GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
SOCIEDAD GEOLÓGICA DE CHILE

Geohuellas

El medioambiente a través de la geología

Año 1 | Número 1 | Septiembre 2018

Suelos contaminados por la industria

Pág. 19

¿Son considerados los peligros geológicos en la planificación territorial?

Pág. 22

Esto también es geología:
Geoquímica y el vino

Pág. 17

Grupo Geología Ambiental

Sociedad Geológica de Chile

Directora editorial

Luna Pérez

Equipo Editorial

Valeria Tort

Luna Pérez

Revisores

Millarca Valenzuela (SGCh)

Karim Thiele (SGCh)

Carmen Copier (GGA)

Rodrigo Rauld (GGA)

Delia Rodríguez (GGA)

Diseño y diagramación

Luna Pérez

Elaboración de imágenes

Thiare Ceballos

Luna Pérez

Chile- Septiembre- 2018

/GEOHUELLAS.CL
/GEOLOGIA-AMBIENTAL.CL
/SOCIEDADGEOLOGICA.CL/

FACEBOOK.COM/GEOLOGIAMBIENTALCHILE/

@GEOLOGIA_AMBIENTAL

Geohuellas

EL MEDIOAMBIENTE A TRAVÉS DE LA GEOLOGÍA

Año 1 | Número 1 | Septiembre 2018

GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL

Sociedad Geológica de Chile

Valentín Letelier #20, Santiago, Chile

Una mejor comprensión de nuestro planeta Tierra es fundamental para la diversidad de la vida y el futuro de la sociedad. Las ciencias de la Tierra nos brindan respuestas esenciales frente a los desafíos que como país tenemos que afrontar en aras de resguardar nuestro medio ambiente y alcanzar un desarrollo sostenible, promoviendo un uso adecuado de los recursos de la Tierra e impulsando una mejor planificación y manejo para reducir los riesgos de los habitantes del planeta.

En todo esto puede contribuir la Geología como ciencia práctica y sus diferentes especialidades, para el mejor aprovechamiento de los recursos, apoyada en el nuevo modelo ambiental del respeto por la naturaleza. La Geología Ambiental es la especialidad que juega un papel esencial en la sostenibilidad y viabilidad de la humanidad en el Planeta Tierra.

Cada integrante del Grupo de Geología Ambiental de la Sociedad Geológica de Chile está preparado para enfrentar profesionalmente los desafíos y requerimientos antes señalados. Y numerosos estudiantes ya están siendo formados por diferentes universidades con iguales objetivos, asegurando una continuidad en esas importantes funciones.

Esperamos que tanto las instituciones estatales como privadas compartan esta visión basada en rigurosos estudios y largas investigaciones incorporando sistemáticamente a los geólogos ambientales en sus quehaceres rutinarios y permanentes en la mayor medida posible. Así podemos garantizar un mejor futuro para la población de nuestro país.

Como Sociedad Geológica de Chile nos sentimos orgullosos que nuestro Grupo de Geología Ambiental haya creado la revista digital de divulgación científica Geohuellas que apoyará el desarrollo de esta especialidad en Chile, abordando desde la Geología temáticas ambientales con un lenguaje cercano a la comunidad. Y una vez más estamos logrando nuestro objetivo de difusión de la Geología en Chile.

Damos entonces una calurosa bienvenida a la **Revista Geohuellas**.

José Cabello
Presidente Sociedad Geológica de Chile

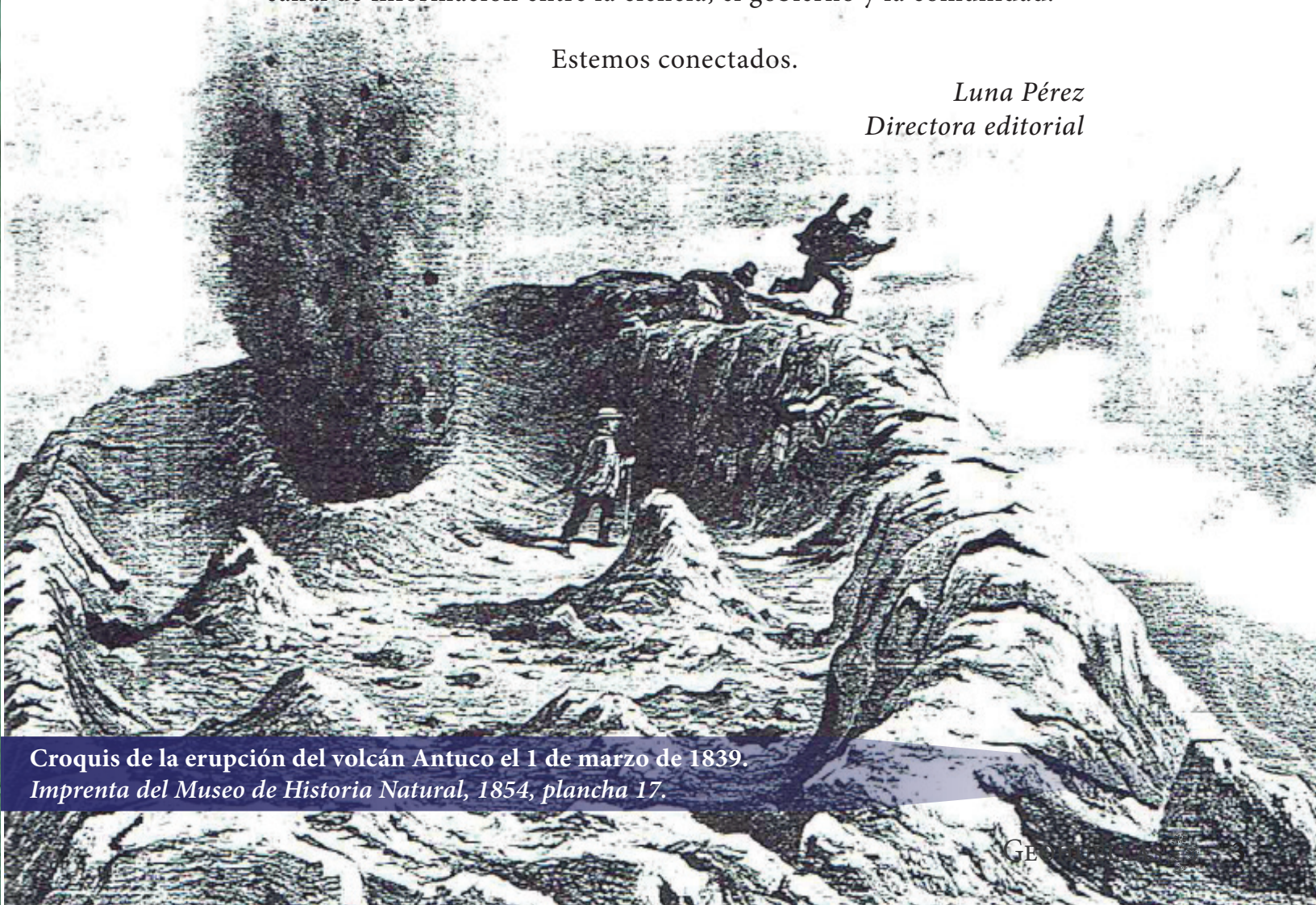
Entender nuestro entorno natural es casi un acto de autoconocimiento. Somos parte de la Tierra, como ella es parte nuestra.

La geología se ha caracterizado por estudiar dicho entorno para evaluar recursos minerales, hídricos y energéticos para nuestra subsistencia y desarrollo. Así también, se ha caracterizado por participar en proyectos asociados a fundaciones de obras de ingeniería. Sin embargo, hace algunos años la geología también estudia nuestro impacto ambiental; es decir, busca maximizar el beneficio de utilizar nuestros ambientes naturales y modificados a la vez de minimizar la degradación ambiental que dicha utilización produce.

Como geólogas y geólogos del grupo Geología Ambiental de la Sociedad Geológica de Chile, te invitamos a estar al tanto de distintos aspectos ambientales de la geología en Chile. Somos un grupo de especialistas que busca posicionarse como referente de opinión y canal de información entre la ciencia, el gobierno y la comunidad.

Estemos conectados.

Luna Pérez
Directora editorial

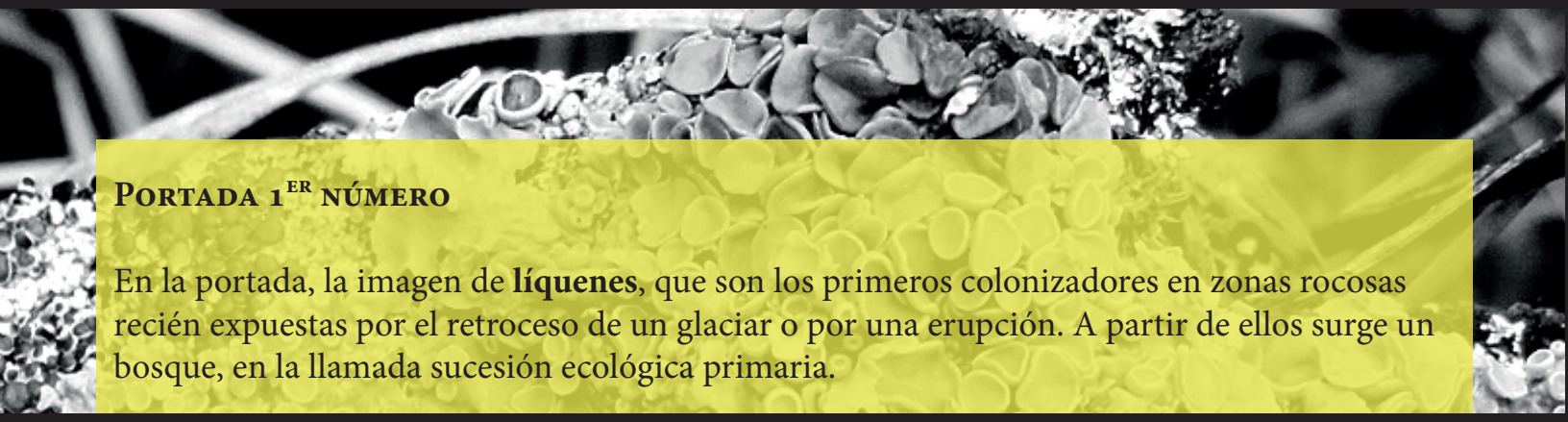


Croquis de la erupción del volcán Antuco el 1 de marzo de 1839.
Imprenta del Museo de Historia Natural, 1854, plancha 17.

Índice de contenido

¿De qué se ocupa la geología ambiental?	**5**
Cuando se cae el cerro	**6**
Comprendiendo las erupciones	**10**
Relaves mineros en el mar	**15**
Esto también es geología: **Geoquímica y el vino**	**17**
Suelos contaminados por la industria	**19**
¿Son considerados los peligros geológicos en la planificación territorial?	**22**
Espacio de reflexión: **Afinemos nuestras intuiciones**	**28**

¿Te interesa la geología?
Visita nuestro diccionario de geología ambiental: http://www.geologia-ambiental.cl/diccionario/



Portada 1er número

En la portada, la imagen de **líquenes**, que son los primeros colonizadores en zonas rocosas recién expuestas por el retroceso de un glaciar o por una erupción. A partir de ellos surge un bosque, en la llamada sucesión ecológica primaria.

¿De qué se ocupa la geología ambiental?

PELIGROS GEOLÓGICOS
...y planificación territorial

GEOPATRIMONIO
...y conservación

RECURSOS NATURALES
...y sustentabilidad

INDUSTRIA DE MATERIAS PRIMAS
...y responsabilidad ambiental

"La geología ambiental es geología aplicada. Específicamente, es la utilización de información geológica para ayudarnos a resolver conflictos relacionados con el uso de la Tierra, a minimizar la degradación ambiental, y a maximizar los resultados benéficos de usar nuestros ambientes naturales y modificados"

[Keller, 1999, Environmental Geology]

CUANDO SE CAE EL CERRO

Pablo Moreno
Luis Lépez

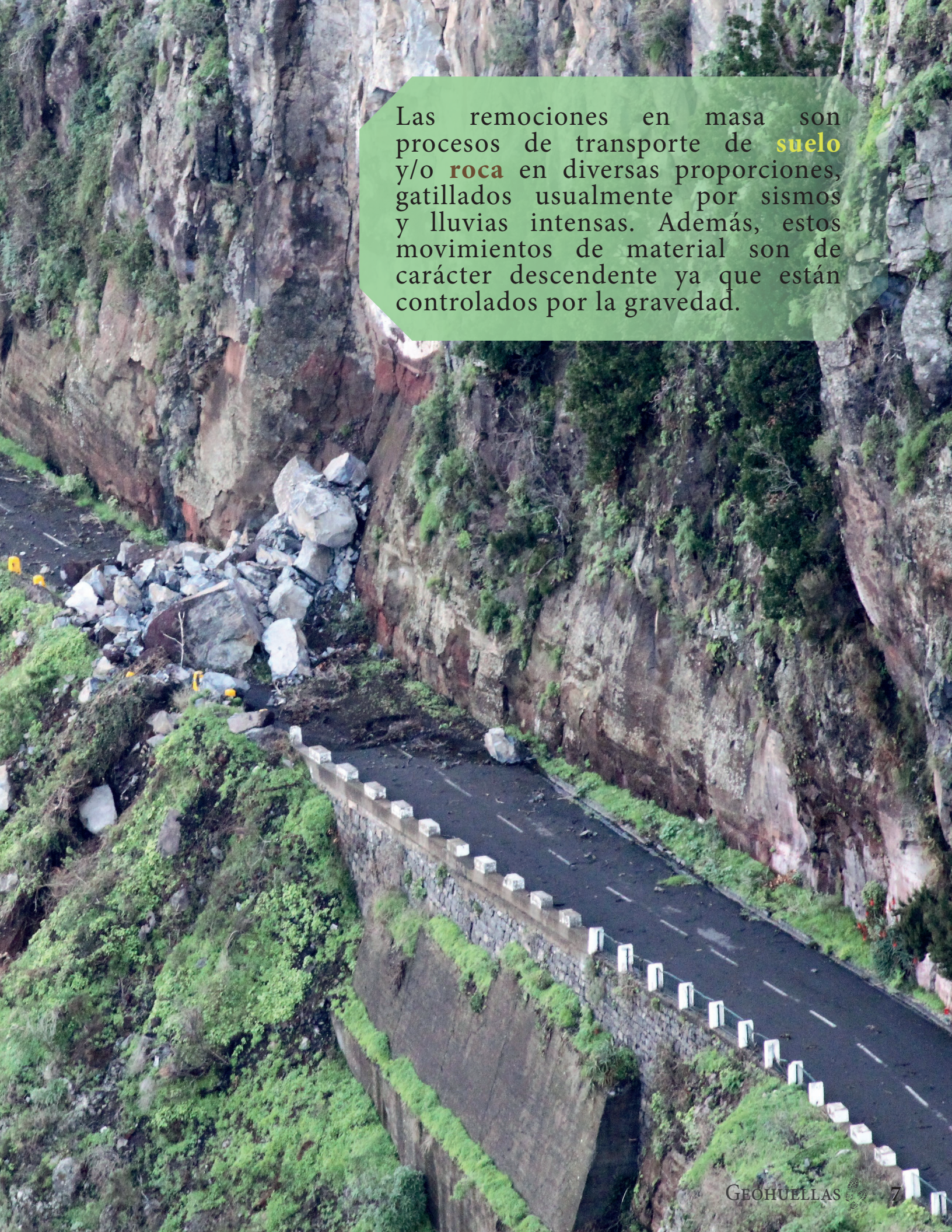
Estando en carreteras, posiblemente todos hemos visto mallas de contención sobre las laderas o hemos visto que a veces se cortan los accesos a los caminos debido a la "caída del cerro". Así también, hemos escuchado de derrumbes de potencial catastrófico como es el caso del "Riñihuazo" de 1960. Todos estos eventos están relacionados y se denominan conjuntamente "remociones en masa" o REM. Estos son procesos de transporte de material de determinado volumen de suelo y/o roca en diversas proporciones, de carácter descendente y que pueden ser gatillados por diversos factores.

El caso del Riñihuazo ocurrió como una de las consecuencias del terremoto de 9,5 Mw de 1960 en Valdivia. En dicha ocasión, se produjo un bloqueo al Río San Pedro ocasionado por tres derrumbes cerca del volcán Mocho-Choshuenco, los cuales casi provocaron el rebosamiento del Lago Riñihue, de no ser por labores de ingeniería que previnieron el desastre a tiempo.

En todos los casos de REM existen factores desencadenantes que gatillan el fenómeno. Estos factores en general corresponden a lluvias intensas, sismos, temperatura y tipo de suelo o roca.
Pero también existen otros factores. Por ejemplo, los intensos incendios forestales ocurridos durante el verano del año 2017 en el centro sur de Chile podrían haber generado una REM, ya que la pérdida de vegetación a alta velocidad es un desencadenante. ¿Por qué ocurre esto?: las laderas de los cerros se mantienen más resistentes cuando las raíces de la vegetación se encuentran firmes en ella. Una pérdida de esta vegetación hará que la ladera pierda firmeza y ceda ante la gravedad. Afortunadamente, esto no ocurrió, pero el peligro estuvo presente.

Durante marzo del año 2015 se registraron cerca de 70 mm de lluvia en el norte de Chile. A modo de referencia, esto es lo que puede llover en Temuco durante un día; sin embargo, en la zona norte de Chile, esa cantidad de precipitaciones puede ocurrir a lo largo de todo un año. Esto, sumado a la presencia de escasa vegetación y un suelo tan árido que impide que el agua se infiltre, ocasionó la generación de aluviones de tales dimensiones que el gobierno declaró Estado de Excepción. Los aluviones provocaron la muerte de 31 personas y dejaron 16 desaparecidos, además de 16.588 damnificados.

Existen casos en que una infiltración excesiva de agua también produce inestabilidad que finalmente gatilla la generación de REM. En agosto del 2004, en la comuna de Lago Ranco, se registraron precipitaciones de 178 mm/día, provocando que las laderas de los cerros tuviesen un peso mayor



Las remociones en masa son procesos de transporte de **suelo** y/o **roca** en diversas proporciones, gatillados usualmente por sismos y lluvias intensas. Además, estos movimientos de material son de carácter descendente ya que están controlados por la gravedad.

al que soportaban. Esto generó un flujo de agua que arrastró consigo un alto contenido de troncos, bloques de roca y barro. Se destruyeron casas rurales y caminos, incluyendo la recién inaugurada "Ruta de los 7 Lagos" a lo largo de más de 500 m de extensión. Una persona resultó fallecida y 55 resultaron heridas o directamente afectadas por el desastre. A modo de antecedente, la tala ilegal de árboles en el sector fue la que permitió que existiera una alta cantidad de troncos inmersos en el flujo.

Otro ejemplo de una REM conocida ocurrió en el año 2004, en Puerto Aysén. Un sismo de magnitud 6.1 Mw de menos de 10 km de profundidad se generó en el fiordo de Aysén. Posteriormente, se generó un tsunami dentro del fiordo, que inicialmente se asoció con el sismo recientemente ocurrido. Sin embargo, un estudio realizado por el geólogo Sergio Sepúlveda, de la Universidad de Chile, confirmó que el sismo ocurrió a partir de una falla denominada Falla Liquiñe-Ofqui, que se encuentra aledaña a Puerto Aysén. Esto generó un sismo tan superficial que afectó fuertemente los cerros cercanos, provocando cientos de flujos, caídas de rocas y el colapso casi total de la ladera del cerro ubicado frente a la Isla Mentirosa.

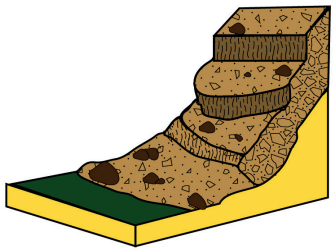
La caída de más de 8 millones de m^3 de material al agua del fiordo, generó olas de hasta 6 m de altura en las costas, dejando 10 fallecidos. Como consecuencia a estos eventos, al año siguiente se creó la Oficina Técnica de Coyhaique del Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN).

Por último, existen REM de tipo lento, a tal punto que ocurren a una velocidad imperceptible. Muchos hemos visto, especialmente en el sur de Chile, árboles que crecen con el tronco inclinado o zigzagueando hacia la cima. Este proceso es conocido como *creep* o reptación.

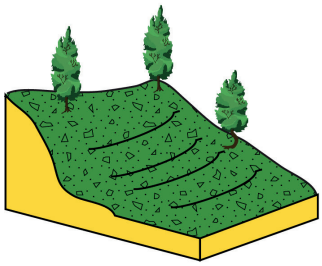
Si bien el peligro de estas REM no es inmediato como en las anteriores, sí pueden generar daños, ya que causan grietas importantes en estructura e infraestructura que se encuentre sobre la ladera. Un estudio del geofísico de la Universidad de La Frontera, Ivo Fustos, indica que estos eventos son reactivados cuando las lluvias son intensas, siendo la Región del Bío-Bío y de la Araucanía casos de estudio importantes.

En la actualidad, la fuerte explosión demográfica ha traído consigo la expansión de los asentamientos urbanos hacia las zonas montañosas que rodean los valles. Es decir, existe una importante escasez de suelo para construir, de modo tal que las áreas residenciales han sido situadas directamente en áreas con peligro de generación de remociones. El conocimiento de los peligros y de los riesgos asociados, tanto por parte de los lugareños de un sector, como de las autoridades competentes, es crucial para prevenir y mitigar desastres.

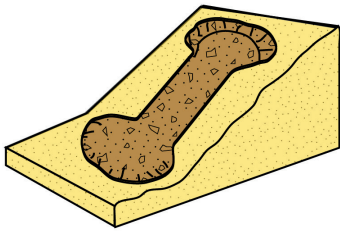
Algunas categorías de Remociones en Masa



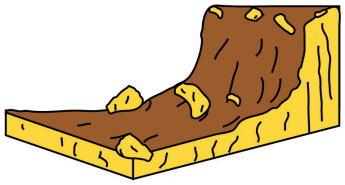
DESLIZAMIENTOS



REPTACIÓN



FLUJOS



CAÍDAS

REM ocurridas en la ribera norte del fiordo de Aysén. Se observan remociones en el valle del río Cuervo y los efectos del paso de la gran ola provocada por la caída de rocas y material detrítico a las aguas del fiordo.

Fotografías tomadas por Carlos Lamperein.

***Creep* en árboles del Santuario El Cañi, IX Región de la Araucanía.**
Fotografías tomadas por Pablo Moreno.

COMPRENDIENDO LAS ERUPCIONES

María Angélica Contreras
Thiare Ceballos

"(…) durante la noche del 19 de enero, el volcán Osorno se pone en erupción. A medianoche, el centinela observa algo que se parece a una gran estrella, ésta aumenta a cada instante y a las tres de la madrugada, asistimos al más magnífico de los espectáculos. Con ayuda del telescopio, vemos en medio de espléndidas llamas rojas, negros objetos proyectados incesantemente al aire, que después caen"

Así describía el naturalista Charles Darwin, desde el Beagle, la erupción del volcán Osorno del año 1835. Hoy, 188 años después, el mundo se impresiona con imágenes y videos que circulan en redes sociales y noticiarios mostrando las erupciones del volcán Fuego en Guatemala y Hawaii en Estado Unidos, así como las terribles consecuencias en las poblaciones cercanas.

De acuerdo con el Programa de Volcanismo Global (Global Volcanism Program) de Estados

Unidos, durante el año 2017 ocurrieron 68 erupciones volcánicas alrededor del mundo. De hecho, uno de esos volcanes en erupción es chileno: Complejo Volcánico Nevados de Chillán (CVNCh). El CVNCh se mantiene en erupción desde diciembre del año 2015 y, a la fecha, presenta explosiones de manera frecuente que se observan desde los poblados aledaños al volcán. Además, está creciendo un domo dentro del cráter. Algo así como un "tapón de lava que no fluye" y que, posteriormente, se ha destruido de manera parcial en explosiones menores.

La primera pregunta que surge al escuchar sobre estos fenómenos es: ¿Están todos estos eventos relacionados? Y la respuesta es categórica: No, no existe relación alguna entre erupciones de distintos volcanes. Por supuesto existen similitudes, sin embargo, ninguna es consecuencia de la otra. Las conocidas islas hawaianas Kauai, Oahu, Maui y Hawaii, forman parte de una cadena de islas volcánicas en medio de la placa del Pacífico. En este caso, en algún lugar puntual de la placa (conocido como "punto caliente" o "hot spot" en inglés) el magma asciende hasta la superficie. Finalmente, tras la acumulación de material volcánico por millones de años se forman las islas. En este tipo de volcanes el material emitido es lava muy fluida, siendo las explosiones de tipo moderadas. Como estas islas están pobladas, en ocasiones se observa que el magma aparece en superficie justo en medio de una calle o una casa. Un sinnúmero de videos y fotografías de la isla de Hawaii así lo demuestran.

En países como Chile o Guatemala, en cambio, la mayor parte de los volcanes (salvo contadas excepciones) se producen como una consecuencia de un tipo de movimiento entre placas tectónicas conocido como "subducción". En el caso de Chile la placa oceánica de Nazca se sumerge bajo la placa continental Sudamericana, proceso que a su vez genera la mayoría de los terremotos del margen Pacífico. El material es siempre emitido desde un área cercana al cráter, lo cual hace que el volcán crezca adquiriendo una forma similar a un cono. Las erupciones pueden ser con emisión de flujos de lava, pero también pueden generar grandes explosiones como ocurrió con el volcán Calbuco el año 2015.

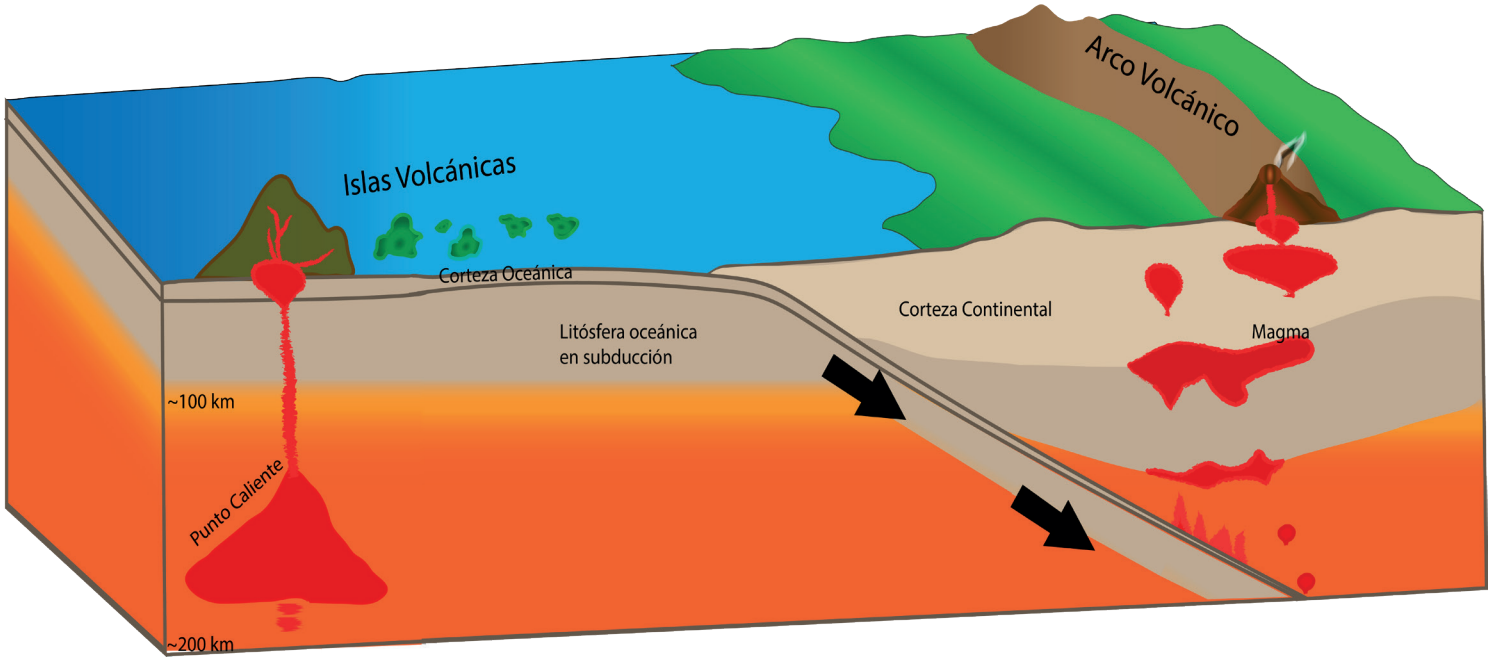
A pesar de que el área desde donde se emiten es bien acotada, los productos pueden alcanzar grandes distancias pudiendo causar grandes daños en los poblados más cercanos, tal como ocurrió en el poblado de San Miguel de los Lotes y varias aldeas alrededor del volcán Fuego en Guatemala.

Complejo Volcánico Nevados de Chillán
Fuente: Servicio Nacional de Geología y Minería

Dentro de las erupciones documentadas a nivel global, la mayoría de los volcanes ha mostrado algún tipo de actividad previa a una erupción, ya sea a través de temblores locales, emanaciones azufrosas, deformación cortical, entre otros. Dicha actividad se monitorea con días o incluso meses o años de anticipación. Sin embargo, existen erupciones en que las señales son escasas y, por ende, no es viable hacer un pronóstico anticipado.

Un ejemplo de ello es la erupción del 22 de abril de 2015 del **volcán Calbuco** (imagen de fondo), que después de 54 años de haber tenido un evento eruptivo mayor, solo se registró un aumento en la actividad sísmica 3 horas antes de la erupción.

Fotografía perteneciente a Jorge Pacheco C.
Licencia CC BY-SA 2.0



Esquema representativo de ambientes tectónicos, a la izquierda se observa una cadena de islas volcánicas producto del movimiento de la placa oceánica a través del denominado *punto caliente* o *hotspot*. A la derecha, en cambio, se presenta una zona de subducción, donde el resultado es un arco volcánico (este puede ser oceánico, como en Japón, o continental, como el que se dispone a lo largo de nuestro territorio en extensión norte-sur).

¿Por qué la erupción del volcán Fuego fue mucho más mortífera que la erupción de Hawaii?: por el tipo de erupción y productos asociados. En el primero se generaron flujos piroclásticos que corresponden a material emitido en forma explosiva y que pueden avanzar a alta velocidad (~700 km/h) y altas temperaturas (~1000°C), quedando la población más cercana imposibilitada de escapar. En Hawaii, en cambio, el material emitido es lava que si bien también posee una alta temperatura (~1000°C), avanza mucho más lento (~1-100 m/h) y, por tanto, se pueden tomar medidas de mitigación y evacuar a la población que sería afectada a tiempo.

Los procesos volcánicos que se han mencionado no son nuevos. Han ocurrido desde hace miles de años y seguirán ocurriendo en el futuro. Es por eso que la clave para reaccionar de una manera exitosa ante futuras erupciones volcánicas radica en una población informada, trabajo de monitoreo en tiempo real de los volcanes y estudios científicos que entreguen información acerca del comportamiento de los centros volcánicos en el pasado.

Algunos sitios que brindan información importante de erupciones en el mundo son: https://volcano.si.edu y la web de SERNAGEOMIN http://www.sernageomin.cl/red-nacional-de-vigilancia-volcanica. En esta última existe una actualización constante del estado de alerta de cada uno de los volcanes del territorio nacional, información que se obtiene del monitoreo permanente que se realiza en el Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur (OVDAS) ubicado en la ciudad de Temuco y desde donde se monitorean 45 volcanes a lo largo de nuestro país.

Relaves mineros en el MAR

Valeria Tort

Chile es un país minero. Esto conlleva importantes ventajas, pero también desventajas. En particular, nos referiremos al mayor problema ambiental de la minería: cómo desechar sus residuos. El principal tipo de residuo minero producido en Chile corresponde a **relaves**.

Actualmente, la gran mayoría se vierte en depósitos de relaves ubicados en territorio continental; como por ejemplo en quebradas, en minas abandonadas, en represas artificiales, entre otros. Sin embargo, existe una opción fuera de territorio continental: verterlas en el océano.

El vertido de relaves mineros en el mar consiste en la instalación de una tubería bajo el agua que dirige la descarga hacia profundidades entre 30 y 1000 m. El objetivo que se intenta alcanzar con la deposición marina es eliminar los residuos mineros en aguas profundas sin que estos se mezclen con aguas superficiales ni que se diseminen más allá de la huella prevista.

Un **RELAVE** es un desecho minero producto del proceso de flotación. Es un lodo que suele poseer alta carga metálica en cantidades trazas, tales como **arsénico**, **zinc**, **cobre**, **plomo** y otros.

La huella prevista puede involucrar:

1. Asfixia de organismos bentónicos y alteración física del hábitat.

2. Reducción de la composición/abundancia de especies y biodiversidad de las comunidades marinas.

3. Toxicidad directa de metales traza movilizados a partir de los relaves.

4. Bioacumulación de metales a través de redes alimentarias y, en última instancia, en comunidades humanas que consumen pescado: pues aumenta el riesgo para la salud humana.

Hoy en día, son 8 los países que lo practican; entre ellos, Chile, Noruega y Turquía, sumando un total de 14 minas operativas. Si se considera que existen 2500 industrias mineras en el mundo, esto significa que el 0,6% de ellas pone en práctica este sistema.

En Chile, existen dos casos de gran trascendencia:

1. Caso Chañaral: Entre 1938 y 1974 las minas de cobre Potrerillos y El Salvador desecharon sus relaves, sin tratamiento previo, al Río Salado, que que fluía directo a la Bahía de Chañaral. Entre 1975 y 1989 el sitio de vertido se movió 10 km al norte a Caleta Palito. Fue en el año 1990 en donde la Corte Suprema de Chile falló en contra de la mina El Salvador y se le prohibió eliminar desechos mineros sin tratamiento al río El Salado, momento desde el cual

comenzaron a eliminar sus desechos en un depósito continental.

2. Caso CMP (Compañía Minera del Pacífico): CMP pertenece a la empresa minera siderúrgica CAP y se encuentra actualmente vertiendo parte de sus relaves mineros en el océano. Esta empresa, entre 1978 a 1993, descargaba relaves directamente en la zona intermareal de Ensenada Chapaco, en Huasco. A partir de 1994 se modificó la profundidad de vertido a 25 m y desde el 2004 se deposita a una profundidad de 35 m, 300 m alejado de la costa. Tras una denuncia realizada por Oceana en 2017, los vertidos de CAP al mar terminarán para el 2020.

"El año 2016 la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) denunció el vertimiento minero oceánico. En respuesta a esta denuncia, 51 países que la conforman votaron a favor de una prohibición internacional, incluidas grandes naciones mineras como China y Rusia"

Además de la incidencia a la huella prevista señalada anteriormente, se debe evaluar la eventual recuperación del lugar. Para esto, surgen las siguientes preguntas:

1. Qué se considera recuperación.
2. Cuánto tiempo tomará.

La ***recuperación*** se considera como un término equivalente al estado anterior a la deposición de relaves. Por lo mismo, la recuperación a largo plazo probablemente está relacionada con la sedimentación natural que cubrirá los relaves, la cual en promedio en el océano profundo es muy baja: de decenas y cientos de años.

Es importante acotar que la recolonización no es lo mismo que la recuperación, dado que las especies que colonizan los relaves en el fondo del mar varían dependiendo de las características físicas, químicas y toxicológicas de éstos, que son distintas de las condiciones in situ antes de su deposición.

Por otro lado, el objetivo que se intenta alcanzar con la deposición de relaves, que involucra una no diseminación de estos, es probable que sea inefectivo debido a la existencia de corrientes oceánicas y de surgencias de aguas marinas, que dan como resultado la dispersión de los relaves a hábitats adyacentes, a las pesquerías de superficie y que pueden afectar a organismos que podrían migrar hacia aguas internacionales y eventualmente generar problemas en los ecosistemas marinos de otros países. Es más, estudios recientes indican que con el nivel de conocimiento actual, resulta incierto definir zonas sin corrientes oceánicas o sin surgencia de aguas, sin impacto a ecosistemas vulnerables; y así mismo resulta incierto definir zonas en las que se pueda asegurar que efectivamente el relave se depositará allí tras movilizarse por pendientes del suelo oceánico.

En el caso de Chañaral, la deposición de relaves causó cambios morfológicos drásticos, un incremento en las concentraciones de cobre (Cu) en el agua y una disminución en la densidad y biomasa de la fauna afectada. Un estudio del 2005 notificó que sus sedimentos se encuentran enriquecidos en cobre (Cu), manganeso (Mn), zinc (Zn) y cadmio (Cd) comparado con sedimento no contaminado, y estos sitios muestran la biodiversidad más baja.

En el caso de CMP, existe un estudio que evalúa su impacto en el periodo de 1978 a 1993, cuando la deposición era intermareal, que indica que la macrofauna entre los 20 y 50 metros de profundidad se vio afectada significativamente en términos de abundancia, riqueza de especies y diversidad, y causó cambios profundos en la estructura de la comunidad. Un Estudio de Impacto Ambiental (EIA) realizado el 2013 sugiere que la

hematita-magnetita en los relaves de este caso (a 35-130 de profundidad) experimenta una disolución reductiva y libera elementos traza asociados al agua de mar (Dold, 2014). Sin embargo, es positivo considerar que la empresa optó por no continuar estas prácticas, dado que posee una proyección de término para el 2020.

El año 2016, la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), que desde 1948 se ha convertido en autoridad mundial en cuanto a evaluar el estado de conservación de la naturaleza y los recursos naturales, denunció el vertimiento minero oceánico. En respuesta a esta denuncia, 51 países que la conforman votaron a favor de una prohibición internacional, incluidas grandes naciones mineras como China y Rusia, y sólo dos países votaron en contra, Noruega y Turquía.

En particular, Noruega justifica la disposición de relaves en el mar con el argumento de la escasez de territorio apto para la disposición en tierra, lo que haría particularmente costosa su disposición, la minimización del drenaje ácido y los menores impactos estéticos. Los informes de monitoreo noruegos muestran que el impacto principal es la sofocación del lecho marino, aunque en algunos casos existe una preocupación con respecto a la posible toxicidad de metales y/o productos químicos. Existe resistencia en contra de la Empresa Minera Nussir Ltda. por la afección a fiordos y la población indígena Sami, iniciativa liderada por Friends of the Earth Norway.

Actualmente, Chile no cuenta con una regulación específica para la deposición de relaves mineros en el mar. En la Ley N° 2.222 de 1978, no se permite realizar esta actividad, a menos que se cuente con la aprobación de la autoridad marítima, por lo que no constituye una ley prohibitiva. El año 2015, cinco parlamentarios presentaron una iniciativa legislativa (Boletín 9.962-12), cuyo objetivo es prohibir el vertimiento, derrame o disposición de residuos mineros en las aguas sometidas a la jurisdicción nacional, la que se encuentra en primer trámite constitucional en el Senado, sin carácter de urgencia.

Esto también es geología: GEOQUÍMICA Y EL VINO

Delia Rodríguez
Francisca Olivares

Se conoce como ***terroir*** a la combinación de factores naturales inmutables – *como la capa superior del suelo, el subsuelo, el clima, la pendiente y la altitud* – que un viñedo en particular tiene.

Este concepto toma en consideración que no existen dos viñedos en el mundo con la misma combinación de estos factores. Por lo que el *terroir* vendría siendo una combinación única de factores naturales que un viñedo en particular tiene, que sumado a la impronta de la mano de quienes producen el vino, termina dando lugar a un vino único en cada ocasión.

¿Es el *terroir* algo controlable mediante conocimiento **geológico** de un lugar?

Es una de las preguntas que se aborda actualmente en cuando a la producción de vino y geología. Chile es un país que destaca internacionalmente por producir una amplia variedad de vinos de calidad, posicionándose actualmente como el séptimo país mayor productor de esta bebida a

nivel mundial. En el último lustro, Chile ha sido el país que presenta una mayor proyección en sus exportaciones y junto con China y Nueva Zelanda uno de los pocos productores que continúa aumentando la superficie de suelo destinado a cultivos de vid. La calidad de nuestros vinos, resultante de la diversidad geográfica, de climas y de suelos, aspectos privilegiados en el mundo vitivinícola, ha posicionado a Chile dentro de un grupo de productores de elite, junto con países como Francia y España.

El vino corresponde al resultado final de la interacción de variados factores que van desde la elección del tipo de uva, las prácticas agrícolas realizadas sobre ésta y las condiciones del ambiente en la que la planta crece y se desarrolla y que es conocido como el terroir. Dentro de los aspectos del entorno son las características del medio físico, más concretamente la geología, el suelo y el clima, los factores determinantes de la calidad de los vinos. Un estudio combinado de estos aspectos proporciona la base científica que facilita la toma de decisiones sobre el control en la producción y la evaluación del impacto del cambio climático en los ecosistemas vitícolas.

Históricamente la producción nacional ha tendido a darle mayor importancia a las características climáticas que a las características de sus suelos y la geología. Hoy en día, sin embargo, se reconoce que una de las vías que permitirá a los viticultores ampliar sus perspectivas de mercado, es la viticultura en base a criterios científicos, que aporten un valor añadido a sus productos a partir de la comprensión del entorno de la uva. La transferencia de elementos químicos (particularmente los elementos mayores, trazas e isótopos) desde el suelo a las raíces y desde éstas a la uva y luego al vino, es el resultado de la compleja interacción entre factores ambientales, como la temperatura y la precipitación, y las características de la roca madre, que confieren propiedades químicas únicas a los suelos.

En general, se admite que los metales presentes en los suelos son heredados de la meteorización de la roca madre y están presentes en la solución nutritiva del suelo, desde la que son adsorbidos por las plantas. También pueden tener su origen en los sprays marinos, en las prácticas vitícolas, en posibles contaminaciones del suelo o producidas durante la elaboración de los vinos. Los metales presentes en los suelos son propios de las zonas geográficas y al ser transmitidos al vino actúan como marcadores de la zona donde la uva creció. Por esta razón el vino ha sido ampliamente utilizado como identificador de procedencia de los vinos, proporcionando una "huella dactilar" que permite detectar "fraude" en los vinos de una denominación de origen protegida y también potenciales fuentes de contaminación.

De igual manera, la relación existente entre los diferentes isótopos de un mismo elemento puede ser utilizada como trazador para identificar el origen de un vino. Los isótopos también pueden ser una herramienta veraz para el estudio de cambios climáticos en la zona vitícolas y la respuesta de las cepas a estos cambios. En este sentido, el estudio de las aguas subterráneas y aguas lluvia, contrastadas a la información obtenida de los vinos, entrega información sobre el comportamiento de las plantaciones de vides ante los cambios climáticos inminentes a los que Chile se enfrenta como país.

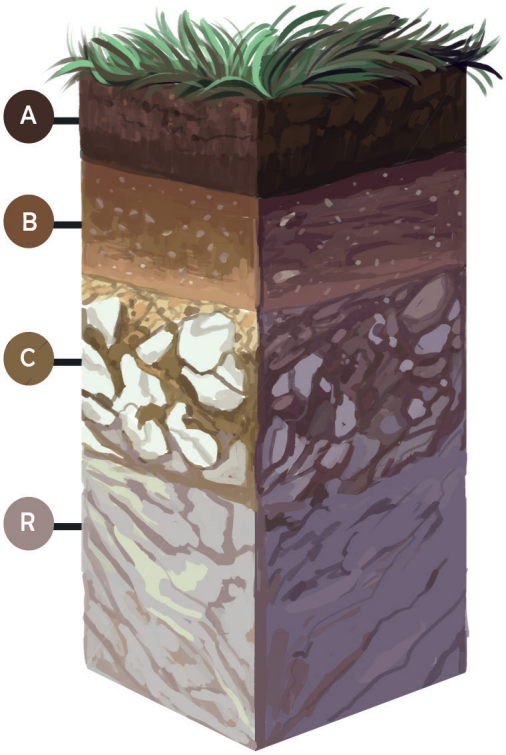
Finalmente, si bien la información química preservada en los vinos a partir de las características de los suelos hoy es conocida y estudiada, falta mucho para comprender cuánto influye la geología en la calidad de los vinos.

SUELOS CONTAMINADOS POR LA INDUSTRIA

Carlos Rodríguez

Un estudio de la Comisión Lancet, estimó que la contaminación combinada entre aire, agua y suelo fue responsable de la muerte prematura de 9 millones de personas en el año 2015 (un 16% de las muertes totales en el mundo ese año). **Esta cifra corresponde a tres veces más muertes que el SIDA, tuberculosis y malaria combinados y 15 veces más que todas las guerras actuales y otras formas de violencia juntas.**

En nuestro país existen normas de calidad que regulan los contaminantes en aire y agua, pero no existe un sistema que regule la presencia de contaminantes en el suelo. Se puede indicar entonces que, en ciertos casos críticos, los efectos cancerígenos de la contaminación del suelo podrían no ser percibidos por la población afectada hasta decenas de años después de la exposición a los contaminantes.



PERFIL DE SUELO

Horizonte A: Es el más próximo a la superficie. En él abunda la materia orgánica descompuesta (humus). Por lo que el horizonte adquiere una coloración oscura.

Horizonte B:Es el nivel donde se acumula la mayor parte de los materiales que, desde el horizonte superior, son transportados por el agua de forma mecánica o en disolución, mediante procesos de lixiviación (V1) o iluviación(V2). Suele presentar un color más claro, pues su contenido de humus es escaso.

Horizonte C: Se corresponde con el material rocoso sobre el que se ha formado el suelo. Este ya presenta signos de meteorización mecánica y química, pero en él todavía puede reconocerse material original.

Horizonte R: Roca madre no meteorizada. Es el material rocoso subyacente, que todavía no ha sido alterado de forma significativa.

V1: Proceso de migración de un componente del suelo por la acción de un agente químico. Por ejemplo, el lavado de sales solubles en el horizonte A por la acción del agua.

V2: Proceso de posición de materias orgánicas o minerales del suelo en el horizonte de acumulación B, procedente del horizonte superior A.

El suelo y sus componentes naturales

El suelo es la capa más superficial de la corteza terrestre. Se origina de la degradación física y química de las rocas, además de otros procesos naturales tales como reacciones químicas y productos metabólicos de organismos y microorganismos que residen en él; como hongos, bacterias, plantas, entre otros. Éste sustenta un sinnúmero de procesos o servicios beneficiosos para el ser humano, además de servir como recurso para la agricultura, ganadería y otras actividades humanas. El suelo constituye el medio para

el desarrollo de millones de especies de plantas y animales, sustentando la base de la biodiversidad del planeta Tierra.

La formación de suelo es un proceso lento de degradación y diferenciación que da origen a los horizontes de suelo, donde intervienen varios factores:

- El **clima**, que controla varios agentes como la humedad, radiación solar y temperatura, entre otros.
- El **material de origen**, que puede ser de roca o sedimento, y determina en gran medida la composición química natural del suelo.
- Los **seres vivos**, cuyas actividades y metabolización controlan la cantidad de materia orgánica, entre otras cosas.
- El **relieve o topografía**, que controla el grado o efecto que tendrán los demás factores ya mencionados.
- El **tiempo**, pues muchos de los procesos que dan origen al suelo ocurren a tasas extremadamente lentas, de manera que un suelo puede tardar entre 2.000 y 20.000 años en formarse.

Estos elementos interactúan alcanzando una especie de "equilibrio dinámico". Este equilibrio es frágil y, por lo general, muy difícil de recuperar. Cuando se rompe el equilibrio, hay una modificación negativa, lo que se conoce como degradación del suelo.

Un tipo común de degradación del suelo ocurre debido a la presencia y acumulación de contaminantes, los cuales pueden cambiar las características químicas del sustrato y afectar la dinámica natural del suelo, generando impactos graves en los ecosistemas que dependen de él.

Los contaminantes del suelo

La Ley 19.300 sobre "Bases Generales del Medio Ambiente" define ***contaminante*** como: "*todo elemento, compuesto, sustancia, derivado químico o biológico, energía, radiación, vibración, ruido, o una combinación de ellos, cuya presencia en el ambiente, en ciertos niveles, concentraciones o períodos de tiempo, pueda constituir un riesgo a la salud de las personas, a la calidad de vida de la población, a la preservación de la naturaleza o a la conservación del patrimonio ambiental*".

Los contaminantes llegan al suelo desde el aire en forma de polvo o material particulado, como sólidos que se depositan directamente, o en forma de líquidos o semisólidos, como ocurre con el vertimiento de sustancias tales como lodos industriales y combustibles.

Posiblemente, la principal fuente de contaminación que da origen a la acumulación de contaminantes en el suelo es la actividad industrial. Dependiendo del tipo de industria, el suelo aledaño a la zona industrial podría desarrollar distintos tipos de cambios respecto de su estado natural. La actividad minera, por ejemplo, en sus variados procesos metalúrgicos genera acumulación de elementos asociados a los minerales explotados. Es así como en las fundiciones de cobre se puede acumular arsénico, mercurio y plomo, entre otros. En diferentes concentraciones, estos elementos son tóxicos y pueden generar graves e irreversibles problemas de salud.

Por otro lado, la actividad agrícola sin control o no regulada también puede contaminar el suelo con sustancias peligrosas a través de la aplicación de fertilizantes y de plaguicidas. Algunos de ellos se encuentran prohibidos actualmente por su alta toxicidad pero fueron ampliamente utilizados durante varios años.

En cuanto al riesgo en la salud humana asociado a la exposición de contaminantes en el suelo, este

resulta mucho menos directo y evidente que otras matrices de exposición como son, por ejemplo, el agua o el aire. Estas últimas pueden incidir directamente en el organismo de los seres humanos receptores, generando efectos que pueden ser percibidos en el corto plazo y haciéndolos más fáciles de evidenciar. La incidencia del suelo, en cambio, es menos directa y ocurre en concentraciones más bajas.

Los contaminantes del suelo pueden: 1) migrar a las napas subterráneas y contaminar los acuíferos de los cuales se extrae agua para el consumo y riego; 2) bioacumularse en los vegetales y ser consumidos directamente por las personas, o bien, entrar a la cadena trófica; 3) ingresar directamente al organismo de los receptores mediante ingestión o inhalación de pequeñas cantidades, por parte de personas y, principalmente, por los niños pequeños que juegan en el suelo y se encuentran en mayor contacto con él.

Para determinar la posibilidad de que un suelo con presencia de contaminantes pueda ser peligroso para la salud de las personas, es necesario realizar una evaluación de riesgo.

Contaminación del suelo chileno

En Chile, la Ley 19.300 define contaminación como *"la presencia en el ambiente de sustancias, elementos, energía o combinación de ellos, en concentraciones o concentraciones y permanencia superiores o inferiores, según corresponda, a las establecidas en la legislación vigente"*. Dado lo anterior, **al no existir una norma oficial de calidad de suelo que establezca un límite o rango para la presencia de sustancias contaminantes, no es** posible llamar "suelos contaminados" a los suelos que presenten concentraciones anormalmente altas de contaminantes de origen antrópico. Por lo tanto, no es posible abordar y generar programas efectivos de descontaminación en sitios que presentan altísimas concentraciones de contaminantes en los suelos debido a la actividad industrial.

Un estudio de suelos realizado el 2015 en las comunas de Puchuncaví y Quintero encargado por el Ministerio del Medio Ambiente comprobó, mediante el análisis de 582 muestras de suelo, la presencia de altas concentraciones de metales pesados en los suelos en torno al Complejo Industrial de Ventanas. Este complejo lleva más de 50 años en operación desde su apertura y entre las industrias que lo componen se puede mencionar las termoeléctricas, las refinerías de petróleo y, por supuesto, la fundición de Ventanas perteneciente a Codelco. Los resultados del estudio determinaron un enriquecimiento inequívoco de algunos elementos en los suelos más próximos al complejo industrial, entre los cuales se destacan las altas concentraciones de cobre y arsénico, que se asocian principalmente al proceso de refinación de cobre realizado en la fundición.

Por otro lado, existen otras ciudades de Chile declaradas por el Estado como "Zonas saturadas por contaminación" como Huasco o Coronel, que presentan contaminación del aire y no cuentan con estudios concluyentes sobre la presencia de contaminantes en el suelo. También existen sitios conocidos como "Zonas de Sacrificio", en donde el Estado pareciera desentenderse de los problemas ambientales y omitir lo indicado en el artículo N°19 de la Constitución política de Chile, cuyo inciso 8vo indica que será deber del Estado de Chile velar por que no sea afectado *"el derecho a vivir en un medio ambiente libre de contaminación"*.

¿Son considerados los peligros geológicos en la planificación territorial?

Valeska Farías

Con posterioridad a un desastre natural, es usual escuchar en televisión acerca de los riesgos que **"se sabían"** de antemano a los que estaba expuesta una localidad, o sobre alguna comuna afectada que **"no contaba con un plan regulador"** y así también hemos escuchado autoridades diciendo que **"nunca más se debe permitir la ocupación de áreas de riesgo".** Pero ¿qué es un Plan Regulador? ¿de dónde viene, de qué organismo(s) depende? y, ¿para qué sirve? **¿se puede evitar la ocurrencia de un desastre natural con un plan regulador?**, ¿qué tienen que ver los planes reguladores con los peligros geológicos en Chile?

El ordenamiento territorial es fundamental para planificar sosteniblemente una comuna, ciudad, provincia, región, o país. Con él se define si una zona será rural o urbana y, más específicamente, el uso que se le dará al suelo en una zona puntual; ya sea -por ejemplo- agrícola, habitacional o industrial. Consecuentemente se definen los objetivos que se quieren proyectar en aquel lugar, ya sean económicos, sociales, ambientales u otros. En ese sentido, es necesario planificar el ordenamiento territorial en todo el país, a modo de que no se sigan habitando zonas de potencial ocurrencia de desastres naturales.

En Chile, el ordenamiento territorial se da a través de los **Instrumentos de Planificación Territorial (IPT)** determinados por la Ley General de Urbanismo y Construcciones y la Ordenanza General de Urbanismo y Construcción.

Comencemos por lo primero: ¿Qué entendemos cuando hablamos de peligro? ¿Y de riesgo?

Coloquialmente, se utiliza el término "riesgo" de un modo inespecífico, que comúnmente se refiere a "peligro natural". Por ejemplo, decimos: "riesgo de avalancha", en vez de "peligro de avalanchas". En realidad, la palabra peligro hace referencia al fenómeno de origen natural que puede provocar efectos negativos de cualquier tipo en el territorio, que cuando ocurre lo llamamos desastre natural. Por otro lado, riesgo se refiere a la probabilidad de consecuencias dañinas por la interacción entre el peligro natural y condiciones vulnerables de un elemento expuesto.

Es importante mencionar que, para entendernos tanto entre geólogos como a nivel interdisciplinario, debe distinguirse adecuadamente entre susceptibilidad (propensión a la ocurrencia de

un tipo de peligro), amenaza o grado de peligro (probabilidad de ocurrencia de un peligro), vulnerabilidad (probabilidad de ocurrencia de daños dado que se ha presentado un peligro) y riesgo (probabilidad de daños dado un evento).

¿Dónde surgen y cómo se implementan estos IPT, para lograr los espacios seguros?

1. La ley

Todo comienza desde una observación a lo que establece la ley. En particular, la planificación territorial en Chile está regulada por la Ley General de Urbanismo y Construcciones (LGUC), que define los Instrumentos de Planificación Territorial que, como ya fue mencionado, son los que establecen qué usos se les dará al suelo de una zona en función de los peligros geológicos que pueden existir (entre muchas otras). En particular, la LGUC indica que: "*…En los planes reguladores podrán definirse áreas restringidas al desarrollo urbano, por constituir un riesgo potencial para los asentamientos humanos…*". Pudiendo definir *zonas no edificables*, si estas ya tienen cierto uso previo, o bien, *áreas de riesgo,* en cuyo caso el riesgo puede "levantarse" por medio de un estudio fundado firmado por un profesional competente.

De acuerdo con la definición expuesta en la LGUC, el término "Instrumentos de Planificación **Territorial (IPT)**" se refiere indistintamente a planes reguladores, que específicamente corresponden a: los **Planes Regionales de Desarrollo Urbano**, los **Planes Reguladores Intercomunales o Metropolitanos**, los **Planes Reguladores Comunales (PRC)**, los **Planes** Seccionales y el Límite Urbano.

2. Los organismos que las licitan (públicos) y que las realizan (privados) ¿Qué organismos identifican la necesidad de realizar IPTs?

Los organismos que están mandatados a encargarse de los IPT son el **MINVU** (para los PRI o PRM) y las **Municipalidades** (para los PRC, que normalmente están financiados por el MINVU). El desarrollo de los IPT está comandado por las secretarías regionales ministeriales de Vivienda de cada región y apoyados técnicamente por las **Divisiones de Desarrollo Urbano** (DDU) del mismo ministerio, y quien aplica en la práctica lo determinado en los IPT son los **directores de Obras municipales** (DOM). Se suele solicitar apoyo técnico específico a otros organismos del estado como a la **Dirección de Obras Hidráulicas** (DOH) o a **SERNAGEOMIN** en materias que normalmente no manejan los profesionales de las DDU. Las vías de financiamiento de los IPT son varias, desde **Fondos Nacionales de Desarrollo Regional** (FNDR) a fondos que entrega el gobierno regional.

Estos organismos identifican la necesidad de realizar IPT, solicitan su realización mediante licitaciones públicas, y fiscalizan que se lleven a cabo bajo ciertos estándares, y los aprueban o rechazan una vez realizados. En el caso de los PRC son aprobados o rechazados por el consejo municipal, lo que trae una carga política sobre estos instrumentos técnicos.

Por otro lado, empresas privadas son las encargadas de llevar a cabo estos proyectos, a modo de asesores técnicos competentes mandados por los organismos del sector público antes mencionados. Pueden acceder a realizar estos ITPs luego de postular a licitaciones por medio de mercado público.

Imagen satelital de la Bahía de Chañaral del 6 de Abril de 2015, a días de ocurrido el aluvión que impactó la zona.

"...

CATASTROFISTA?
claro que sí
pero MODERADO

El error consistió
en creer que la Tierra era nuestra,
cuando la verdad de las cosas
es que nosotros somos de la Tierra.

..."

[extracto de *Peatones*, Nicanor Parra]

Imagen © 2018 DigitalGlobe, Google Earth

En general, la empresa privada está conformada por consultoras de arquitectura y urbanismo, que pueden requerir la colaboración de otros profesionales, tales como geólogos, geógrafos, cartógrafos, ingenieros hidráulicos, ingenieros en tránsito, ingenieros forestales, etc. En el caso de las oficinas de geólogos, estos elaboran "estudios fundados de riesgo", los cuales son incorporados pertinentemente en la elaboración de IPT, tanto para apoyar la definición de uso de suelos como para la elaboración de recomendaciones alusivas a peligros geológicos. Los arquitectos recogen la información y toman en consideración una serie de otras características, ya sean sociales, económicas, ambientales, u otras; y en base a eso definen distintas zonas de uso de suelo. El uso de suelo distingue entre las zonas que pueden contener equipamiento esencial (como hospitales o colegios) y las que las excluyen se destinan a área verde, zona agrícola, habitacional, etcétera.

El problema

La planificación territorial es fundamental para desarrollar y pensar sosteniblemente el territorio. Al reconocer zonas expuestas a peligros, se establecen restricciones de uso, y se evita utilizar ese espacio para viviendas o equipamiento esencial. Por otra parte, permite a las autoridades evaluar las posibilidades de implementar medidas de mitigación en zonas pobladas expuestas, minimizando las pérdidas económicas y/o humanas que pudieran ocurrir.
Sin embargo, a pesar de que existe este conjunto de normas e instrumentos de planificación territorial, la superposición de visiones e intereses entre los distintos organismos participantes dilatan el proceso de aprobación de los IPT, e incluso muchas veces no llegan a aprobarse, a pesar de contener buenos estudios de riesgo. Esto impide que se regulen algunos territorios y a la vez permiten el crecimiento de las ciudades hacia zonas expuestas a peligros geológicos.

La problemática expuesta se basa en que, por un lado, existe poca coordinación y diálogo entre los organismos públicos participantes en la determinación y regulación de zonas con riesgos. Pero, además, **no existe un organismo central que lidere la coordinación entre ellos**, así como tampoco existe un cuerpo legal que exponga protocolos, reglamentos y acuerdos claros entre los organismos involucrados, ni existe una normativa cohesiva que explique cuáles son las funciones que debe llevar a cabo cada uno de los agentes participantes. Todo esto genera un procedimiento poco claro, que finalmente entorpece la toma de decisiones administrativas respecto, por ejemplo, a qué hacer con las zonas ubicadas en áreas de riesgo.

A pesar de que muchas veces ya han sido elaborados los estudios de riesgo, el reconocimiento de las zonas de riesgo queda supeditado a la aprobación de los IPT. Ocasionando que este conocimiento no se haga práctico o útil, y menos aún que llegue a conocimiento de los ciudadanos. De este modo, no es de extrañar que puedan desencadenarse eventos catastróficos en zonas que ya tienen planes reguladores en curso y, por tanto, cuyas áreas de riesgo ya han sido identificadas, pero cuya aprobación y puesta en marcha han estado siendo dilatadas.

Otra de las limitaciones de los IPT, consiste en las diferencias que aplica para distintos planes. Por ejemplo: para los planes comunales, es posible establecer tanto límites urbanos (línea imaginaria que delimita las áreas urbanas) como zonificar el uso de suelo y establecer recomendaciones acordes a sus características intrínsecas. Por otro lado, en los planes intercomunales solo se pueden establecer límites urbanos y de extensión urbana, sin poder considerarse los otros aspectos. Esto inhabilitaría el establecimiento de restricciones contundentes en áreas naturales.

Por otro lado, una dificultad que enfrentamos los geólogos en este rol se relaciona a cómo es percibida la delimitación de las áreas de riesgo, no sólo por las autoridades locales, sino también por quienes habitan en las zonas que serán reguladas. Puesto que suele percibirse como una amenaza al derecho de propiedad por parte de los propietarios que poseen terreno (o parte de terrenos) en "áreas de riesgos". Ya que, al contraponer el ideal del derecho a la propiedad con la implementación de los IPT, éstos son percibidos (los estudios de riesgos) como instrumentos que amenazan el desarrollo de cierta área.

Finalmente, cabe mencionar que existe una gran cantidad de normas que regulan los recursos naturales o el patrimonio, pero no son mencionadas en este artículo, puesto que escapan de la temática de exposición a peligro.

Conclusión

Entendemos que, en un país como Chile, que de extremo a extremo se encuentra expuesto a diversos peligros geológicos, es fundamental ocupar el territorio de manera sostenible, para lo cual es necesario llevar a cabo una planificación territorial, desarrollada apropiadamente, por medio de criterios técnicos. Y aunque pueda parecer difícil regular un territorio tan complejo como Chile, en algunos casos es posible disminuir la cantidad de urbanizaciones expuestas a riesgos por medio de obras de mitigación pensadas y ejecutadas apropiadamente. Por otro lado, habría que aceptar que probablemente habrá zonas cuya única solución sería llevar a cabo planes de evacuación basados en herramientas de monitoreo y alerta temprana, apropiadamente complementados con la educación, prevención y alerta a la población. Sin embargo, es necesario también aceptar que hay lugares cuyo riesgo no se puede mitigar y es mejor no utilizarlo con fines habitacionales o para instalar infraestructura esencial (líneas de energía, aprovisionamiento de agua potable, alimentación, salud, educación y seguridad).

Así mismo, nuevos asentamientos pueden ser planificados de manera adecuada, para que no se encuentren expuestos a zonas de riesgos y las medidas de evacuación o mitigación no sean necesarias en un futuro. En este mismo sentido, cabe destacar que la planificación del territorio es necesaria, y es incluso económicamente conveniente en el largo plazo, puesto que un territorio planificado será también financieramente sostenible.

Finalmente, es esperable, cuando escuchemos en las noticias hablar de un desastre natural con comunidades afectadas, que nos enteremos por ese mismo medio cuál era el ITP que corría en el lugar, si se había previsto ese fenómeno; y de ser así, qué había fallado entonces en su implementación y finalmente qué medidas estaría planificando la autoridad responsable para actualizar el ITP de la zona y evitar futuras afecciones.

AFINEMOS NUESTRAS INTUICIONES

Hernán Bobadilla

Varios estudios muestran que la explotación de diversos recursos naturales, en particular de combustibles, fósiles y recursos minerales, presenta tendencias de crecimiento exponencial durante el último siglo, a escalas regionales y globales; este tipo de crecimiento posee propiedades que no son intuitivas para la mayoría de las personas; Por lo tanto, para explorar las consecuencias del crecimiento exponencial del consumo y así afinar nuestras intuiciones, sugiero emplear el siguiente "experimento mental"[1]:

> Imagina que eres una **bacteria** en una "civilización" de bacterias viviendo al interior de una botella y que tú y todas las bacterias se duplican cada minuto (crecimiento exponencial).
>
> Ahora, exploremos ciertos escenarios:
>
> Supón que en la botella a las 11:00 sólo hay una bacteria y a las 12:00 la botella se ha llenado (evento catastrófico); la población no podrá seguir creciendo y las bacterias tendrán que pelear por espacio.

Primera pregunta: ***¿Cuándo está la botella mitad llena?***

La respuesta más común a esta pregunta es **"a las 11:30"**. El razonamiento que sustenta esta respuesta es: "La botella está mitad llena a 'medio camino' entre las 11:00 y las 12:00", pero este razonamiento es incorrecto y no representa "crecimiento exponencial".

El razonamiento correcto es: dado que la población de bacterias se duplica cada minuto, sólo un minuto antes de las 12:00 AM la botella estaba mitad llena, es decir a las 11:59 (crecimiento exponencial)[2].

Segunda pregunta: como bacteria en esta civilización, ***¿cuándo te darías cuenta del problema, que se están quedando sin espacio?***

Inspeccionemos el espacio disponible en la botella algunos minutos antes de las 12:00 (ver tabla).

Bacterias en botella... ULTIMOS MINUTOS!!		
11:54	1,6% llena	98,4% vacía
11:55	3,1% llena	96,9% vacía
11:56	6,3% llena	93,7% vacía
11:57	12,5% llena	87,5% vacía
11:58	25% llena	75% vacía
11:59	50% llena	50% vacía
12:00	100% llena	0% vacía

¿Cuántos de nosotros nos daríamos cuenta de que hay un problema cinco minutos antes de las doce, cuando aún hay 97% de la botella libre para ser ocupada? ¿O incluso un minuto antes de las doce, cuando aún queda tanto espacio por ocupar en la botella como el que ya hemos ocupado en la historia de nuestra civilización?

Me atrevo a decir que la mayoría de nosotros no sería capaz de reconocer el problema sino hasta que fuese demasiado tarde.

A pesar de lo anterior, supongamos que la civilización de bacterias ha logrado, contra todo pronóstico, identificar el problema a las 11:59. Reaccionando ante la gravedad de la situación, la civilización ha decidido formar una delegación de bacterias exploradoras que buscarán nuevas botellas para colonizar. La expedición fue exitosa y la delegación vuelve a su hogar con el descubrimiento de ¡tres nuevas botellas!; esto es un descubrimiento colosal. La civilización dispone ahora de cuatro veces los recursos que tenía antes de la expedición, esto daría a la civilización un largo tiempo de prosperidad ¿O no? Pero lamentablemente, esto no es así; al contrario a las intuiciones de la mayoría de nosotros, las tres nuevas botellas no darán – ni siquiera tres horas adicionales de vida

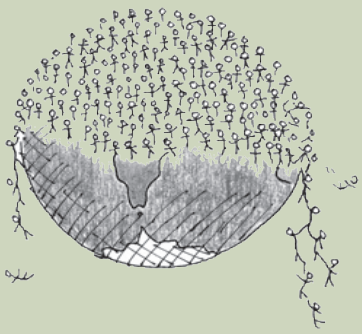
[1] *Agradecimientos para el físico Albert Bartlett, quien propuso este experimento.*

[2] Nota al margen: *La cantidad de bacterias a las 12:00 es* **1.152.921.504.606.846.976!.** *Ni siquiera sé pronunciar este número.*

a la civilización. Recordemos que la población de bacterias se duplica cada minuto, (entonces a las 12:00 una botella estaría llena, a las 12:01 dos botellas estarían llenas, y a las 12:02 las cuatro botellas se habrán llenado). Este experimento mental nos revela que nuestras intuiciones respecto del crecimiento exponencial están muy mal calibradas. Al respecto, es importante destacar un par de lecciones: primero, el crecimiento exponencial en el consumo de recursos es "silencioso", notamos sus efectos sólo cuando el recurso consumido está al borde de su desaparición; por ello, no podemos esperar a que la disponibilidad de un recurso sea crítica para recién empezar a hacer cambios en nuestros hábitos de consumo y esperar que se recupere. Segundo, los esfuerzos por descubrir nuevos recursos que permitan perpetuar el crecimiento exponencial no resuelven el problema. Como hemos visto, grandes descubrimientos de reservas en yacimientos y reservorios sólo darán una extensión marginal a nuestros hábitos de consumo exponencial.

Una persona optimista respecto de las capacidades humanas podría pensar: "Bueno, nuestras habilidades tecnológicas están creciendo de una forma imprevisible, sin duda que en el futuro seremos capaces de encontrar más combustibles fósiles y recursos minerales que sostengan nuestras demandas"; lamento ser aguafiestas, pero me temo que no es tan fácil; recordemos que los recursos minerales y combustibles fósiles son finitos en, al menos, dos sentidos. En primer lugar, sus tasas de recuperación ocurren a escala geológica; en otras palabras, estos recursos, una vez extraídos y consumidos, no pueden ser recuperados durante nuestras vidas humanas. En segundo lugar, estos recursos son finitos en cuanto a que su extensión no excede la del planeta Tierra, el cual es – como muchos saben – un volumen finito. Los recursos finitos no pueden sostener consumos que crecen exponencialmente, como hemos aprendido con la experiencia de las bacterias.
"Pero bueno, si llegamos a agotar los recursos de este planeta, podremos explorar el espacio en búsqueda de más recursos". Quizás, pero cabe preguntarse a que costos éticos. Un principio ético que solemos ignorar es el prinicipio de responsabilidad con las futuras generaciones de este planeta.

En resumen, nuestro consumo de recursos terrestres no puede ocurrir a expensas de la posibilidad de consumo de generaciones futuras. Debo admitir que, aunque bien intencionado, este argumento aún suena consumista y antropocéntrico. ¿Es que acaso no hay un fin no-humano que regule nuestra relación con la naturaleza? ¿Que tal el respeto a los derechos de la Naturaleza? No muy lejos de aquí, los derechos de la naturaleza han sido constitucionalmente reconocidos en países como Ecuador o Bolivia. El motor de estos cambios es un movimiento llamado "Buen Vivir" – o "Sumac Kawsay" en quechua. Notablemente, parte de los activistas de este movimiento no son contrarios al consumo de recursos, pero enfatizan que DEBEMOS CONSUMIR MENOS.



Mi propósito con esta columna ha sido motivar la reflexión respecto de nuestras formas de consumo. Con un simple experimento mental hemos podido afinar nuestras intuiciones, asignarle la gravedad adecuada al fenómeno del consumo exponencial, y entender que no hay recursos naturales suficientes en la Tierra que permitan sostener dicho hábito.
Como mensaje final deseo dejarlos con esto: **Es intelectualmente deshonesto hacer promesas de desarrollo sustentable que no incorporen explícitamente políticas de reducción de las tasas de explotación y consumo.**

Geohuellas

EL MEDIOAMBIENTE A TRAVÉS DE LA GEOLOGÍA

Año 1 | Número 1 | Septiembre 2018

GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL

Sociedad Geológica de Chile

Valentín Letelier #20, Santiago, Chile