizar posibles futuros climáticos. Cada escenario simula el despliegue de las dinámicas climáticas bajo distintas hipotéticas configuraciones socioeconómicas. En particular, el informe reporta resultados de cinco escenarios que simulan distintos niveles de emisión de gases de efecto invernadero: muy alta, alta, intermedia, baja y muy baja. En todos los escenarios, incluso en el más optimista, la temperatura promedio de la Tierra aumenta y el nivel de la superficie del mar se eleva durante el siglo 21. Por ello, no hay nada de paranoico en apelar a la precaución para la toma de medidas mitigantes que atenúen el cambio climático y/o medidas adaptativas que nos permitan adecuarnos a sus efectos.

La paranoia comienza cuando la precaución se dirige a potenciales catástrofes que exageran el peor de los casos científicamente informados. Si consideramos el escenario más adverso (muy alta emisión de gases de efecto invernadero), el informe del IPCC reporta que es probable o de mediana confianza que el promedio del nivel del mar se eleve entre 1 a 2 metros para el 2150. Ciertamente, esta estimación es alarmante: Varios ecosistemas costeros se verían afectados por esto, incluyendo la anegación de asentamientos humanos. Pero esta estimación, evaluada en el peor de los casos, y con un grado de incerteza mediano, pone un límite significativo respecto de aquellas catástrofes que son razonables de considerar en la implementación del principio de precaución. A modo de ejemplo, medidas adaptativas son justificadas por el principio de precaución en sectores costeros o territorios bajo el nivel del mar, como en los Países Bajos o Bangladesh, incluso considerando la incerteza asociada a dichas estimaciones. Dado que contamos con más de un siglo para diseñar e implementar estas medidas adaptativas antes de que el peor de los casos se materialice (si se materializa), nuestras ansiedades debiesen permanecer contenidas. En cualquier caso, el principio de pre-

caución no justificaría la adopción de medidas adaptativas en escenarios que son francas exageraciones del peor de los casos científicamente informados. Por ejemplo, la implementación de medidas adaptativas respecto del ascenso del nivel del mar en lugares de altitud geográfica representaría un triunfo de nuestras ansiedades.

En conclusión, la precaución debe ser distinguida de la paranoia en dos sentidos. El primero es aquel que defensores del principio de precaución deben esgrimir para responder a negacionistas climáticos que caracterizan las medidas precautorias como infundadas. La precaución no puede ser denostada como mera paranoia: Es una respuesta justificada a los serios problemas ambientales que enfrentamos. Pero en un segundo sentido, la precaución no puede dar rienda suelta a nuestras ansiedades para atender escenarios que son francas exageraciones del peor de los casos científicamente informados. Si dejamos que nuestras acciones precautorias aborden estos escenarios, corremos el riesgo de fomentar y acrecentar la paranoia en la ciudadanía, junto al riesgo de dirigir ineficientemente nuestros esfuerzos. **La moraleja es que debemos encontrar un camino intermedio en el que otorgamos al cambio climático la seriedad y gravedad que el fenómeno justifica, sin caer en los extremos del negacionismo o de la paranoia apocalíptica.**

ATENCIÓN!

Si tú eres una persona que lidia con ansiedad respecto del cambio climático, recomiendo dos recursos que pueden ser de ayuda. El primero es el libro “Y ahora yo qué hago: Como evitar la culpa climática y pasar a la acción” del especialista en sustentabilidad y divulgador científico, Dr. Andreu Escrivà.

El segundo (en inglés) es el newsletter “Gen Dread” de la especialista en enfermedades mentales y crisis ecológica, Dr. Britt Wray (www.brittwrap.com/gen-dread).



ESTRATEGIAS TRANSDISCIPLINARIAS DE GOBERNANZA LOCAL INTEGRANDO LAS GEOCIENCIAS EN LA ACCIÓN CLIMÁTICA

por Felipe Orellana Solar y Javiera Saavedra Cancino

Chile y el resto del mundo han experimentado cambios radicales en los últimos 200 años, transformaciones que, a escala humana, resultan difíciles de creer. Estos procesos han moldeado nuestras relaciones humanas, la forma en que trabajamos y, sobre todo, la relación directa con el entorno que nos rodea.

En Chile, durante los años 60s, se llevaron a cabo varios procesos importantes que marcarían un hito en la historia del país. En particular, con la “Reforma Agraria” y la “Chilenización del Cobre” – ambas iniciativas impulsadas por el presidente Eduardo Frei Montalva – se consagraron importantes cambios tanto en la “propiedad” de los recursos naturales como en la concepción territorial de “pertenencia”. Cabe recordar que la década de los 60s inició con el sismo de mayor magnitud registrado en la historia de la humanidad, un evento que sacudió por completo a la ciudad de Valdivia. Este evento dejó en evidencia tanto la vulnerabilidad sísmica del país como sus capacidades de solidaridad, resiliencia, y extraordinarias labores de ingeniería de rescate (por ejemplo, las labores de desbloqueo del río San Pedro y Lago Riñihue para evitar una catástrofe aún mayor). Estos eventos fueron reflejo de la adaptación y capacidad de respuesta de una sociedad que convive constantemente con las amenazas.

En contraste, a nivel internacional a fines de los 60s, las ideas de cómo salvaguardar nuestro planeta ya eran recurrentes. Es a fines de esta década que el Consejo Económico y Social de las Naciones Unidas decide convocar una conferencia internacional sobre los problemas del medio humano, concibiendo los cambios que la humanidad ha provocado en el medio natural como un problema global. En 1972, 113 países miembros de la ONU – Chile incluido – participaron en los acuerdos de la Primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo, siendo este el punto de partida de la serie de conferencias y acuerdos internacionales que marcarían la agenda ambiental en las décadas siguientes.

Durante los próximos 50 años, se sucedieron importantes encuentros y acuerdos internacionales relacionados con el medio ambiente. La Cumbre del Medio Ambiente y Desarrollo en Río de Janeiro en 1992 marcó un hito al establecer la Agenda 21, un plan de acción para el desarrollo sostenible a nivel global. En 2002, se llevó a cabo la Cumbre del Desarrollo Sostenible en Johannesburgo, donde se evaluó el progreso realizado desde la Cumbre de Río y se identificaron nuevos desafíos. En 2012, se celebró la conferencia Río +20, que conmemoró los 20 años de la Cumbre de Río y buscó reafirmar el compromiso con el desarrollo sostenible. Finalmente, en 2015, se alcanzó el histórico Acuerdo de París, en el cual los países se comprometieron a tomar medidas para limitar el calentamiento

global y adaptarse a los efectos del cambio climático. Cabe destacar que Chile ha sido un participante activo en estos encuentros y acuerdos internacionales, reconociendo la importancia de abordar los desafíos ambientales desde una perspectiva global. El país ha demostrado su compromiso al ser parte de importantes iniciativas y alinearse con los objetivos internacionales de mitigación y adaptación al cambio climático.

En agosto de 2021, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) publicó su último Informe de Evaluación, el cual señaló de manera inequívoca la influencia humana en la crisis climática y ambiental que enfrentamos. Estudios científicos respaldan cada vez más la intervención antrópica en el cambio climático, y los efectos de esta crisis se hacen evidentes a través de desastres naturales y fenómenos extremos en todo el mundo. Los países del sur global, como Chile, son especialmente vulnerables a estos impactos. Un claro ejemplo de los desafíos que enfrenta nuestro país es la megasequía que ha afectado al país durante más de una década. Esta sequía ha exacerbado la escasez hídrica, la desertificación, y el riesgo de incendios forestales. Además, Chile se encuentra en una zona sísmica y volcánica activa debido a su ubicación en el Cinturón de Fuego del Pacífico. Estos factores, sumados a la alta susceptibilidad a otros desastres naturales, posicionan a Chile en el lugar 25 del índice de Riesgo Climático Global.

Si bien es cierto que el aumento de la temperatura es un proceso natural que ha ocurrido durante los últimos 10.000 años desde la última glaciación, la actividad humana está acelerando este proceso de manera alarmante. Según el Global Carbon Budget 2021, se estima que para lograr la neutralidad de carbono mundial para 2050, se deberían reducir 1,4 miles de millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono por año. Esto plantea un desafío monumental que requiere acciones urgentes y concretas a nivel global.

Para dejar fuera los negacionismos, debemos ser contundentes y precisos en reconocer que nos enfrentamos a una situación sin precedentes, en la cual el cambio ambiental global exige respuestas efectivas y rápidas. Es fundamental acelerar estrategias de acción directa que nos permitan aprender, adaptarnos, y anticiparnos a cualquier tipo de amenaza climática. Claro está que dichas estrategias deben ser territoriales y adaptadas a las medidas geográficas y necesidades socioambientales de cada localidad, teniendo en cuenta

las urgencias propias de quienes conforman y habitan el territorio. Es fundamental diagnosticar los problemas derivados del cambio climático a nivel regional y priorizarlos en base a criterios humanos, socioambientales, y económicos. En este escenario, es fundamental que las ciencias e ingenierías sean capaces de involucrarse con un sentido de función social capaz de diagnosticar y elaborar soluciones locales resilientes al cambio climático. Además, dichas soluciones deben ser transversales para que de forma conjunta con diversas instituciones públicas y privadas logremos permear el diseño e implementación de políticas que planteen medidas adecuadas a nivel local para enfrentar los desafíos ambientales. De esta forma, podremos tender hacia la sostenibilidad y promover la resiliencia en cada región del país.

Para lograr estos objetivos, un camino a consolidar es relevar el protagonismo de los gobiernos regionales y municipales para ejecutar y sensibilizar sobre este desafío mundial del que todos somos parte. Chile está bien posicionado para enfrentar estos desafíos, dada su rica historia de desastres socionaturales y su experiencia en la gestión de riesgos y adaptación. En dicho sentido, Chile es un referente mundial para la generación de respuestas concretas al cambio climático. Este rol se ha materializado en los compromisos adquiridos para descarbonizar la matriz energética y apostar por aumentar la generación de energías renovables no convencionales, asumiendo el protagonismo vanguardista a nivel mundial como los principales productores de hidrógeno verde, entre otros.

Si fortalecemos la cooperación internacional y la colaboración entre los distintos sectores de la so-

ciudad para abordar de manera efectiva los desafíos ambientales, Chile se convertiría en un país con la innovación suficiente, capaz de guiar y vislumbrar acciones concretas para enfrentar los problemas inherentes del cambio climático. A nivel global, hemos atravesado cambios importantes, profundos, y acelerados en las últimas décadas: los procesos de reforma, la participación en conferencias y acuerdos internacionales, junto con la colección de evidencia científica respecto del impacto humano en la crisis climática. Todos estos cambios han marcado un antes y un después en la forma en que nos relacionamos con el entorno. Chile, en particular, ha enfrentado desafíos únicos debido a su ubicación geográfica y su historial de desastres naturales. Los terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, y la reciente megasequía han puesto a prueba la resiliencia y capacidad de adaptación del país. Pero también han demostrado la notable capacidad de solidaridad y respuesta frente a las adversidades que tiene el país.

Frente a las interrogantes que subyacen de los desafíos planteados por el cambio climático, es crucial que tendamos hacia una transformación real, transversal, y efectiva ante la resiliencia y adaptación al cambio climático que nos exigen los tiempos actuales y venideros. Esta transformación sería ampliamente ayudada si apostamos por promover la investigación científica y entregar resultados claros en un lenguaje sencillo. De esta forma, habilitaríamos una capacidad de diálogo con los distintos poderes del estado, fortaleciendo así las políticas ambientales y fomentando la participación ciudadana desde los lugares más recónditos y descentralizados.

GEOLOGÍA FORENSE EN CHILE

UN APOORTE A LA JUSTICIA Y LAS CIENCIAS AMBIENTALES

por Kristian Agurto Velásquez

No es común escuchar el término Geología Forense, puesto que, al oírlo, inmediatamente se piensa ¿puede la geología estar relacionada a algo forense? La respuesta es sí, existe la Geología Forense, y lleva varios años en el mundo académico internacional.

La geología forense nos remonta a los apasionantes relatos de Arthur Conan Doyle y su fascinante Sherlock Holmes hacia fines del siglo XIX, donde -me atrevo a decir- que por primera vez en la humanidad se unen casos de asesinato con las Ciencias de la Tierra al analizar los materiales geológicos como suelo, rocas y minerales para dar explicación a lo ocurrido en la escena del crimen. En esta ciencia se comienza a notar que no se aporta sólo desde una rama específica del conocimiento, sino desde las raíces de varias disciplinas que permiten el crecimiento del árbol forense. En nuestra época, el año 1975 Raymond C. Murray y John C.F. Tedrow, por primera vez en el mundo científico académico, utilizan el término Geología Forense para referirse al aporte potencial y futuro promisorio de las Ciencias de la Tierra en la investigación criminal forense.

LA IMPORTANCIA DE LOS DETALLES

La Geología Forense, también llamada Geoforense, es la unión de todas las áreas que abarca la geología como ciencia natural con las ciencias forenses. En el mundo se han reportado una infinidad de casos misteriosos de delitos como asesinatos y secuestros, en donde el victimario cree borrar todas las evidencias de su crimen, olvidando que tan solo una pequeña partícula de suelo basta para relacionarlo a la escena del crimen o a la víctima (Fig. 1). Las hojas, semillas, polen, hongos y microvestigios proveen de informa-

ción fundamental a la hora de caracterizar una persona o territorio. Al conocer las estructuras y procesos biológicos y químicos internos se logran determinar condiciones únicas y especiales para cada organismo. Algo similar puede realizarse en los suelos: Cada suelo tiene composiciones diversas que a escala microscópica pueden incluso tener huellas únicas e irrepetibles. Esto permite a los geólogos saber, entre otras cosas, cuándo un suelo es autóctono o viene transportado de otro lugar. Cabe entonces hacer la pregunta ¿pueden existir dos suelos muy parecidos en un mismo lugar? Y nuevamente la respuesta es sí, pero ahora la diferencia la hará la geoquímica de cada mineral que conforma el suelo. Dentro de cada uno de ellos se esconde información que es confiable dada la dificultad de ser imitada o falsificada. Esta información tan especial la dan sus elementos químicos y su comportamiento interno, conocidos como **isótopos**.

Un isótopo se define químicamente como un elemento químico que posee la misma cantidad de protones, pero con diferente cantidad de neutrones. Más fácilmente, si acudimos a la etimología, el término nace del griego y se descompone en iso-iso= igual y topos=lugar; isótopo=mismo lugar, definición que se atribuye al químico inglés Frederick Soddy al darse cuenta de que los átomos tenían las mismas propiedades químicas. En simples palabras, los elementos que conocemos de la Tabla Periódica como el oxígeno (O), carbono (C), estroncio (Sr) o plomo (Pb) pueden pre-



Figura 1: Simulación escena del crimen con evidencias superficiales. Fotografía: Kristian Agurto.



Caso real de Geología Forense, El Suicidio en la playa

En un día de verano, a primera hora de la mañana encontraron muerto a un joven que había saltado de un edificio. Según numerosos testigos, este joven pasó la noche anterior en un club nocturno cercano a la playa de la ciudad. Por lo tanto, los detectives querían reconstruir las últimas horas de vida de la víctima para saber si la muerte se debió a un suicidio o a un asesinato. En las pericias de la ropa del joven, se descubrió que los jeans de la víctima estaban mojados, por lo que se analizaron detalladamente para comprender si el chico se había bañado en la playa durante la noche, y si entró vestido al mar. Si entró vestido, los jeans o alguna fibra de ellos tendría algunos microcristales de sal marina. Los jeans se observaron con un microscopio estereoscópico a diferentes aumentos, para verificar la presencia de cristales de sal. El análisis dio cuenta que el tejido de los jeans presentaba unos microcristales de color blanco, brillo vítreo y ceroso, translúcidos y de formas irregulares. Se realizaron análisis mediante microscopio electrónico de barrido y microanálisis de rayos X (SEM-EDX) en las zonas más representativas de los jeans, para identificar si los cristales blancos encontrados correspondían a sal de mar.

Estas técnicas espectroscópicas finalmente confirmaron con un muy mínimo rango de error que los microcristales estaban compuestos de cloruro de sodio (NaCl - halita), el principal constituyente de la sal marina.

sentar variaciones internas en sus núcleos que hagan variar la cantidad de neutrones, pasando a ser isótopos. Estas variaciones, que pueden ser muy sutiles, permitirán observar científicamente si materiales que nos rodean como suelos, plantas, aire o agua han sufrido cambios químicos producto de factores naturales o causados por el ser humano. Con sólo una pequeña variación a la microescala de un átomo, se puede hacer una importante diferencia entre, inclusive, la culpabilidad o inocencia de una persona o grupo de personas en casos tan graves como un asesinato o delito medioambiental.

DELITOS MEDIOAMBIENTALES

En cuestiones ambientales, son muy utilizados los elementos mencionados anteriormente sobre todo en delitos medioambientales que se han reportado en el último tiempo. Un delito medioambiental se define según el Derecho Penal Ambiental como aquella acción, comportamiento u omisión prevista y penada por la ley que atenta contra el medio ambiente o un bien, y que merece una sanción o castigo. En Chile, se han registrado diversos delitos clasificados como Delitos contra el Medio Ambiente y Patrimonio Cultural, y estos casos están tipificados en las Áreas de Persecución de la Fiscalía en cinco categorías:

1. Daño y apropiación de monumentos nacionales.
2. Extracción ilegal de recurso en veda.
3. Tala ilegal.
4. Quema ilegal.
5. Usurpación de aguas.

Dentro de los delitos ambientales se considera también el causar un daño irreparable a la calidad de vida de las personas, provocado por el mal manejo de residuos tóxicos, domiciliarios, o industriales. Mediático es el caso de Quintero – Las Ventanas – Puchuncaví, donde el pésimo manejo de las emisiones de azufre, arsénico, tolueno, entre otros químicos, mantienen el aire con material particulado fuera de toda norma (Fig. 2). Este caso de contaminación ambiental afectó a un gran número de personas y fue, en parte, visualizado y llevado a cumplir las normas básicas por las industrias causantes del delito. Pero ¿qué sucede con casos que no son mediáticos, o donde la población afectada es menor? Cuando no hay recursos para investigar, cuando no hay suficientes pruebas, o se han querido borrar los rastros; aquí es donde la isotopía, huella imborrable y sensible a los cambios ambientales, juega un rol primordial como medio de prueba incluso en tribunales de justicia.

LA GEOLOGÍA FORENSE EN CHILE

En varios países del mundo se han realizado estudios relacionados a la isotopía de aguas, aire, suelos e incluso vegetación, para determinar posibles fuentes de contaminación que sean desconocidas. Y aquí se debe volver a la importancia que se explicó de los isótopos, pues cualquier cambio o variación, por pequeña que sea, reviste una gran importancia para estudios geoquímicos de detalle. En Chile, estudios tan detallados en isotopía aún no se han realizado, esto debido a que la Geología Forense en el país no está desarrollada. El primer trabajo investigativo es de la



Figura 2: Exposición del autor en Seminario de Geociencias Forenses. Fotografía: Kristian Agurto.

geóloga Javiera Álvarez el año 2017, quien estudió unos productos que venían desde Estados Unidos, donde la mercancía fue cambiada por sacos de arena en una playa de Miami, y el estudio sedimentológico de detalle permitió acercarse a los culpables de este delito. El segundo trabajo en Geología Forense inicia durante el año 2022, donde el licenciado en geología de la Universidad Católica de Temuco, Marcelo Ortega Sandoval, junto a la Perito Químico de la Policía de Investigaciones de Chile, Dra. Alejandra Figueroa Carvajal, inicia su memoria de título relacionada al análisis geoquímico de suelos a través del comportamiento de algunas arcillas y minerales, con el objeto de determinar si pueden ser utilizados en futuros casos forenses.

A fines de 2022, el geólogo autor de este artículo, junto con otros profesionales de las ciencias (químicos, biólogos, profesores, odontólogos y médicos), participa del V Seminario Iberoamericano de Geociencias Forenses en Bogotá, Colombia (Fig. 2), lugar desde el cual se inician las gestiones colaborativas internacionales para iniciar en 2023 su Doctorado en Ciencias en la Universidad de Chile, donde por primera vez en nuestro país se desarrollará una tesis de postgrado en Geología Forense. Su estudio se centrará en el análisis geoquímico e isotópico de distintos suelos del país, para determinar fuentes de proveniencia de carbono, oxígeno, estroncio y plomo, sean estas naturales o antrópicas, con el objetivo de lograr una caracterización detallada de distintos lugares, y en un futuro esta información sea utilizada como base para investigaciones relacionadas tanto a delitos medioambientales como a casos policiales netamente forenses.

El potencial de la Geología Forense en Chile es muy amplio (Fig. 3), porque se espera que, desde la geología y ciencias afines se contribuya con pruebas científicas que permitan dilucidar delitos en el medio ambiente, y también en casos policiales. El análisis del suelo y su interacción con tejidos humanos o sangre

son el gran desafío que se espera alcance a cumplir esta nueva línea investigativa en la ciencia chilena, a la cual, todo aquel que le despierte interés, será bienvenido y bienvenida. En cada persona, siempre, hay un sentimiento detectivesco que espera por salir.



Figura 3: Dr. Laurance Donnelly, Geólogo Forense de la IUGS-IFG, y Dr. Carlos Molina Gallego, Geólogo Forense de la Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia, explicando el uso de penetrológico en un caso simulado de enterramiento ilegal. Fotografía: Kristian Agurto.

ZONAS DE SACRIFICIO EN CHILE

ACTIVIDAD MINERA EN CHUQUICAMATA, CALAMA, Y TERRITORIOS DE LOS PUEBLOS ORIGINARIOS LICKANANTAI DE LA CUENCA DEL RÍO LOA

por Nilda Lay Galleguillos

He dedicado toda mi vida profesional a la geología económica. Sin embargo, dado mi origen Lickanantai y mi nacimiento en Chuquicamata, he sentido el llamado a relatar el pasado y su relación con el presente. Por ello, me referiré al problema de las zonas de sacrificio asociadas a la actividad minera en Chuquicamata, Calama, y en los territorios de los pueblos originarios Lickanantai de la cuenca del Río Loa.

En 1973, tras la nacionalización del cobre chileno, el Estado se hizo cargo de Chuquicamata y, por ende, de su planta de fundición. Hacia 1979, la tecnología operativa en la planta de fundición tenía cerca de 27 años de funcionamiento, siendo obsoleta en la práctica. La contaminación proveniente de la planta, causada por la emisión de material mineral particulado y gases ácidos (en particular, dióxido de azufre), era un problema ambiental grave. En particular, los lugares afectados incluían el campamento de Chuquicamata, los poblados de Lasana y Chiu Chiu, y la misma ciudad de Calama.

En 1979, realicé mi memoria de título “Geoquímica de Suelos en Región Árida Altamente Contaminada, Chuquicamata”, en la Universidad de Chile. Esta memoria fue propuesta por José Ambrus, Superintendente de Geología de Chuquicamata y patrocinada por Codelco Central. A pesar de la preocupación ambiental de los directivos de Codelco, las decisiones de inversión dependían del estado chileno. Así, en vez de invertir en una fundición nueva, se opta por el cierre del campamento de Chuquicamata, entre 2001 y 2007.

Esta decisión respondía principalmente al bajo costo de generar botaderos de material estéril más cercanos al rajo y por la declaración de Chuquicamata como zona saturada de contaminación en 2001.

La actividad minera en el área se ha multiplicado como también los problemas ambientales. Hoy operan las minas de cobre de Chuquicamata, Radomiro Tomic, Ministro Hales, y Gabriela (Codelco, Chile), El Abra (Freeport US, Codelco), Doña Inés de Collahuasi (Glencore, Suiza, Anglo American UK y socios de Japón) y Quebrada Blanca (Teck RL Canadá, Sumitomo MM Japón y Enami). El principal impacto ambiental continúa siendo la emisión de material particulado, junto al dióxido de azufre, causados por el clúster de la Fundición de Chuquicamata, la Planta de Tostación de concentrados de la mina Ministro Hales (fuente de mayor contaminación) y el tranque de Relave de Talabre.

El tranque de Relaves Talabre se ubica a 15 kilómetros al noreste de Calama y a 7 kilómetros de Chiu Chiu, y tiene un tamaño de 70 km². Como comparación, el área de la ciudad de Calama es de 34,38 km² y el área de los relaves de la mina Escondida es de 46

km². Talabre almacena los probables residuos tóxicos de las divisiones de Codelco del Distrito Norte. Además, presenta problemas posibles de contaminación de material particulado en suspensión – emisión base de 3.377 ton/año – y dispersado por el viento hacia los poblados de Chiu Chiu, Lasana, y la ciudad de Calama. Finalmente, existe un posible riesgo de contaminación de los acuíferos de las napas subterráneas y drenajes de aguas ácidas hacia los recursos hídricos de la zona del Río Loa.

El estado chileno ha normado el problema de contaminación a través de decretos. Los más recientes son dos. El primero es el Decreto 28 del Ministerio del Medio Ambiente de 2013, cuyo Artículo 3 fija límites para las emisiones de la fundición de cobre de Chuquicamata. Por ejemplo, el límite máximo de dióxido de azufre es de 49.700 ton/año, de arsénico es de 476 ton/año, y de SO₂ es de 600 ppm. El segundo decreto es el decreto 5 de enero 2022, el cual establece el plan de descontaminación atmosférica para la ciudad de Calama y su área circunstante. Es importante enfatizar que este decreto no incluye en el área circunstante a los poblados de Chiu Chiu y Lasana.

Con el objetivo de cumplir las normas de límites máximos de emisión de cobre y arsénico en la zona, actualmente existen planes de modernización de la planta de fundición por parte de Codelco. Sin embargo, el estado chileno nunca ha aprobado la inversión

para una nueva fundición de alta tecnología con altos estándares ambientales respecto de la emisión de gases y material particulado. De esta forma, no hemos avanzado hacia el concepto de valor agregado con tecnología limpia como aquella de países desarrollados (como Japón o USA). En particular, La Escondida – la mina de mayor producción de cobre en Chile – exporta casi todo su concentrado.

Con respecto a los tranques de relaves, se debería contemplar en los planes de cierre de las faenas mineras, un fondo de mitigación destinado a la estabilización (aluviones, cambio climático), descontaminación, y monitoreo. Para el tranque de Talabre se requieren estudios, con transparencia, respecto de la calidad de los residuos. El cumplimiento a corto plazo de la implementación de la franja de arbolado nativo entre Chiu Chiu y el tranque de Talabre (artículo 21, decreto 5) no incluye el área entre el tranque y la ruta B-155, como medida de mitigación al paisaje por contaminación visual.

Cabe señalar que existe un problema ético de transparencia y fiscalización entre la contaminación por material particulado y la salud pública. El plan nacional de cáncer 2018-2028 del Ministerio de Salud muestra que, a nivel regional, Antofagasta presenta la mayor tasa de mortalidad de tumores malignos del país (1990-2015). En particular, los cánceres de tráquea, bronquio, y pulmón son los más altos a nivel



nacional. Por ello, es de suma importancia que se continúe la fiscalización ambiental transparente a las faenas mineras por la Superintendencia del Medio Ambiente (SMA) junto a la Corporación Nacional Forestal (CONAF) y el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

En este agreste desierto, el agua es escasa, y es la vida para los pueblos originarios de la cuenca del río Loa. El despojo del agua dulce, superficial y subterránea, por compañías de agua potable o por las mineras del cobre ha sido catastrófico para las comunidades Lickanantai. En particular, varios de sus ecosistemas han sido afectados como los humedales de altura (bofedales y vegas) y los salares. Este impacto ambiental se vincula directamente con el proceso de privatización de los derechos de aprovechamiento de aguas superficiales en ríos y en las napas subterráneas fuera de un marco socio ambiental. De hecho, a petición de la Comunidad de Chiu-Chiu, se declaran agotados los derechos superficiales de agua sobre la cuenca del río Loa en el año 2000.

Algunos casos son destacables. Al desviar las aguas de los tributarios del río San Pedro (ríos Silala e Inacaliri) para agua potable en Chuquicamata (Codelco) y Calama (FCAB), se despojó agua para regadío en el pueblo de San Pedro, el que fue destinado a desaparecer, junto a las vegas de Inacaliri. Además, se ha usado el agua de los ríos Linzor, Toconce, Caspana, y El Tatio para el agua potable de Antofagasta, Calama, y Chuquicamata, con el desmedro de agua de regadío para los poblados de Linzor, Toconce y Caspana. Un caso lamentable es el de la desecación de la vega de Turi debido a la extracción de sus aguas por Codelco, gatillando la pérdida de su ecosistema y de los pastizales de pastoreo de los pueblos Paniri, Turi, Toconce Ayquina y Cupo. Adicionalmente, las mineras Doña Inés de Collahuasi (salar de Michincha) y Quebrada Blanca operan en el área de las vegas del nacimiento del río Loa, con un posible impacto de ellas. Y la minera el Abra extrae agua subterránea del salar de Ascotan para sus operaciones actuales.

Como respuesta al problema ético de la crisis entre el manejo de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del río Loa y las compañías mineras, estas últimas tienen la intención de materializar proyectos de plantas desaladoras para sus operaciones. Éstas se materializarán a mediano plazo (tentativamente entre 3 a 5 años). Sus aguas estarán destinadas mayoritariamente a los planes de expansión de las faenas. En julio 2022, el directorio de Codelco anunció su intención de materializar un proyecto de una planta desaladora para sus operaciones de Chuquicamata, Radomiro Tomic y Ministro Hales (excluyendo Gabriela), que cubriría el 66% del suministro de aguas continentales. Quebrada Blanca también tiene planes para una planta desaladora para su proyecto QB2. La minera el Abra también ha publicado que, para procesar las reservas de sulfuros existentes en la mina, está

evaluando para su futura expansión la construcción de una planta desaladora.

En conclusión, el futuro es realizar una mitigación ambiental tendiente a proteger recursos hídricos de la cuenca del río Loa, y en particular los ecosistemas de humedales de altura y los salares. Esta mitigación debe además tender a la construcción de plantas desaladoras y a la reposición de aguas hacia las comunidades, terminando así el negocio de los derechos de agua. Sin embargo, persiste un problema ético-social del estado chileno con las comunidades Lickanantai de la cuenca del río Loa en donde la mayoría no cuentan con servicios de agua potable y de alcantarillado.

Este texto está basado en mi intervención al cabo de la charla “Geología y las Zonas de Sacrificio Ambiental”, de la Dra. Joseline Tapia. Esta charla fue dada en junio de 2022 como parte del ciclo de seminarios “Hacia la construcción del código de geoética Chile” del Grupo de Geoética de la Sociedad Geológica de Chile.

OPINIÓN: MARTE DESPUÉS, LA TIERRA PRIMERO

por José Cabello Lechuga

Siendo la Astronomía las más antigua de las Ciencias Naturales, no es raro que hoy mucha gente sueñe con viajar a Marte que está en promedio a 65 millones de kilómetros de mi querido planeta azul con el objetivo de instalar una colonia humana. Se habla de tener en el planeta rojo un millón de terráneos. Siendo un admirador y aficionado de nuestro inmenso universo quise analizar esta atrayente propuesta desde mi punto de vista científico.

Lo primero fue saber que tan saludable para un ser humano es vivir en Marte. Y me encontré con un planeta sin vegetación, descrito como un desierto azotado por el viento prácticamente sin agua en estado líquido y con temperaturas promedio horribles (-46°C) para cualquier homo sapiens. Su atmósfera está compuesta de un 95% de dióxido de carbono con una débil capa de ozono demasiado enclenque para bloquear la radiación ultravioleta proveniente del sol. La presión media equivalente a la presión de la atmósfera terrestre a una altura de 35 mil metros. Otro elemento del clima que hay que tener en cuenta son las intensas tormentas de polvo, las más grandes, fuertes y duraderas de todo el Sistema Solar. El viento puede alcanzar los 100 kilómetros por hora, y la tormenta durar meses.

Me quedé pensando que no parece ser un lugar tan bueno para vivir pero que lo más seguro es que debe ser muy barato viajar para allá durante unos 9 meses, así como instalar una colonia en el rojo planeta. Revisé las cifras que se publican para los primeros viajes tripulados a Marte y me encontré que se necesitarían sólo 450 mil millones de dólares. A modo de comparación con esa cifra podríamos financiar nuestro presupuesto de la nación durante 5 años.

Me pareció entonces que era un buen momento para volver a revisar que tan bueno es vivir en la Tierra. Nuestro planeta azul está a la distancia correcta del Sol para tener temperaturas superficiales óptimas para los seres vivos. Sus vastos océanos han permanecido líquidos, desde poco después de su formación hace unos 4.500 millones de años. Es el único planeta con tectónica de placas, que recicla nutrientes y otros materiales esenciales para la vida a través del interior del planeta y de vuelta a la superficie. La Tierra es única en el sostenimiento de una atmósfera que es una quinta parte del oxígeno, que fue generado por organismos unicelulares y que impulsó la evolución de los organismos multicelulares. Los materiales que utilizamos provienen de la Tierra: combustibles, minerales, aguas subterráneas, incluso nuestros alimentos (a través del suelo, el agua y los fertilizantes). Tenemos

una afinidad psicológica por ciertos lugares de la Tierra, por las regiones donde crecemos y vivimos y por los terrenos salvajes y hermosos, ya sea preservados en parques o en nuestro entorno cotidiano. Es un hogar agradable para los humanos con su color azul por su agua, blanco por sus nubes, y verde por su vida. Un planeta incomparable en nuestro sistema solar, y probablemente muy raro en el universo.

Pero hemos alterado la superficie extensamente durante nuestra ocupación: estructuras de construcción, quema de bosques y praderas, represar ríos. Casi a diario nos informan de grandes incendios, inundaciones, mares y cielos contaminados en muchos lugares del mundo. Y en nuestro país tenemos absurdamente zonas de sacrificio en Mejillones, Tocopilla, Petorca y Quinteros por nombrar algunas. Somos un país casi sin Ordenamiento Territorial efectivo.

El proceso de entender la Tierra acaba de comenzar. Hay que comprender las complejidades de los sistemas terrestres para que los humanos sobrevivan y prosperen durante más de un momento en el tiempo geológico. Debemos encontrar y desarrollar los recursos necesarios para sostener y mejorar la condición humana, especialmente cuando estamos viviendo el Cambio Climático y sus consecuencias.

Entonces es meritorio darle prioridad al entendimiento y sobre todo al cuidado de nuestro planeta lo que requiere dedicar urgentemente presupuestos adecuados. Y una vez que resolvamos todos los problemas apremiantes que afectan nuestros ecosistemas y sus habitantes, solo entonces dediquémonos a invertir para viajar por todo el Universo.

**Parece buen momento para pedir:
Marte después, la Tierra primero.**



UN GEÓLOGO POR MUNICIPIO EL CASO COLOMBIANO

por Clemencia Gómez González

Imaginemos un país en donde cada vivienda sea segura, en donde la tierra sea tratada con respeto y la vitalidad del agua perdure para mover los sueños de las generaciones futuras. Gracias a la propuesta de un grupo de geólogos y académicos, ese país podría ser Colombia.

La diversidad de la geología colombiana es sólo comparable con la de sus habitantes; no hay rincón que no albergue una historia, así como no hay historia que no pueda ser contada, sin embargo, cuando la tierra habla hay pocos que pueden escucharla. Un Geólogo en cada Municipio es un proyecto, que con el apoyo de la ACGGP y la SCG, pretende vincular a un profesional de las Ciencias de la Tierra como personal de planta en cada municipio, garantizando una óptima gestión del territorio y fomentando el vínculo entre la comunidad y la naturaleza que la rodea.

El desconocimiento de lo que hacen los geólogos y de la geología en sí misma representa una brecha que, además de exponernos ante amenazas del entor-



ción y mitigación de riesgos junto a las poblaciones locales.

Por otro lado, cuando se analizan las dinámicas económicas del país, muchos de los municipios gestionan recursos y generan trabajo a partir de la producción minera y de hidrocarburos. Es por esto que la presencia de la geología como ciencia y como ejercicio de incidencia debe aportar a la actualización de los Planes de Ordenamiento Territorial pues la producción, el manejo y los beneficios en torno a los recursos no renovables son un tema que genera incertidumbre para las poblaciones. Si bien hay un profundo desconocimiento frente a las actividades de extracción, la duda más recurrente parece ser ¿Cómo garantizar el desarrollo de las actividades minero-energéticas en el marco del Desarrollo Sostenible y Sustentable? La asesoría en torno a las geoamenazas, los recursos no renovables y las aguas subterráneas será fundamental a la hora de pensar estrategias y alternativas para gestionar y resolver conflictos socioambientales, esto porque se realizaría un acompañamiento a los entes territoriales, instituciones locales y regionales y organizaciones sociales para tomar decisiones a partir desde criterios técnicos y científicos a la luz de los principios de coordinación y concurrencia que tanto se requieren; del mismo modo, los estudios que se generen sobre el territorio permitirán



no, dificulta el sentido de pertenencia frente a nuestro territorio. Por eso los geólogos deben ser interlocutores en procesos de ordenamiento territorial, pues el subsuelo debe reivindicarse como un objeto de estudio indispensable para administrar adecuadamente los recursos naturales de una región. Este proyecto pretende fortalecer el desarrollo social y la construcción de relaciones responsables con el medio ambiente a partir de tres ejes fundamentales: a) Geoamenazas, b) Recursos no renovables y, c) Agua Subterránea.

Según cifras del Banco Mundial el 86% de la población colombiana se ubica en zonas de amenaza sísmica media y alta, el 28% de las viviendas corren peligro de inundación y cerca de 700 municipios están ubicados en zonas amenazadas por deslizamientos. Sumado a esto, el Servicio Geológico Colombiano ha clasificado 20 volcanes en el país como potencialmente activos, esto implica que alrededor de un millón ochocientos mil personas están expuestas a amenazas volcánicas. Es por estos motivos que se requiere la presencia de geólogos que cumplan el papel de asistentes técnicos en los municipios. Los profesionales que formen parte de esta iniciativa llevarán a cabo un seguimiento riguroso de las áreas en condición de riesgo dentro de cada municipio; ésta supervisión no se limitará sólo al estudio geológico, sino que buscará desarrollar estrategias en torno a posibles medidas de preven-



elaborar propuestas para el uso del suelo que respete la integridad de los cuerpos de agua, los páramos, las zonas de riqueza geológica, paleontológica y arqueológica y la biodiversidad.

Dentro de la amplia gama de recursos que se encuentran en el subsuelo colombiano, según el IDEAM, el agua como recurso natural fluye entre las diversas y complejas provincias hidrogeológicas, provincias que comprenden el 74.5% del territorio colombiano. No se puede cuidar lo que no se conoce es allí donde la geología, a partir del potencial de los acuíferos subterráneos y las necesidades de la población en cada municipio, estudiará los cuerpos de agua y permitirá mitigar el desabastecimiento de agua en las regiones, al igual que permitirá conservar este invaluable legado a futuras generaciones.

Un Geólogo en cada Municipio nos permitirá conocer el estado geológico de las regiones; sus necesidades, sus desafíos y su potencial en función de una mejor calidad de vida. Cuando la ciencia brinda lo mejor de sí desde una dimensión social y le permite a la comunidad apropiarse de su propio territorio, contribuye a construir un país que, más allá de aproximarse a los principios del quehacer científico, se aproxima a un ejercicio más pleno de la democracia a través del conocimiento de su entorno.

¿YA LEÍSTE NUESTROS NÚMEROS ANTERIORES?

Si te interesa la geología y el medioambiente, te invitamos a leer los números anteriores de GEOHUELLAS, El medioambiente a través de la geología y el arte.



Esta entrevista tiene como punto central la noticia del nuevo Tratado de Alta Mar en la conferencia de la Organización de las Naciones Unidas. A solo días de su adopción por parte de esta entidad, nos gustaría que nos contaras qué implica este tratado.

El Tratado de Alta Mar (de ahora en adelante, el “Tratado”) es un acuerdo internacional que busca proteger las zonas del océano que están fuera de la jurisdicción de cualquier país, y garantizar un uso sostenible de la biodiversidad marina en estas áreas. Este Tratado se basa en el marco global de la biodiversidad acordado en Montreal en diciembre de 2022, donde los países se comprometieron a proteger el 30% de las zonas oceánicas terrestres y costeras para el año 2030, también conocido como 30x30. La importancia del Tratado radica ahí: Estamos transitando a que se establezcan normas para poder gestionar y gobernar las áreas oceánicas que se encuentran fuera de los territorios marítimos de los países y su jurisdicción.

Es importante mencionar que el Tratado busca incluir disposiciones a nivel internacional que involucren compartir el conocimiento, tecnología, y beneficios de los recursos genéticos marinos. Estos últimos son elementos que puedan utilizarse en, por ejemplo, productos alimenticios, cosméticos, medicamentos, etc. La idea que se plantea en el Tratado es poner el foco en la conservación como tal, proteger el gran porcentaje de aguas sin jurisdicción, para llegar a un punto que permita mantener y resguardar la biodiversidad marina presente. Este acuerdo podría tener implicaciones en la regulación y limitación de actividades como las rutas de tránsito de embarcaciones, la pesca, y otras potenciales actividades en alta mar, como la exploración y minería submarina. Sin embargo, para que este Tratado entre en vigor, debe ser ratificado por los diferentes gobiernos. Aún queda trabajo por hacer.

CUÁLES SON LAS NECESIDADES AMBIENTALES QUE SATISFACE EL TRATADO? ¿QUÉ ASPECTOS QUEDAN PENDIENTES?

Nosotros los seres humanos, recurrimos al océano para explotar los recursos que allí existen, en todos los niveles. La gran necesidad ambiental que este Tratado enfrenta es la búsqueda por proteger y garantizar un uso sostenible de la biodiversidad marina. No se



está diciendo que no se explote, que no te hagas con estos recursos, si no que esto se haga de una manera responsable y sostenible para que estos recursos sean capaces de recuperarse con el tiempo y que exista una continuidad de estos, porque de lo contrario estos se agotarán, y, de hecho, ya lo están haciendo. Todo esto centrado en zonas del océano que actualmente no están bajo la jurisdicción de ningún país.

¿EL TRATADO MENCIONA HERRAMIENTAS O DIRECTRICES SOBRE CÓMO SE LLEVARÁ A CABO?

De hecho, una de las ideas que contiene este Tratado, señala que, por ejemplo, ante proyectos de exploración o explotación en estas aguas sin jurisdicción, se realicen evaluaciones ambientales previas. Un tema que genera y seguirá generando discusión en este sentido es la minería submarina, debido a sus potencialidades e intereses involucrados, especialmente de países del norte global. Frente a esto último, y no ligado al Tratado, algunos países han adoptado la idea de elevar una moratoria submarina, debido a las incertezas que aún se manejan con la actividad minera de los fondos oceánicos. En ese sentido, el Tratado

por Erick Cifuentes Pino

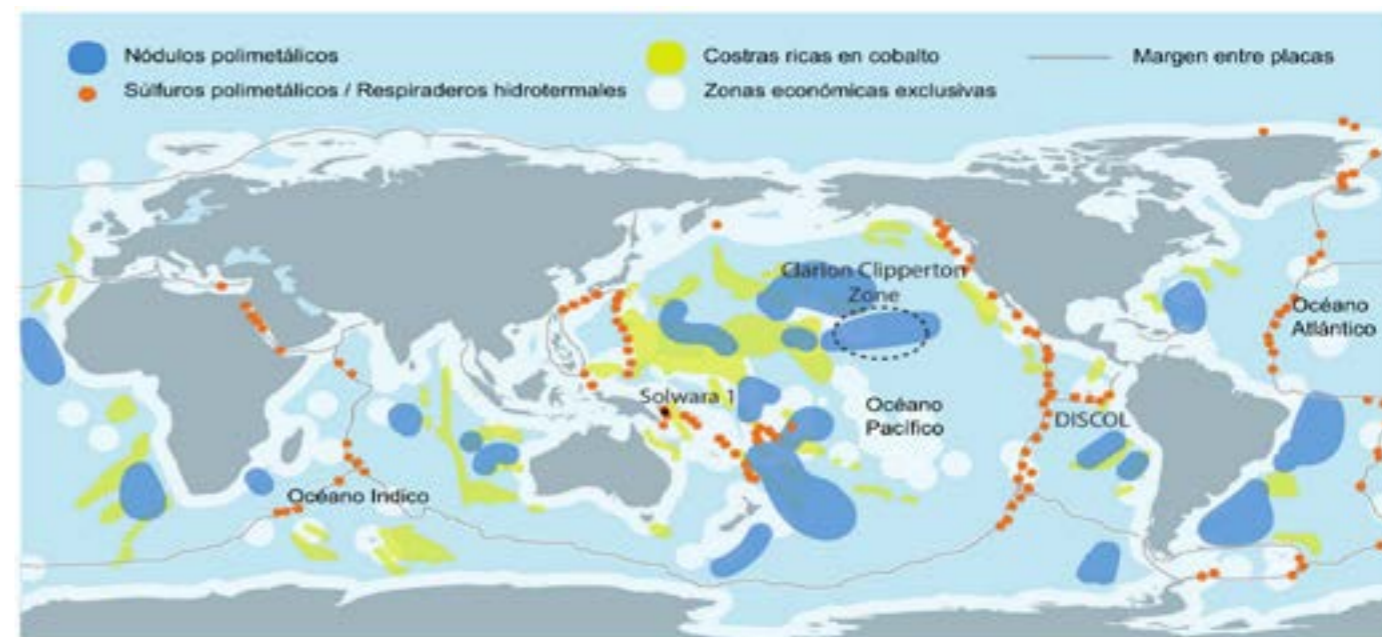


Figura 1: Distribución a escala global de los principales depósitos minerales marinos (Miller y otros, 2018). Solwara 1 corresponde a un proyecto de exploración hoy descontinuado. Clarion Clipperton Zone corresponde a una zona de alto interés de exploración y explotación. DISCOL corresponde a un proyecto de investigación de perturbación y recolonización de especies en nódulos polimetálicos.

juega un rol relevante en señalar deberes de quienes buscan explotar recursos del suelo y subsuelo marino.

SIN EMBARGO ¿NO ES ACASO LA AUTORIDAD INTERNACIONAL DE LOS FONDOS MARINOS (INTERNATIONAL SEABED AUTHORITY; ISA) QUIEN FINALMENTE ENTREGA LOS PERMISOS DE EXPLORACIÓN DE FONDOS OCEÁNICOS?

Sí, y es relevante mencionar esto porque quizá la ISA no se encuentre bajo el espectro de acción del Tratado. Para poner en contexto: La ISA es una entidad afiliada a las Naciones Unidas, que aparece en 1994 bajo la Convención de la Ley del Mar de las Naciones Unidas. En este momento es un organismo internacional que, a través de todos los países que están insertos en él, busca regular las actividades mineras en las zonas que se encuentran fuera de las zonas económicas exclusivas de cada país. Ahí es donde la ISA debe interceder para asegurar la protección del medio marino. Por este motivo, la ISA es importante frente a las iniciativas de algunos países en prospectar recursos del fondo oceánico, principalmente en el Pacífico (Fig. 1), donde existen altas concentraciones de recursos expresados en, por ejemplo, nódulos polimetálicos (Fig. 2). Si bien la ISA solo ha otorgado permisos de exploración, algunos países se encuentran a la espera de poder obtener permisos de explotación. Frente a esto, otros países han generado iniciativas para generar moratorias al

respecto, como Chile o Nueva Zelanda. Básicamente, la moratoria es un período de suspensión en la generación de permisos de explotación, permitiendo que se realice investigación en las zonas de interés, se evalúe el impacto real de explotar los fondos marinos y los ecosistemas asociados, así como también qué se hará con los recursos minerales obtenidos, considerados patrimonio común de la humanidad desde 1970 por la Asamblea General de las Naciones Unidas, y entonces, tomar una decisión al respecto.

Algunas investigaciones señalan que actividades de muestreo pueden generar marcas en el fondo marino que perduran por varios años, disminuyendo la actividad biológica en el área (Miljutin y otros, 2018). Otras señalan también que el ruido, nuevas fuentes lumínicas o nubes de polvo submarino podrían afectar negativamente los ecosistemas marinos donde se encuentran los recursos minerales (Miller y otros, 2018).

¿ES POSIBLE CUANTIFICAR EL DAÑO DE ESTAS ACTIVIDADES? ¿EXISTEN CERTEZAS QUE PERMITAN EL PLANTEAMIENTO DE PLANES DE MANEJO?

Son los países del norte global los que están más interesados en derechamente explotar estos recursos, aparentemente sin que haya necesariamente algún tipo de estudio de impacto ambiental. En el Tratado se aboga por esta situación. Sin embargo, es importante señalar que el nuevo Tratado no aplica directamente

sobre actividades que ya han sido reguladas por organismos existentes, o en otras palabras, la ISA no se verá afectada porque ya tiene cierta autoridad o regulación sobre los fondos marinos. Es un tema complejo que bajo cualquier aspecto debe discutirse para la consideración de evaluaciones de impacto ambiental para lograr la protección y conservación del océano y la biodiversidad marina, tanto de la superficie como de los fondos marinos.

¿CÓMO CREES QUE LA GEOLOGÍA EN SUS DIFERENTES RAMAS PUEDE CONTRIBUIR EN LA IMPLEMENTACIÓN DEL TRATADO Y LA GESTIÓN SOSTENIBLE DE LOS OCÉANOS?

Creo que es importante hacer un énfasis en lo importante que son los estudios en ciencias básicas, que son también lo que se busca promover mediante las moratorias que muchos países han tomado como política frente a la incerteza ambiental de la perturbación marina. Las decisiones que se tomen deben ser a partir de la evidencia, de investigaciones que puedan definir los potenciales impactos que puedan tener, por ejemplo, la minería submarina en los fondos marinos.

¡GRACIAS POR COMPARTIR TU PERSPECTIVA CON NOSOTROS! ¿TIENES ALGÚN MENSAJE FINAL QUE QUIERAS TRANSMITIR A LA COMUNIDAD GEOLÓGICA O A LA SOCIEDAD EN GENERAL?

Sí, me gustaría enfatizar la importancia de que la sociedad se involucre en el tema del Tratado de Alta Mar. No es sólo responsabilidad de los políticos, sino que las organizaciones de la sociedad civil y la ciudadanía también pueden aportar mucho desde el punto de vista de la información y sensibilización ambiental. Es importante que la sociedad entienda los detalles del Tratado y las posibles consecuencias que podría tener en su entorno y vida cotidiana. Por lo tanto, insto a la sociedad a informarse y estar abierta a recibir información sobre el Tratado, para que puedan participar de manera informada en eventuales consultas ciudadanas y evaluaciones de impacto ambiental. La sociedad tiene un papel fundamental en garantizar que el Tratado se implemente de manera sostenible y responsable, y eso solo será posible si estamos bien informados y dispuestos a participar activamente. ¡Gracias por la oportunidad de compartir sobre este importante tema con ustedes!

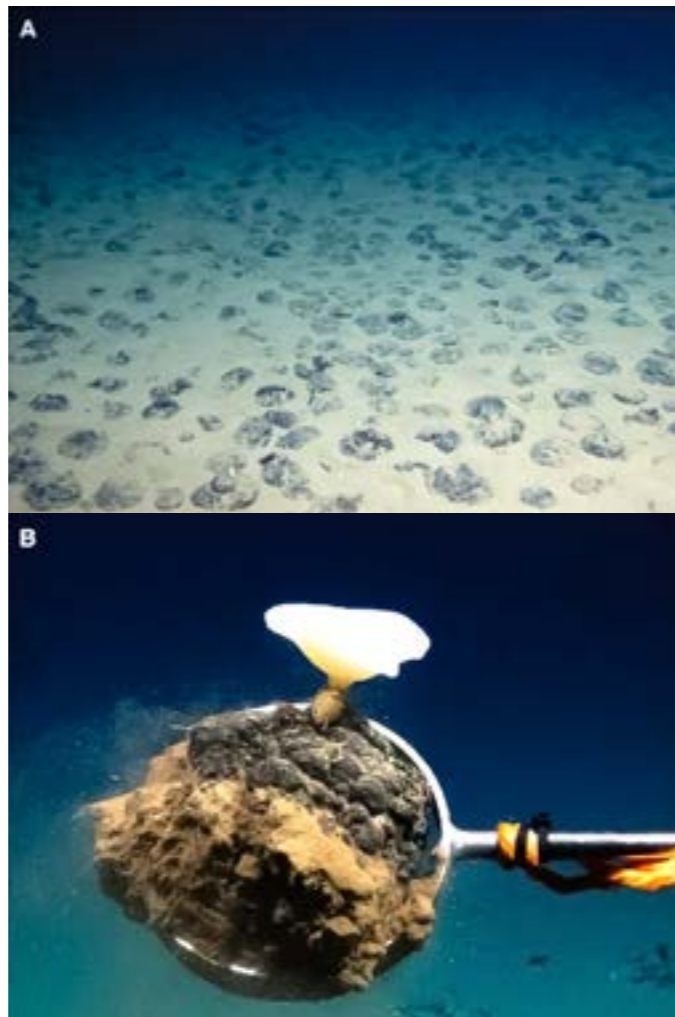


Figura 2: Nódulos de manganeso en la Clarion Clipperton Zone. Fotografía tomada por vehículo operado en forma remota (ROV) KIEL 600 durante crucero S0239 a bordo de RV Sonne. B) ROV KIEL 6000 sosteniendo nódulo de manganeso durante expedición S0242. Copyright ROV Team; GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research, Kiel.

EL IMPACTO DE LA TECNOLOGÍA EN LA SEGURIDAD DEL AGUA

por Paulina Cortez Rivera

Diversas tecnologías han alterado la forma en que somos capaces de gestionar nuestros recursos hídricos. Dados los desafíos que actualmente enfrentamos, tanto a escala nacional como global, es plausible que la tecnología juegue un rol aún más prominente en la gestión del agua en el futuro cercano.

El agua es un elemento vital para la subsistencia ecosistémica y un recurso básico para la realización de diversas actividades humanas. Por lo mismo, es de suma importancia procurar una gestión sostenible de los recursos hídricos. Dicha gestión debe considerar, entre otras cosas, el efecto de nuevas condiciones socioambientales que ejercen una presión adicional sobre los recursos hídricos, tales como el cambio climático, el aumento exponencial de la población, y cambios en los estilos de vida. Una gestión sostenible de los recursos hídricos involucra la generación de un espectro amplio de conocimientos respecto de su disponibilidad, accesibilidad, calidad, y tasa de consumo, entre otras variables. Además, una apropiada gestión de los recursos hídricos también debe considerar la generación de conocimientos respecto de sus varios riesgos asociados, tales como inundaciones, subsidencias de terrenos, y deslizamientos.

Desafortunadamente, la generación de conocimiento respecto de recursos hídricos suele no ser fácil, dadas las complejidades naturales de los sistemas hídricos y geológicos. Por lo mismo, varios centros de investigación, gobiernos, y ONGs han dirigido grandes esfuerzos y recursos para contribuir al levantamiento de información respecto de los recursos hídricos. Estos esfuerzos también involucran a los sectores privados e industriales, los cuales han empezado a tomar con mayor seriedad los varios aspectos relacionados a la gestión sustentable de recursos hídricos. En particular, agentes del mundo privado e industrial han desarrollado prometedoras tecnologías que pueden contribuir de forma significativa a la gestión sostenible del agua.

El concepto de “tecnología” es bastante amplio y está en continua transformación. Habiendo hecho esta salvedad, el concepto de “tecnología” tradicionalmente comprende aquellos bienes que nos ayudan a llevar a cabo ciertas actividades de forma más rápida, eficiente, e informada, sean estos tangibles (desde microchips a maquinaria industrial) o intangibles (desde algoritmos a protocolos). En particular, una de las actividades en que la tecnología ha asumido un rol central es la gestión y administración de recursos hídricos. Por ejemplo, distintos dispositivos tecnológicos han sido utilizados como parte de sistemas de monitoreo avanzado de aguas. Estos sistemas suelen estar conectados a bases de datos y programas computacionales que nos permiten recolectar grandes y espe-

cíficos volúmenes de información. Idealmente, esta información podría además ser guardada en “nubes virtuales”, para su uso y revisión en tiempo real, con facilidad de acceso en cualquier parte del mundo.

A pesar de sus contribuciones a la gestión sostenible de recursos hídricos, la tecnología no debe ser considerada como una panacea. Después de todo, la recolección de información respecto de recursos hídricos es importante pero no suficiente para asegurar una gestión sostenible del agua. Adicionalmente, esta información debe ser analizada y evaluada en contexto, para poder así ganar un entendimiento que nos permita tomar decisiones que se alineen con nuestros objetivos y nos eviten potenciales situaciones de riesgo. En particular, los datos recolectados deben ser enmarcados dentro de un contexto geológico, pero esta contextualización suele ser difícil cuando nuestras bases de datos son grandes, el lugar que analizamos es extenso, o debemos considerar variables adicionales, como por ejemplo la infraestructura local. En estos difíciles casos, la tecnología nos puede auxiliar mediante la implementación de diversas plataformas para el procesamiento de datos y generación de modelos integrados. La información resultante nos permite comprender el sitio de estudio en cuestión, gestionar sus recursos de forma sostenible, y no intervenir de forma inestable las dinámicas ecosistémicas.

Uno de los contextos más críticos para analizar el impacto de la tecnología en la seguridad del agua es la actual crisis migratoria de refugiados a escala global. Consideremos como ejemplo el caso de seguridad de agua en el contexto de la crisis humanitaria de refugiados Rohinyá en Bangladesh. En 2017, setecientos cincuenta mil refugiados Rohinyá se instalaron en la península de Teknaf en Bangladesh, escapando de violaciones a los derechos humanos en Myanmar. Dadas las precarias circunstancias sanitarias en los campamentos instalados, las aguas para consumo en los pozos habilitados estaban contaminadas por filtraciones desde letrinas desbordadas y pozos de lodos fecales. En particular, un 80% de las aguas de los pozos habilitados reportaron presencia de *Escherichia coli*, bacteria que en algunas de sus variedades puede ocasionar graves trastornos digestivos.

Para remediar esta situación, se llevó a cabo un estudio geofísico que permitió reconocer nuevas reservas de aguas de mejor calidad en acuíferos profundos. Parte de este estudio involucró la utilización

de programas para modelamiento, análisis, y visualización tridimensional, los cuales hacen uso de nubes virtuales para guardar información. De esta forma, agentes involucrados en el monitoreo de la crisis pueden revisar la información en tiempo real desde distintos continentes controlando los parámetros, escala de análisis, e información representada, dependiendo de sus intereses particulares. Esta cualidad fue de hecho explotada, ya que los agentes involucrados en el monitoreo de aguas se encontraban en Bangladesh, en Europa (agentes del alto comisionado para refugiados de la ONU), y Estados Unidos (equipo técnico).

Como resultado de este estudio, se entendió que la geología en los sectores correspondientes a importantes campamentos de refugiados era notablemente distinta a la geología del resto de la península de Tknaf. En gran parte de la península, los acuíferos son continuos, asociados a un grueso estrato de arenisca. Este no era el caso en importantes campamentos, donde los acuíferos más someros eran discretos y más bien pequeños. El estudio geofísico permitió encontrar nuevos acuíferos más profundos y por lo mismo mejor protegidos de la contaminación por filtraciones. De esta forma, las tecnologías aportaron de forma determinante a encontrar reservorios para asegurar acceso al agua en los campamentos.

Ciertamente, las tecnologías también pueden ser implementadas para una gestión sostenible del agua en contextos geográficos más cercanos. Por ejemplo, pensando en oportunidades para Chile, podemos considerar como nuevas tecnologías nos podrían ayudar también a una gestión sostenible de recursos hídricos, particularmente en el contexto de la sequía que experimenta el país. Un caso concreto en que la tecnología puede ser implementada es en la minimización del impacto de relaves mineros en la calidad del agua subterránea en distintos reservorios. Una gran cantidad de minas en Chile se encuentra en zonas cordilleranas, cercanas al origen de grandes cuencas que alimentan el resto del territorio. Los relaves asociados a estas minas suelen tener un grado variable de filtraciones que afectan la química del agua en estos reservorios. De esta forma, no sólo la biodiversidad circundante está en riesgo, sino también las zonas urbanas hacia las cuales estas aguas fluyen. Este es un campo de acción específico en que una mayor implementación de tecnologías de monitoreo y control de aguas en tiempo real podría ayudar a prevenir en más casos serios desastres socioambientales.

Este texto es una adaptación del reporte "UnEarthed: Water Security" de Seequent. Para mayor información, visitar [este link](#).



¿TE HAS PREGUNTADO QUÉ EDAD TIENE EL AGUA QUE CONSUMES Y USAS?

por Catalina Saldías Innocenti

El tiempo geológico puede muchas veces ser un tanto abstracto, ya que según los procesos que queramos cuantificar en términos temporales, las escalas de tiempo serán distintas. Podemos datar rocas con miles de millones de años de antigüedad que nos hablan de procesos de formación de la Tierra, rocas sedimentarias de millones de años que nos permiten caracterizar el tiempo en el que vivieron los dinosaurios, e incluso eventos más recientes de milenios de años a décadas como las glaciaciones cuaternarias, erupciones volcánicas recientes, terremotos y remociones en masa.

Lo interesante es que no solo es posible datar rocas y materia orgánica si no que también el agua.

¿QUÉ ES LA EDAD DEL AGUA?

Aquí aparecen dos conceptos importantes, los tiempos de residencia del agua y la edad del agua. La edad del agua se define como el tiempo en el que demora el agua en recorrer una distancia dada como, por ejemplo, el tiempo desde que entra al sistema por la recarga (año 0) hasta el momento en que es muestreada en algún pozo (e.g., ver "80 años" en fig. 1). Por otro lado, el tiempo de residencia se refiere al tiempo que transcurre desde que el agua entra a través de la recarga al sistema hasta que sale de este y finaliza su recorrido (flecha amarilla en fig. 1). En el caso de la Figura 1, si se muestreara en el río donde el agua ha terminado su recorrido, la edad del agua podría ser igual al tiempo de residencia. Otro aspecto relevante a tener en cuenta es que el agua en realidad es un paquete de moléculas, donde cada molécula puede tener su propio recorrido y mezclarse con otras. En consecuencia, más que una edad absoluta, en realidad se tiene una distribución de distintas edades. Es así como nace el concepto de edad aparente del agua, la cual es solo la cantidad absoluta que entrega el análisis



químico de laboratorio. La edad real y la distribución de edades se obtienen mediante distintos modelos de mezcla que utilizan ecuaciones para intentar explicar lo que ocurre realmente durante la trayectoria del movimiento del agua. El modelo más simple de todos asume que todas las moléculas de un paquete de agua siguen el mismo recorrido y no se mezclan con otras, siendo así la edad aparente igual a la real.

¿CÓMO SE DATA EL AGUA?

Para obtener el tiempo de residencia del agua es necesario el uso de isótopos y trazadores geoquímicos. Los isótopos son átomos de un mismo elemento que poseen distinto número de neutrones en su núcleo, cambiando así levemente su masa atómica. Para la geocronología se utilizan isótopos radiogénicos, los cuales debido a inestabilidades en el núcleo se desintegran en elementos distintos a una razón constante conocida como tasa de desintegración radioactiva. Podemos imaginar que tenemos un isótopo "padre"

el cual disminuye su concentración con el tiempo de manera exponencial, donde la vida media de este será el tiempo necesario para disminuir a la mitad su concentración, este isótopo "padre" va generando isótopos "hijos". Entonces para calcular el tiempo, necesitamos alguna combinación de estos datos. En el caso del ^{14}C , de manera simplificada se suele usar una concentración inicial estándar atmosférica y una vida media en torno a los 5700 años. El "reloj" de desintegración comienza a correr una vez la partícula de agua ingresa al sistema subterráneo y deja de estar en contacto con la atmósfe-

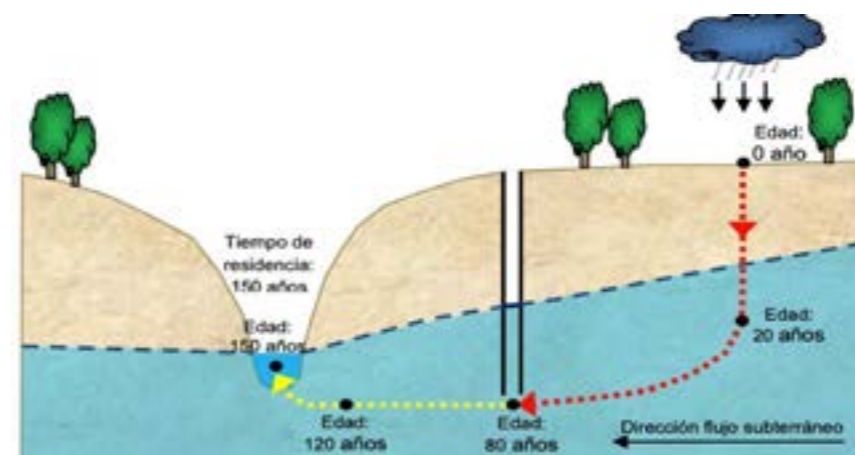


Figura 1: Edad y tiempos de residencia (Kazemi y otros, 2006).

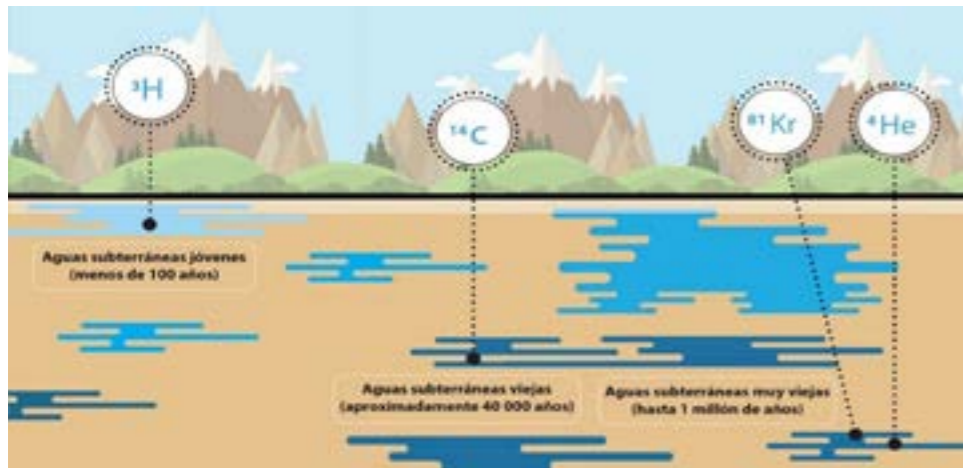


Figura 2: Edades del agua (Boletín del Organismo Internacional de Energía Atómica, vol. 60-1, 2019).

ra, y se “detiene” una vez es muestreada el agua. Así, midiendo la concentración de ^{14}C en la muestra de agua (lo que vendría a ser la concentración final del isótopo padre), podemos encontrar el tiempo. Existen isótopos con vida media mayores como el par U-Th/He o ^{81}Kr , así como isótopos de vida media mucho más corta (12.4 años) como el ^3H . Este último, junto con los clorofluorocarbonos –los cuales no son isótopos– son considerados trazadores antropogénicos para datar agua moderna (posterior a 1950). El Tritio proviene principalmente de los ensayos nucleares realizados a fines de los 50 y principios de los 60, y los clorofluorocarbonos (CFC) del uso masivo de aerosoles y refrigerantes. Es posible encontrar aguas muy viejas (hasta 1 millón de años), hasta aguas jóvenes menores a 100 años (figura 2). Por ende, el uso de distintos trazadores geoquímicos no solo aporta precisión al cálculo de la edad del agua, sino que también permite identificar aguas de distintas edades en un mismo sistema.

¿POR QUÉ ES IMPORTANTE DATAR EL AGUA?

Una de las principales implicancias que tiene la datación de aguas está relacionada con la estimación del recurso y la gestión hídrica. En un estudio realizado por Apollaro y colaboradores en 2015 mediante datos de tiempos de residencia calculados con ^3H y mediciones de velocidad del flujo en manantiales termales, se estima el volumen del reservorio geotermal, lo cual también podría aplicarse en la estimación de volumen de agua contenida en acuíferos. Por otro lado, también es posible obtener información sobre el tiempo de renovación natural del sistema, es decir, si el recurso hídrico es renovable a escala humana o no. Es así como la investigación de Gleeson y colaboradores de 2015 estima que el volumen de agua <50 años contenido a nivel global, es equivalente a un cuerpo de agua con una profundidad de 3 metros distribuida sobre la superficie de los continentes, concluyendo así que el agua subterránea renovable a escala de vida humana (25-100 años) es un recurso finito y limitado con una distribución espacial heterogénea dependiente de condiciones geográficas, geológicas e hidrológicas. En un estudio más reciente realizado por Jurgens y colaboradores en 2022, los resultados mostraron una

disminución del nivel del agua en uno de los acuíferos estudiados y que la edad del agua extraída resultó ser principalmente Holocena (75-11800 años). Mientras en otro acuífero, a pesar de ser la extracción de agua continua durante décadas, el agua extraída resultó ser primordialmente Antropocena (menor a 75 años) según los autores, con una mantención del balance hidrológico. Esto demuestra que conocer la edad del agua es relevante al momento

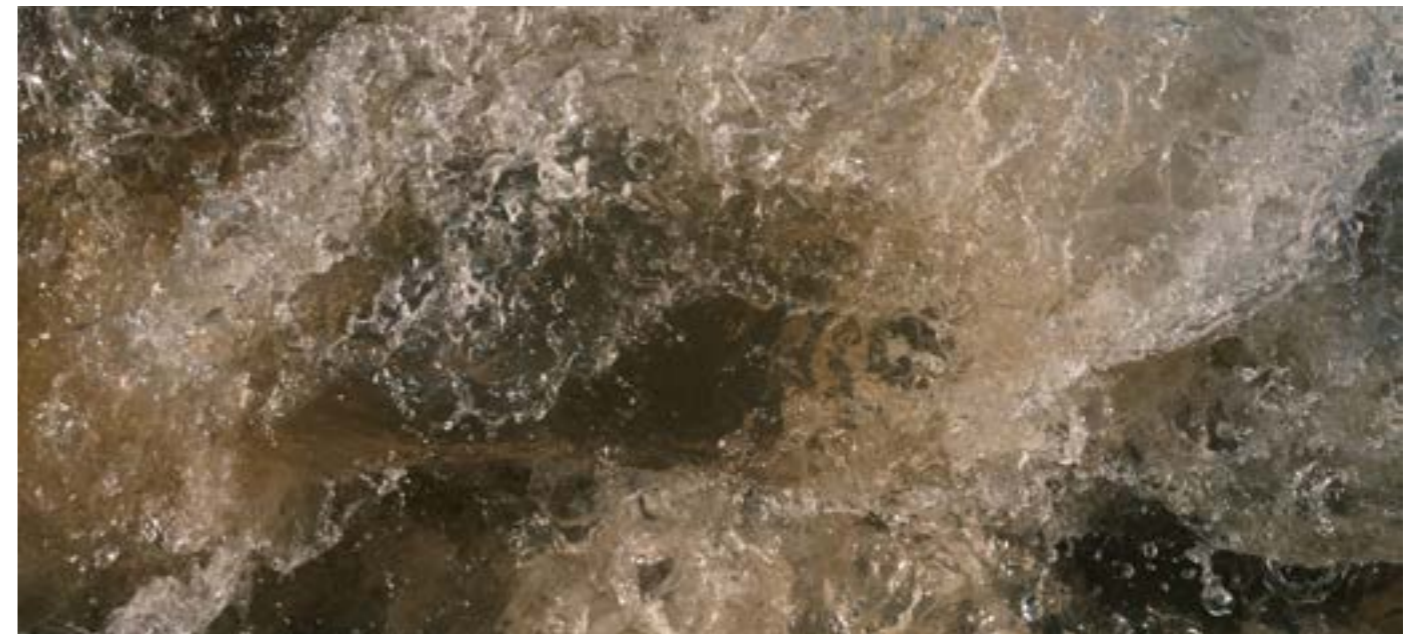
de evaluar la vulnerabilidad del acuífero a la sobreplotación y lograr una adecuada gestión del recurso hídrico, lo cual podría ser una herramienta clave en la zona centro y norte del país. En Chile no existen muchos estudios de tiempos de residencia en aguas subterráneas, pero destacan las recientes investigaciones de: Herrera y colaboradores en 2023 (Chacabuco), y las investigaciones de Herrera y colaboradores en 2018, Herrera y colaboradores en 2021 y Godfrey y colaboradores en 2021 (Desierto de Atacama).

Otra aplicación interesante de la geocronología de aguas relacionada con la geoquímica ambiental es la evaluación de la vulnerabilidad del acuífero a contaminantes antropogénicos y geogénicos. La investigación de Jurgens y otros autores en 2022, propone que recursos con mayor porcentaje de aguas modernas son más vulnerables a contaminación de origen antropogénico, mientras que en aguas con un mayor porcentaje de aguas viejas es más probable la contaminación geogénica debido a la evolución geoquímica del agua durante su circulación. No obstante, Jasechko y colaboradores en 2017, encuentran Tritio detectado en aguas que son predominantemente fósiles, lo que cuestiona un poco que las aguas fósiles no sean susceptibles a la contaminación antropogénica actual. Esto es relevante ya que, en estos sistemas de circulación fósil, las tasas de renovación son mucho más lentas, por ende, la contaminación podría persistir por milenios. Así, adquiere una importancia aún mayor el tener en cuenta las consecuencias de las actividades industriales en la calidad de los recursos subterráneos, sobre todo en regiones semi áridas y áridas que dependen de estos recursos, como el Norte de Chile.

Definiciones y conceptos obtenidas principalmente del artículo de Suckow y otros (2014) de la revista Applied Geochemistry (Vol 50), y de los libros “Isotope Methods for Dating Old Groundwater” del Organismo Internacional de Energía Atómica y “Environmental Isotopes in Hydrology” de Clark y Fritz (1997).

DIÁLOGOS A (DES)TIEMPO EN UNA INTERFAZ ARTE – CIENCIA UNA CONVERSACIÓN FICCIONADA ENTRE XIMENA AGUILAR VEGA Y CAMILA BARDEHLE RUIZ

por Catalina Buvinić – co-creadora de Simbiosis: Geociencias + Arte



Camila Bardehle Ruiz & Maria Bressanello. Paraná, el río como mar, 2022. Fotografía digital, Impresión de tinta sobre papel de algodón. Gentileza de Camila.

El concepto de Simbiosis lo tomamos para nombrar este espacio en el Grupo de Geología Ambiental desde lo planteado por autoras como Lynn Margulis y Donna Haraway: una asociación íntima y durable entre organismos de diferentes especies que viven juntos. Queremos sentar la nueva alianza entre lo humano y la naturaleza propuesto también por Illya Prigogine e Isabelle Stengers: Inspirando las visiones necesarias para enfrentar los desafíos que la época nos depara. Todas estas relaciones se entretienen en lo que las disciplinas científicas solían tratar por separado: los seres vivos, los océanos, la atmósfera, el clima, los suelos más o menos fértiles; y así ha despertado la creatividad de diversas y diversos artistas, desde la naturaleza, el reino de las geociencias.

Toda ciencia y arte evolucionan a través del estudio de la naturaleza, nada es excluido. Comenzamos con una observación y finalizamos con una interpretación. Del mismo modo que el quehacer artístico anticipó muchos de los descubrimientos de la ciencia, las ideas de los científicos han explicado las percepciones

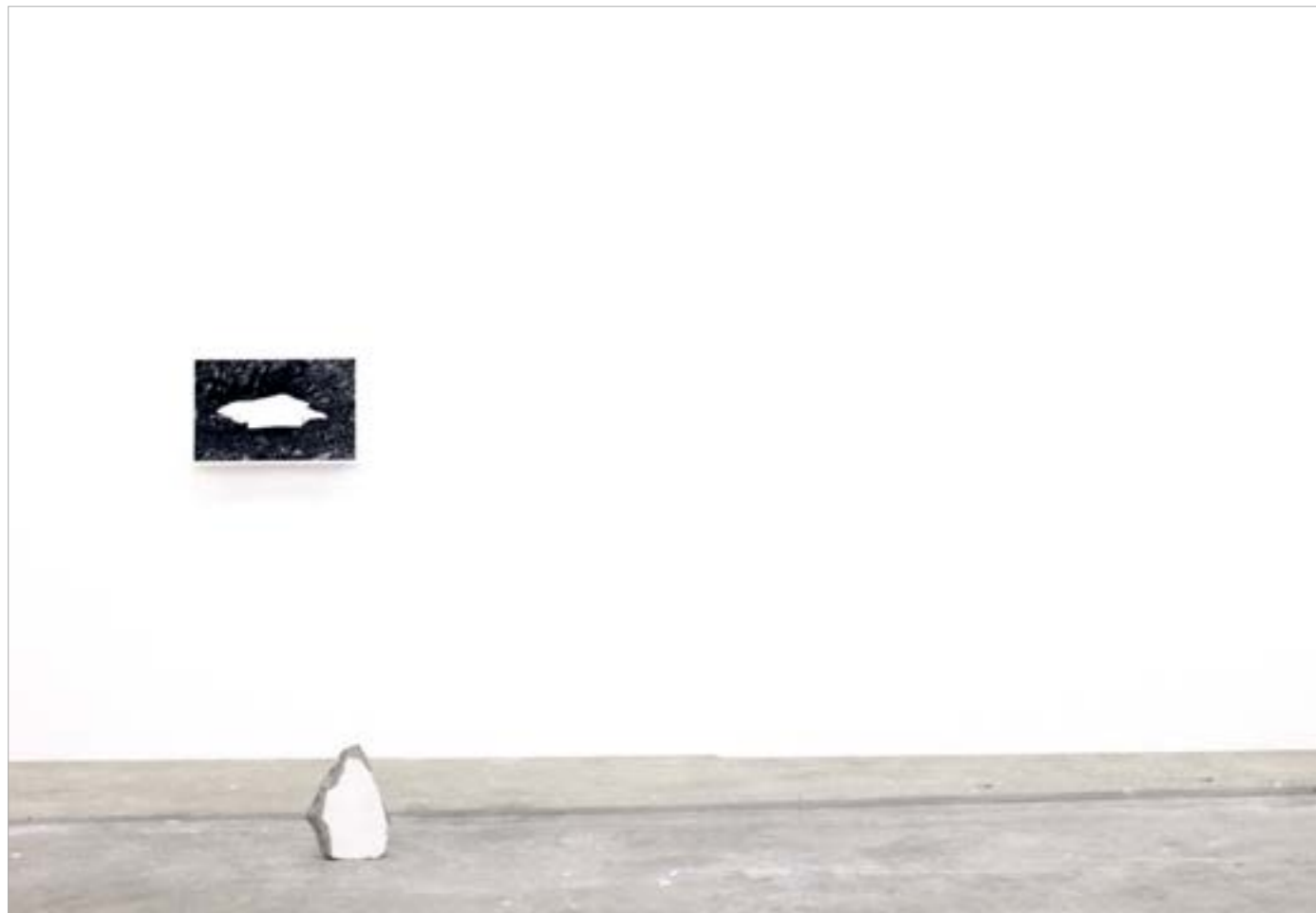
de los artistas haciendo énfasis en las redes entrelazadas antes que en las diferencias. Desapasionar el conocimiento no nos proporciona un mundo más objetivo. Las geociencias atraen y estimulan todos nuestros sentidos. Los cuerpos orgánicos e inorgánicos, los objetos naturales y culturales son todos de la misma sustancia, hoy llamándola átomos, cuarks, corrientes de partículas o materia-energía.

El conocimiento crece y se enriquece a través de conversaciones cruzadas. Específicamente, esta conversación no ha pasado. O, más bien, no ha pasado en las mismas escalas de tiempo y espacio. Patagonia austral es el paisaje y territorio de fondo, donde se originan y materializan diversas inquietudes de dos mujeres, conversadas en torno a un elemento en particular: el agua. La ficción coopera y permite este entramado escrito de diálogos entre ciencia y arte, entre Ximena y Camila.

Lo que sigue, es lo que habría ocurrido al encontrar una mixtura de saberes y fundiciones entre arte y ciencia a través de una mirada contingente y creativa.

“El arte y la ciencia se confundían en el desarrollo de una memoria dinámica de la cultura humana y en beneficio de las relaciones con el territorio y los demás seres de la naturaleza.”

Extracto de “El cuidado del agua” (2018)



Camila Bardehle Ruiz. Paisajes desplazados, 2023. Piedra de concreto e impresión de tinta sobre papel de algodón. Gentileza de Camila.

AGUA Y LUZ COMO TERRITORIO PRIMIGENIO

CAMILA: En ese sentido el agua siempre ha estado, porque yo viví mis primeros años en la isla de Tierra del Fuego, rodeada de agua. Con mi familia teníamos que atravesar el estrecho mínimo una vez al mes, para las compras, trámites, etc. Esas primeras memorias del agua son fundamentales también. No sé... El olor de la barcaza, las toninas. De hecho, volví a ir hace dos veranos. Fue súper interesante. Tenía muchas ganas de volver.

Por ejemplo, cuando hice mi examen de grado de Arte me acompañó en el taller de producción de obra, una profesora llamada Mónica Bengoa, ella es una artista visual muy buena. Me acuerdo que el día de la presentación del examen, recién allí, ella me hace notar la relación que veía de Punta Arenas o de la luz de Punta Arenas en mi trabajo, que estaba haciendo en Santiago. Me parecía que no tenía nada que ver, nunca lo pensé. Mónica conoce Punta Arenas. Ha expuesto y visitado varias veces. Me recalca: Hay algo de la luz, en cómo entiendes la luz de allá, la traes y la buscas acá (Santiago). Para mí fue muy revelador. Y compartiéndolo el último día, el mismo día de la presentación. Me vio durante todo el proceso y esperó hasta el último día. Sino yo lo hubiera forzado, era algo que claramente



Ximena Aguilar Vega. Muestra de testigo de hielo. Gentileza de Ximena.



Ximena Aguilar Vega. Embarcación en Antártica durante la Expedición Científica Antártica del Instituto Antártico Chileno del verano austral 2023 (ECA59 / INACH). Gentileza de Ximena.

te tenía que descubrir o esperar terminar el trabajo para entenderlo. Sentí que eso fue de una sensibilidad y una generosidad enorme. Esperar y guardar eso hasta el último día.

XIMENA: Fue una opción que yo busqué realmente. Siempre fue una opción que yo busqué realmente. Siempre tuve un interés muy particular en el agua, siempre. Tengo la necesidad de estar en el agua, me siento muy bien. Puede sonar muy absurdo, por ejemplo, cuando yo me baño, me siento como en mi hogar. Al magister, llegué estando segura de que quería estudiar el Océano Antártico u Océano Austral. Sin embargo, la primera vez que vi un glaciar, el glaciar Tyndall en 2019, todo, absolutamente, todo cambió. Me acuerdo súper bien. Lo vi, al glaciar, no sé... Siempre lo explico de esta forma: Fue como si el glaciar me tomara y me transformara por completo. Todavía no logro comprender qué es lo que me pasó en ese momento. A partir de ahí, ya no volví a reconsiderar nada más. Empecé de lleno a estudiar el hielo, el agua, todo... En todas sus formas. Desde entonces supe que quería estudiar el hielo y el océano. Así, clarísimo. Empecé a dirigir mi atención hacia el océano y los glaciares, a la interacción. Entonces empezó toda mi fascinación por el hielo, por entender el hielo, cómo se mueve. Finalmente, el hielo es agua en otro estado. El agua siempre ha estado presente, ahí está.

Punta Arenas me brindó muchísimas oportunidades desde que llegué aquí. No sólo me transformé en el momento que vi al glaciar también comencé a tomar todas las oportunidades que me llegaban en el magister. Tuve la oportunidad de ir a Antártica por primera

vez con la NASA, ¡en un avión de la NASA! Estuve allí. Después tuve oportunidad de ir a Antártica en otra expedición. Y así, varias cosas me ocurrieron aquí en la ciudad, o sea, yo agradezco muchísimo haber estado acá. Desde que llegué ha sido increíble.

EMBARCACIONES FLUCTUANTES

CAMILA: El año pasado hice este viaje por el río Paraná con una amiga artista, María Bressanello. Viajamos por el río Paraná desde Buenos Aires a Iguazú en un barco de finales de los 1900. Fue una experiencia atravesar ese territorio, tener esa experiencia corporal de navegar por dos meses en este barco y a partir de allí creamos varios trabajos con proyecciones y yo trabajé algunas cosas con dibujo y presentamos parte de eso en la Bienal Concepción del año pasado. Fue bien particular, porque yo no tenía mucha relación con los ríos, era algo bien nuevo para mí. Había hecho una residencia también en el río Tigre, en uno más pequeño. Fue mi primera aproximación, pero fue una residencia más cortita. No conseguí trabajar mucho desde allí y quedé medio en pausa. Llega esta invitación de María, de acompañarla a este viaje y, claro, absolutamente radical. Desde el color, el movimiento, la dimensión. Era lento, el barco iba a 12 km/hr. Un total absurdo. Si hacíamos ese viaje desde Buenos Aires a Iguazú, no sé, en auto son dos días, no es nada.

Fueron dos meses viviendo en el barco con cinco personas. Es entrar en esa temporalidad del río, realmente entrar en esa vibración y entender las particulari-



Camila Bardehle Ruiz & Maria Bressanello. Paraná, el río como mar, 2022. Fotografía digital, Impresión de tinta sobre papel de algodón, medidas variables. Gentileza de Camila.

dades del río. Fue un viaje super interesante, además de estar nosotras dos que somos artistas, iban tres personas más que eran parte y los que más sabían de navegación. Entonces nos nutrimos mucho de ese viaje, de lecturas, de diferentes estudios y referencias.

Hay un proyecto muy lindo que se llama Paraná Ra'anga, es un viaje que se hizo por el Paraná, donde invitaron a artistas, músicos y científicos. Veinte días por una parte del Paraná y a partir de eso hicieron un documental donde iban mostrando todas las paradas que iban haciendo y cómo estos distintos agentes de distintos lugares iban nutriendo este viaje. Nosotros íbamos viendo estos documentales también. Las otras personas en el barco tenían un amigo geólogo, entonces le enviamos lo que íbamos viendo en las orillas del río y él nos iba comentando y enseñando lo que estábamos viendo. Entonces fue un viaje que, si bien fue el año pasado, yo todavía estoy decantando.

XIMENA: Estoy siempre en estaciones y salgo en una embarcación pequeña, porque como yo estudio justamente la intersección entre el glaciar y el sistema marino tiene que ser algo pequeño para que puedan entrar.

Entonces en Antártica fue en la estación Yelcho y en el Ártico fue en la estación Nielson, pasa que es un pueblo muy particular, hay varias estaciones científicas de

muchos países y hay un laboratorio marino. Ahí preparaba todo y salíamos en una embarcación pequeña, cada tercer día o cada cuarto día y andábamos navegando. Yo tomé también muestras de hielo marino, estuve sobre hielo marino, tomé muestras del color del hielo, muestras de agua. Saqué testigos de hielo para ver la distribución del carbono orgánico. Eso fue lo que hice en el Ártico, o sea, algo muy similar a lo que hice en Antártica para poder compararlo.

Esta conversación ficcionada entre Ximena y Camila continuará en los siguientes número de Geohuellas para que esta mixtura de aguas siga percolando y podamos indagar en diversos aspectos artísticos y científicos. Queda la invitación extendida para explorar las publicaciones de Simbiosis: Geociencias + Arte en el Grupo de Geología Ambiental (@geologia_ambiental) y los trabajos de Camila (@camilabardehle) y Ximena (@ximena.av).



POEMA A LA TIERRA, Y EL MIEDO

por Ariel Alarcón

A los cielos un clamor se ha alzado,
donde raudo el viento corre,
azules centellas fulminantes del ayer.

El sueño de la vida pasa,
secas las lágrimas,
sal para la yerma tierra.

Donde antaño cantaban las corrientes,
epopeyas de vigor y dicha,
de la verde promesa del gestar.
Hoy pálidas y marchitas,
al cielo las hojas miran.

Sedienta la tierra,
salvaje la nube,
llega para el día de luz,
Se va para el tiempo de la pena.

POEMA A LA TIERRA, Y LA ESPERANZA

por Ariel Alarcón

El fatuo fuego de la tierra,
rey del perecer se alza.
una estrella resplandece,
en el oscuro telar del desierto.

¡Una luz, tormento del olvido!
El telar se estrecha,
pero el azul hilo persevera.

Rota su trama, en abrazo se refuerza,
se alza desafiante, al final del reloj.
Lo que ayer fue roto,
hoy puede ser zurcido.

La sangre de la tierra es delgada,
pero su final nunca la alcanzará.

Hay de la desesperanza,
donde la vida fue escrita,
ya no puede ser borrada.
Dulces las lágrimas,
del mañana que con dicha,
volverá a refrescar.



por Hernán Bobadilla Rodríguez



≡HERNÁN≡

Dados tus múltiples intereses, ¿fue un problema para ti integrar estas varias aristas durante tu educación? ¿Pudiste satisfacer tus inquietudes filosóficas y artísticas en la universidad?

≡VALERIA≡

Al menos las filosóficas, sí. Eso lo agradezco bastante. En la Universidad de Chile, tenía la opción de tomar cursos de “formación general”, algunos con énfasis en ética y filosofía. ¡Yo los tomaba feliz! En cuanto a lo artístico, ahí la universidad estaba más desprovista, aunque tomé un par de cursos de historia del arte. Pero seguí desarrollándome artísticamente de forma paralela, en mi casa, en cursos, y en otros ambientes en los que podía interactuar con personas en esos términos. Al principio, no pude dedicarme mucho a esto porque los primeros años de universidad son bien exigentes. El paso del colegio a la universidad no es tan sencillo y a veces una está super perdida. Pero después ya pude integrar varias cosas en mi diario vivir.

≡HERNÁN≡

También te quería preguntar respecto de tu experiencia en la universidad como mujer. Sabemos que existe un problema de representación de género en los espacios de ciencia, tecnología, ingeniería, y matemáticas. ¿Cómo lo percibiste tú, no solamente en el caso de tu educación sino también en tu transición al mundo laboral universitario?

≡VALERIA≡

Mira, cuando yo entré a la Universidad, la estadística era que una de cada cinco estudiantes era mujer. En ese sentido, al principio me sentía rara. Sin embargo, yo siempre estudié en colegio mixto, por lo cual nunca me pareció extraño estar con hombres. Además, en los años de escolaridad no me consideraba muy femenina, así que en este otro sentido logré estar cómoda en el ambiente universitario. Ya en ingeniería química, extrañamente, había más mujeres que hombres (o personas de sexo femenino para ser más clara). Y lo mismo ocurrió cuando entré al Magíster en Meteorología y Clima donde, al menos en mi generación, había más mujeres que hombres. Ese fue el tiempo en que más interactué con mujeres en el ámbito científico. Cabe mencionar que en el Departamento de Geofísica había investigadoras mujeres muy prominentes, como Laura Gallardo o

Maisa Rojas. Además, había varias figuras femeninas formando parte del departamento en otros ámbitos. Por ejemplo, asociadas al Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia (CR2), había periodistas, coordinadoras, y otras funcionarias además de las académicas. Más aún, el CR2 tiene una cualidad muy interdisciplinaria que permite que personas de varios departamentos y facultades converjan e integren su trabajo. Por lo mismo, había bastante diversidad en el ambiente, no solamente en términos de género sino también en términos de áreas del conocimiento.

≡HERNÁN≡

Transicionando hacia preguntas de carácter más científico, quisiera pedirte que nos des una perspectiva amplia de los problemas más serios que enfrentamos hoy a escala nacional en el ámbito de recursos hídricos.

≡VALERIA≡

Yo creo que varios de los problemas que enfrentamos hoy los hemos tenido desde hace varias décadas, y son varias las clases de problemas que debemos atender. Sin duda, tenemos los problemas asociados al cambio climático, el cual altera los ciclos hidrológicos y afecta la disponibilidad de agua para muchos ecosistemas. También tenemos problemas de degradación y contaminación de grandes fuentes de agua dulce, producto de la actividad humana. Sin embargo, yo diría que uno de los problemas que debemos aprender a enfrentar mejor como país es la gestión del agua. Esto es, debemos pensar mejor respecto de cómo el agua nos llega, cómo distribuirla, cómo emplearla, y cómo sanearla después de su uso, dadas las nuevas circunstancias climáticas. El interés en estos asuntos ya ha sido manifestado, por ejemplo, durante el primer proceso constituyente. Sin embargo, hay más aristas respecto de la gestión del agua que son relevantes, como los eventos extremos. Los eventos extremos no son frecuentes: no se repiten sino después de algunas décadas. Por ello, tendemos a no darle tanta atención, aun cuando algunas decisiones de infraestructura podrían ser muy ventajosas. Considera los aluviones en Atacama de hace algunos años producto de las intensas lluvias. Estas son áreas donde falta agua, y por lo mismo, lo ideal habría sido tener alguna forma de canalizar o captar esas aguas de lluvia para distintos usos, y de paso evitar algunos desastres al diseñar mejor la infraestructura de la ciudad (esto es, disminuir el riesgo).

≡HERNÁN≡

Y entonces, ¿qué es lo que está faltando para abordar estos problemas de gestión del agua de forma más robusta? Pareciese que no es información o conocimien-

to lo que está faltando. Y dada la importancia de los recursos hídricos, uno podría esperar mayores esfuerzos dirigidos a resolver estos problemas.

≡VALERIA≡

Sí, yo también creo que conocimiento no es lo que más falta. Pero tampoco creo que haya una falta de voluntad respecto de resolver estos problemas. De hecho, creo que varios de los procesos políticos que está teniendo el país responden a que se está empezando a pensar políticamente de forma más consciente. Esa voluntad se está dando, aunque aún no es completa. Siendo más específica, creo que un aspecto crucial para mejorar los problemas de gestión del agua es involucrar a un universo amplio de actores, quienes apunten a los varios elementos que deben ser gestionados. Estos elementos van desde la recepción del agua, su almacenamiento, la calidad del agua al ser retornada a sus cauces, legislar acordemente al uso, la protección de ecosistemas, e invertir en infraestructura. Y adicionalmente, debemos adoptar un pensamiento más amplio para poder llegar a acuerdos aceptables y no quedarnos inmovilizados por años tratando de alcanzar unanimidad en los detalles. Por ejemplo, yo he estado atenta a los procesos de leyes de cambio climático, y toman cerca de diez años desde que se planea y se escribe un proyecto, hasta que se hace ley votada y aprobada. Algunos de los problemas de gestión del agua demandan mayor urgencia, por lo que debemos repensar el marco temporal de ejecución.

≡HERNÁN≡

Varios de los problemas de gestión de los que hablas apuntan a cómo nos debiésemos adaptar a las nuevas circunstancias en que se encuentran los recursos hídricos. Pero ¿podemos aún pensar en mitigar la alteración de los ciclos hidrológicos o incluso revertir sus tendencias?

≡VALERIA≡

No sé si revertir, pero sí mitigar, absolutamente. Por ejemplo, se pueden hacer cambios en el diseño de nuestra matriz energética o en nuestros patrones de conducta en torno al agua que desaceleren los cambios en los ciclos hidrológicos. Algo nuevo que está tomando vuelo es el concepto de “soluciones basadas en la naturaleza”, que se encuentra a medio camino entre la adaptación y la mitigación. Básicamente, la idea es que las intervenciones humanas que promueven la adaptación sean coherentes con las dinámicas naturales de la localidad donde la intervención se lleva a cabo. Hay un caso en Estados Unidos de un muelle que era afectado frecuentemente por marejadas, causando inundaciones y destrozos en la infraestructura. Una

≡HERNÁN≡

Deseo comenzar con algunas preguntas de carácter biográfico. Primero, ¿nos podrías contar cuáles fueron las motivaciones que te llevaron a estudiar geofísica y en particular a estudiar meteorología y clima?

≡VALERIA≡

Bueno, en realidad tengo varias motivaciones e inquietudes, más allá de lo estrictamente científico. En particular, hay dos ámbitos que son bien importantes para mí: las artes y la filosofía. Posiblemente, mucha gente creyó que yo iba a estudiar la una o la otra. Sin embargo, para mí, estas inquietudes están muy emparentadas, en particular la ciencia y la filosofía. Ambas estudian qué es la realidad, una desde el pensamiento y el raciocinio, la otra desde la materia, observándola y manipulándola. Así que, al momento de elegir una carrera, opté por el plan común de ingeniería en la Universidad de Chile, en línea con mi lado más científico/matemático. Eventualmente, sentí la necesidad de aprender más sobre los varios problemas ambientales que estamos enfrentando. Por ello, decidí estudiar Ingeniería Química y posteriormente Meteorología y Clima.

posible solución podría haber sido construir zanjas o grandes murallas de contención. Pero las personas encargadas de resolver el problema finalmente reconocieron que la zona donde el muelle estaba construido era naturalmente un área de humedales. Por ello, la decisión que tomaron fue la de restaurar el humedal y, de forma paralela, construir un parque que se adaptaba a las dinámicas de éste, con senderos y ciclovías. Al poco tiempo dejaron de tener los problemas de inundación y destrucción de infraestructura y, más encima, el sector se convirtió en un espacio bonito para que las personas salieran a pasear.

≡HERNÁN≡

¿Qué experiencias hay en Chile de soluciones basadas en la naturaleza? ¿Se ha empezado a discutir estas iniciativas?

≡VALERIA≡

La verdad es que cada vez que lo menciono, todo el mundo me pregunta qué es eso. Así que creo que es un concepto que no está siendo muy ocupado. Yo lo conocí en mi trabajo para el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). A pesar de que hay trabajo y publicaciones en este tema a escala global, aún no es suficiente, y no se ve reflejado a escala nacional. Espero que cada vez que lo menciono, siembro un poquito de duda y curiosidad.

≡HERNÁN≡

Bueno, esto nos sirve como perfecta transición hacia el campo de la comunicación científica, en el que tú te has desempeñado, en particular ahora como coordinadora ejecutiva del Museo del Agua. ¿Cómo nace esta iniciativa y cómo es que tú llegas al museo?

≡VALERIA≡

Llegué más bien gracias a mi faceta artística, de la que hablamos al principio de esta entrevista. Partió con un proyecto que hicimos con unos amigos (uno artista y dos científicas), el que consistió en diseñar una exposición sobre la lluvia. Era realmente un grupo interdisciplinario, ideal para el proyecto. Las dos científicas eran parte de la Red de Educación Latinoamericana por el Medio Ambiente (RedLama): Macarena Troncoso, oceanógrafa y educadora, y la otra experta en estudios atmosféricos, muy aficionada a la lluvia. Es gracioso porque su nombre es Rocío Ormazábal y tiene un Instagram dedicado exclusivamente a las nubes (@observanubes). En esos tiempos, yo estaba también involucrada en espacios de arte y de dibujo. Y fue en uno de esos espacios donde conocí a Fernando Silva De la Cruz, quien es animador y cineasta. Así que una de sus grandes habilidades era el contar historias. Luego, cuando decidimos juntarnos a planear la exposición, sabíamos que queríamos algo científicamente riguroso, pero que además tuviese un hilo narrativo, que fuese como un cuento, acompañado de una ex-

periencia visual. Nuestra aspiración era que, con esta estrategia expositiva, lograríamos no solo enseñar, sino también generar interés, preocupación, y un goce estético. Postulamos a un fondo para llevar a cabo el proyecto y lamentablemente no lo ganamos, pero nos fue bien y la experiencia sirvió para hacer contactos y ganar reputación.

Así fue como un día recibí un correo de las personas involucradas en el Museo del Agua de la Universidad de O'Higgins. Ellos recién habían ganado un fondo del Ministerio de Educación para implementar el museo. Querían conversar conmigo porque les faltaba un poco de ayuda administrativa y buscaban a una persona que integrara el entendimiento científico del agua con una visión artística. Así que postulé, me eligieron, y empecé a trabajar como coordinadora ejecutiva.

≡HERNÁN≡

¿Qué tan artísticamente involucrada estás en lo que se hace en el Museo del Agua?

≡VALERIA≡

Me gustaría hacer más arte... Pero la verdad es que mi trabajo consiste en gestionar otros trabajos y liderar a los equipos. Es cierto que tengo algún grado de influencia porque me involucro y converso bastante con la gente que, por ejemplo, ha hecho videos para el Museo del Agua. Aporto ideas tanto en lo científico como en lo visual.

≡HERNÁN≡

Dado este rol central que cumples en el Museo del Agua, ¿nos podrías describir cual es la visión que deseas concretar y comunicar mediante el museo respecto del agua?

≡VALERIA≡

Hay al menos dos asuntos que nos importan mucho y que deseamos transmitir mediante el museo. Lo primero es que queremos fortalecer la idea de que el agua no es sólo un recurso para la extracción y uso humano, sino que, por sobre todo, es un elemento vital para todos los ecosistemas. Y nos gusta usar la palabra "ecosistema" para hacer hincapié en que es importante considerar todas las formas de vida. Más aún, el agua no es sólo consumida, sino que también es el medio en que varios seres conviven. Es un medio que moldea los espacios en que vivimos, por ejemplo, erosionando las rocas y generando cuerpos de agua que propician una vida en particular. En ese sentido, nos gusta referirnos a nuestra visión como una "visión eco-céntrica", la cual creemos es importante para transformar nuestra cultura y relación con el agua.

Lo segundo es que queremos que el museo adopte una visión holística respecto de los saberes que tenemos como especie humana en torno al agua. No queremos meramente enfocarnos en los conocimientos científicos

clásicos de la química o la física del agua. Queremos también considerar la visión de las ciencias sociales, la historia, y las artes. Incluso, queremos abordar cómo la humanidad se ha vinculado con el agua de manera espiritual. Creemos que todos estos aspectos son igualmente relevantes y constituyen distintas perspectivas en torno al agua. Esto hace que el museo tenga un carácter multidisciplinario.

≡HERNÁN≡

Según esto, percibo que el museo aborda varios aspectos del agua con una actitud integradora, propositiva, y afirmativa, enfocada en lo ecosistémico más que en lo estrictamente humano. Esto parece contrastar con la actitud antropocéntrica, catastrofista y a veces apocalíptica con que varios medios abordan las circunstancias ambientales actuales. ¿Es ésta una decisión consciente dentro de sus afanes comunicacionales? ¿Cómo pretenden abordar aquellos aspectos más "oscuros" de las circunstancias actuales del agua?

≡VALERIA≡

Mira, no es que el museo no vaya a hablar de cosas "negativas". Por supuesto, vamos a abordar temas como los eventos extremos (por ejemplo, los aluviones de los que hablamos antes), o la polución humana en cuerpos de agua. Pero efectivamente, no es nuestra idea comunicar solamente lo negativo sin entregar herramientas para lidiar con ello. En otras palabras, no se logra mucho solo asustando a la gente y generando pánico. Es por ello que nuestra visión involucra la expectativa de que las personas tomen conciencia y trabajen en pos de una situación más favorable. De nada sirve que la gente tome conciencia de la gravedad de los problemas sólo para tener ansiedad climática y no hacer nada porque sienten que ya no hay vuelta atrás. Debemos entender la situación actual, pero también debemos entender qué podemos hacer para mejorar nuestras circunstancias. Es como tener una herida. No podemos simplemente decir "bueno, ahí está la herida, que lamentable". No, la idea es hacer algo: curarla, limpiarla, si necesita un parche ponérselo, para que sane bien.

≡HERNÁN≡

¿Cómo les ha ido con la propuesta hasta el momento? Entiendo que ya tienen un sitio web andando y están a la espera de obtener un espacio físico para el museo.

≡VALERIA≡

Sí, el sitio web está funcionando (www.museodelagua.cl). Ahí estamos integrando distintos materiales en los que estamos trabajando, dado que el sitio partió hace poco en 2022. Vamos a seguir subiendo nuevos videos y materiales de uso escolar, tanto para estudiantes como profesores. Y prontamente tendremos un espacio físico para comenzar con nuestras primeras visitas. De hecho, el museo estará en la localidad de Rengo,

donde hay un campus de la Universidad de O'Higgins, cuyas dependencias debemos refaccionar para que se transformen en el Museo del Agua. Como esto es una inversión grande, pretendemos iniciar actividades con recorridos al aire libre y desde ahí vamos a seguir construyendo. Tomará algunos años, pero vamos paso a paso.



XIMENA AGUILAR VEGA
FOTÓGRAFA Y GLACIÓLOGA DE ORIGEN MEXICANO.

Nacida en Ciudad de México, cursa primero fotografía y luego continúa con estudios en Biología en la Universidad Autónoma Metropolitana en la Unidad Xochimilco (UAM – X). Ximena llega a este sur austral a través del magíster de Ciencias Antárticas con mención en Glaciología de la Universidad de Magallanes (UMAG). Hoy vive en Stirling, Escocia donde realiza su doctorado enfocado en la bio-óptica de la interacción glaciomarina.



CAMILA BARDEHLE RUIZ
ARTISTA VISUAL MAGALLÁNICA.

Nació en Punta Arenas y con diez días de vida partió junto a su familia a la isla de Tierra del Fuego, a los campamentos de ENAP en Cullen y Cerro Sombrero hasta los seis años. Posteriormente, la familia regresa a Punta Arenas y, a los 18 años, Camila emigra a Santiago, donde estudia Arte en la Universidad Católica de Chile (PUC). Vivió – con intermitencias – en Valparaíso durante diez años para luego radicarse en São Paulo, Brasil, donde habita hoy en día

KRISTIAN AGURTO VELÁSQUEZ
GEÓLOGO Y DOCTOR (C) EN CIENCIAS MENCIÓN GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE.

Su línea de investigación es la Geología Forense, donde analiza suelos desde su componente geoquímica e isotópica para la resolución de casos policiales y delitos medioambientales. Es el primer candidato a Doctor del país en realizar estudios geológicos relacionados a la ciencia forense. Es miembro de la Initiative on Forensic Geology de la International Union of Geological Sciences (IUGS-IFG), miembro de la Sociedad Geológica de Chile en los grupos Educación y Geología Ambiental, y es Coordinador Subrogante de la Red Iberoamericana de Investigadores Forenses para el Nodo Chile (RIIF).



HERNÁN BOBADILLA RODRIGUEZ
FILÓSOFO (PHD UNIVERSIDAD DE VIENA) Y GEÓLOGO (MSC UNIVERSIDAD DE CHILE). PROFESOR ASISTENTE, DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS DEL POLITECNICO DI MILANO, ITALIA.

hernanfelipe.bobadilla@polimi.it

Filósofo de la ciencia especializado en ciencias de la Tierra. Recipiente de la “Marie Skłodowska-Curie Action” 2023 (Horizon Europe) por su proyecto: “Understanding Under Uncertainty: Symbiotic Relations Between the Storyline Approach and the Philosophy of Scientific Understanding” (UN3).



ARIEL ALARCÓN VELOSO
GEÓLOGO (UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS), DISEÑADOR GRÁFICO PROFESIONAL Y DIPLOMADO EN GEOMÁTICA APLICADA (UNIVERSIDAD DE CHILE).

Actualmente trabaja como geólogo especialista en SIG, enfocándose en la producción de mapas web interactivos. Además, se desempeña como asesor en big data para una empresa de inversión inmobiliaria, donde diseña y desarrolla soluciones digitales para el procesamiento e interpretación de datos. A la fecha es parte del grupo de Geología Ambiental de la Sociedad Geológica de Chile, donde ha contribuido como diseñador gráfico en el desarrollo de sus identidades gráficas de marca y en el diseño de los números 3, 4 y 5 de la revista Geohuellas.



JOSÉ CABELLO LECHUGA
GEÓLOGO ECONÓMICO. DIPLOMADO EN COMUNICACIÓN DE LAS CIENCIAS (UNIVERSIDAD DE CHILE).

Ha sido presidente de la Sociedad Geológica de Chile (2015-2018), asesor del Director del Servicio Nacional de Geología y Minería (Chile), así como Miembro de las Cámaras de Comercio Chileno-China y Chileno-Finlandesa en Santiago. Trabajó en diferentes empresas e instituciones mineras de América, Europa y Asia. Desde 2005, consultor para al menos 46 firmas u organizaciones nacionales e internacionales. Su variada experiencia abarca los campos de geología económica, exploración, minería, inventarios de recursos minerales, evaluación de proyectos y bases de datos. Conferencista y profesor regular en Chile y extranjero.



ERICK CIFUENTES PINO

GEÓLOGO DE LA UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN, DIPLOMADO EN MEDIO AMBIENTE Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL (UNIVERSIDAD DE CHILE) Y DIPLOMADO EN CARACTERIZACIÓN Y GESTIÓN DE HUMEDALES (UNIVERSIDAD AUSTRAL DE CHILE).

Ha sido partícipe de expediciones a bordo de buques oceanográficos en territorio nacional y antártico en proyectos nacionales e internacionales, realizando investigaciones en tópicos asociados a geología marina, sedimentología y geoquímica de aguas. Actualmente se dedica a la realización de consultorías de carácter ambiental y, además, forma parte del Grupo de Geología Ambiental de la Sociedad Geológica de Chile y Fundación Ekuwün.



JOSEPH JULCA MENDOZA

BIOLOGO MARINO Y MAGISTER EN HISTORIA DE LA CIENCIA Y COMUNICACIÓN CIENTÍFICA DE LA UNIVERSIDAD DE VALENCIA. CERTIFICADO EN COMUNICACIÓN AUDIOVISUAL DE LA PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE.

Ha sido voluntario en múltiples programas, fundaciones y ONG's dedicadas a la investigación, educación, comunicación y abogacía del océano. Actualmente lidera el equipo de Sustainable Ocean Alliance (SOA) España, y es consultor del equipo en Chile. Ha formado parte del Consejo Asesor de Políticas Juveniles (YPAC), participando como delegado en eventos nacionales e internacionales, incluyendo la COY17 y COP27.

PAULINA CORTEZ RIVERA

GEÓLOGA DE LA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL NORTE.

Geóloga de proyectos con experiencia en exploración en pórfidos de Cu y depósitos de Au en el Norte de Chile. Fuertes habilidades en modelado 3D de depósitos minerales, tranques de relaves y sitios contaminados. Actualmente trabaja en modelamiento para Teck Resources Limited, fundaciones y ONG's.



NILDA LAY GALLEGUILLOS

GEÓLOGA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE (1979).

Extensa experiencia en exploración de prospectos, especialista en evaluación de prospectos, análisis y gestión de bases de datos aplicada al análisis datos espaciales (GIS). Mapeo de sondajes, interpretación de modelo geológico y cálculo de reservas en los yacimientos Escondida (Cu) Chile y Syama (Au) Mali. Trabajos en Chuquicamata (Cu), Chañarcillo (Ag) y El Indio (Au) y en Lo Aguirre (Cu). Trabajo de exploración en diferentes proyectos en Mongolia y Kirguistán. Evaluación multidisciplinaria de los yacimientos Pórfidos de Cu, Serbia. Visitas técnicas principalmente a Pórfidos Cu y depósitos de Au alrededor del mundo (Canadá, USA, Brasil, Ghana, Mali, Malasia, Japón, Mongolia, China, Paquistán, Indonesia, España, Irlanda y Portugal). Parte de los equipos de Utah International y BHP, descubridores de Syama sulfuros (Au) Mali y Reko Diq (Cu-Au) Paquistán. Trabaja como consultora. Es miembro del Comité Ejecutivo de Ética de la Sociedad Geológica de Chile.



CLEMENCIA GÓMEZ GONZÁLEZ

GEÓLOGA Y DOCTORA EN PALEONTOLOGÍA CON ÉNFASIS PALINOLOGÍA DEL CUATERNARIO, CON ESPECIALIZACIONES EN ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS Y DERECHO MINERO PETROLERO.

Primera mujer presidente de la Sociedad Colombiana de Geología (2017-2019) y Presidenta de la Asociación Colombiana de Geología (2021-2022). Ha ocupado cargos en empresas públicas y privadas, fue coordinadora del Grupo de Geología de la Agencia Nacional de Hidrocarburos. Profesora universitaria con más de 25 años en diferentes instituciones educativas, actualmente profesora asociada de dedicación exclusiva de la Universidad Nacional de Colombia. En el 2021 fue galardonada como Inspirational Geoscience Educator Award por parte de la American Association of Petroleum Geologist Foundation y en el 2022 fue galardonada con la Orden Humberto Gallego Gamboa como egresada ilustre de la Universidad de Caldas.



FELIPE ORELLANA SOLAR

GEÓLOGO Y MAGISTER EN CIENCIAS MENCIÓN GEOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE.

Es director de la carrera de Geología en la Universidad Católica del Maule y actualmente Vicepresidente, de la Sociedad Geológica de Chile (periodo 2021 – 2023) representándola además en el COSOC del ministerio de CTCI. Desarrolla docencia en diversos cursos de pregrado, trabajando líneas de investigación en gobernanza de la ciencia, geopatrimonio y educación para el desarrollo sostenible. Trabajó para el Ministerio del Medioambiente (MMA) y para el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD). Es miembro del Nodo para Gobernanza Ambiental Local (Nodo GAL) del Departamento de Gestión Ambiental Local, de la División de Educación Ambiental y Participación Ciudadana del MMA.



VALERIA RUDLOFF

MAGÍSTER EN CIENCIAS MENCIÓN EN METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA DEL DEPARTAMENTO DE GEOFÍSICA DE LA UNIVERSIDAD DE CHILE.

Ha sido asistente de investigación en el Centro de Estudios Avanzados de Zonas Áridas (CEAZA) y en el Centro de Ciencia del Clima y Resiliencia (CR2). También se ha desempeñado como comunicadora científica en el contexto de la Red de Educación Latinoamericana por el Medio Ambiente (RedLama). Actualmente, Valeria Rudloff es la coordinadora ejecutiva del Museo del Agua de la Universidad de O'Higgins. Simbiosis del Grupo de Geología Ambiental.

JAVIERA SAAVEDRA CANCINO

ABOGADA CON DIPLOMADO EN MEDIO AMBIENTE Y DESARROLLO SUSTENTABLE DE LA UNIVERSIDAD DE TALCA.

Encargada Unidad de Gestión Ambiental, Municipalidad de San Clemente.



CATALINA SALDIAS INNOCENTI

GEÓLOGA MSC EN GEOCIENCIAS APLICADAS MENCIÓN ENERGÍA, MATERIAS PRIMAS Y ALMACENAMIENTO, CON INTERÉS A LA GEOTERMIA Y LA HIDROGEOLOGÍA.

Realizó su tesis de pregrado en datación de aguas termales de la Zona Volcánica de los Andes del Sur y su relación con los sistemas de fallas, en el marco de dos proyectos Fondecyt. Actualmente es estudiante de magíster en el Instituto Tecnológico de Karlsruhe, Alemania, en Geociencias Aplicadas mención Energía sustentable, materias primas y almacenamiento. Además es músico y coordinadora del proyecto "Uncertain Four Seasons en Chile", siendo colaboradora también de Simbiosis del Grupo de Geología Ambiental.

CATALINA BUVINIC URETA

CO-CREADORA DEL GRUPO "SIMBIOSIS: GEOCIENCIAS + ARTE.



GEOHUELLAS

EL MEDIOAMBIENTE A TRAVÉS DE LA GEOLOGÍA Y EL ARTE

Número 5 | 2023

