GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
SOCIEDAD GEOLÓGICA DE CHILE

Número 4 | Octubre 2021

Geohuellas

El medioambiente a través de la geología

GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
SOCIEDAD GEOLÓGICA DE CHILE

Directora Editorial

Luna Pérez

Equipo Editorial

Delia Rodríguez
Gabriela Saavedra
Paulina Cortez
Génesis Ulloa
Hernán Bobadilla
Pablo Moreno
Ricardo Krefft
Romina Hakl
Rocío Ortega

Diseño Editorial
Ariel Alarcón

Ilustraciones
Ariel Alarcón
Edwin González

@gga_chile
facebook.com/geologiambientalchile
@geologia_ambiental

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

Geohuellas

El medioambiente a través de la geología

Número 4 | Octubre 2021

GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
Sociedad Geológica de Chile
Valentín Letelier #20, Santiago, Chile

ÍNDICE DE CONTENIDO

Peligro litoral a la vista: riesgos geológicos en zonas costeras 8

Los estudios de peligros geológicos como una herramienta para la planificación territorial informada 10

La evolución de las geociencias hacia una ciencia más social 15

Santiago: territorio y amenaza de la falla San Ramón 19

Instagram como una herramienta para la divulgación científica 23

Remociones en masa en un contexto de cambio climático 26

Canto VI de “Aproximación poética a una Montaña Andina” 30

Desbordes de lagos glaciares en Chile: ¿Peligro futuro o inminente? 32

Columna de opinión: cultura sísmica en Chile, un legado valioso con aires de petulancia 36

¿TE INTERESA LA GEOLOGÍA?

Visita nuestro diccionario de geología ambiental:

www.geologia-ambiental.cl/diccionario

PORTADA 4TO NÚMERO

En la portada, fotocomposición de desastre producido por aluvión.

Ilustrador: Ariel Alarcón.

PRÓLOGO

PELIGROS GEOLÓGICOS EN CHILE

Durante este año, quienes habitamos el planeta hemos presenciado diversas amenazas; olas de calor en Canadá, inundaciones en Alemania, el Huracán Ida en el Estado de Louisiana, terremoto en Haití, o recientemente la erupción del Volcán Cumbre Vieja en La Palma, Islas Canarias; todo ante un contexto pandémico que tal parece está menguando. Cada año los desastres son más recurrentes y Chile no es la excepción que, junto a los demás países de la región, presenta inclusive mayores índices de vulnerabilidad y de exposición al riesgo de desastres que los países del norte.

En Geología, históricamente se ha desarrollado una concepción más bien *positivista* del Riesgo de Desastres, propia del método científico separando la causa del efecto y centrándose en el evento mismo desde un enfoque Riesgo-Amenaza y con cierta indiferencia hacia el trabajo interdisciplinar, cuestión que contrasta con la visión propia de las ciencias sociales, hacia una corriente más constructivista, donde causa y efecto son inseparables (Lampis, 2013). Durante la última década, se han consolidado los esfuerzos para el trabajo interdisciplinar que aúna ambas visiones. Por ejemplo, en la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sustentable* (Río+20), se discutía *"El futuro que queremos"*, colocando la urgencia en el desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza, en tanto, el *Marco de Sendai para la Reducción de Riesgos de Desastres 2015-2030* busca que los territorios tengan mayor comprensión del riesgo, donde se fortalezca la gobernanza multinivel, con mayor inversión y capacidad para una '*mejor reconstrucción*'.

Lo anterior requiere de un trabajo coordinado y que trascienda a lo interdisciplinar, y donde los actores involucrados (organizaciones de la sociedad civil, el sector público, privado o la academia) fomenten estrategias transdisciplinares con proyección al corto, mediano y largo plazo. Durante este año en Chile se han aprobado distintos instrumentos – de relevancia – que permiten articular dicho enfoque transdisciplinar para la Gestión de Riesgos de Desastres. El 16 de marzo del 2021 se promulga la Política Nacional para la Reducción del Riesgo de Desastres 2020-2030; el 5 de julio se promulga la Política Nacional de Ordenamiento Territorial, y a fines de agosto se anunció la Ley Sistema y Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SINAPRED) reemplazando a ONEMI, con más atribuciones para la gestión del riesgo de desastres en miras de una sociedad más resiliente. Sin embargo, sin socialización de los instrumentos y sin organización social, esto solo queda en el papel.

El próximo 11 de noviembre se celebra la COP 26 en Glasgow, Escocia (donde Chile deja la presidencia), a solo 3 meses de haberse entregado el 6to Reporte de Evaluación del IPPC, donde se señala la inequívoca influencia humana en el Cambio Climático. Por ello, es una instancia en la cual se espera que países como China o EE.UU tomen acciones en materia de mitigación, pero que al mismo tiempo países como el nuestro, tomen acciones en materia de adaptación. La Crisis Climática y el Cambio Ambiental Global son problemáticas sociales, que impactan en la pobreza, la migración y la desigualdad. La Geología Ambiental, emerge como un área de las Ciencias de la Tierra que facilita la integración con otras disciplinas, lo que permite dar ciertas luces de cómo la humanidad está incidiendo en el planeta, dejando huella a escala geológica.

Este 4to número quiere conmemorar el día internacional para la Reducción del Riesgo de Desastres, como una invitación a la integración de esfuerzos y a contrastar distintas perspectivas, que, de la mano de la Época del Antropoceno, se nos abre un sinnúmero de posibilidades que nos permiten de manera inédita presenciar cómo el factor social y humano es también parte del registro Geológico.

Coluvio Ausipar, quebrada de Azapa, Región de Arica y Parinacota.

Felipe Orellana Solar
Coordinador Grupo Geología Ambiental

PELIGRO

LITORAL A LA VISTA

RIESGOS GEOLÓGICOS EN ZONAS COSTERAS

Carolina Jofré U.

Ingeniería en Medio Ambiente

Chile es uno de los países con el litoral más largo del mundo. De acuerdo con el Instituto de Recursos Mundiales, la costa chilena supera los 78.563 kilómetros, considerando su territorio continental e insular, lo que lo convierte en el quinto país con mayor extensión litoral del mundo. Estas estadísticas debiesen ser motivo de alerta, ya que la costa es una de las formas geográficas que recibe los más drásticos efectos del cambio climático. En este sentido, Chile enfrenta múltiples y crecientes riesgos geológicos en zonas costeras.

En particular, dos tipos de peligro geológico se han vuelto progresivamente comunes. Primero están las inundaciones costeras, las que suelen occurrir por saturación de los suelos durante intensas precipitaciones o por subidas del nivel del mar. En zonas de desembocadura, los efectos de las inundaciones pueden ser mayores si coinciden con crecidas de ríos. Un ejemplo reciente de esto ocurrió el año 2020 en la localidad de Los Molles. Estas inundaciones afectaron, entre otros espacios, a un condominio construido sobre el relleno de un humedal. Rodrigo Cienfuegos, director del Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales, criticó el proyecto inmobiliario, no sólo por no reconocer los cauces naturales de las aguas, sino también por su grave impacto en el ecosistema costero de la localidad.

Segundo, los movimientos de ladera son otro peligro que se ha vuelto más frecuente en zonas costeras. Los movimientos de ladera (remociones en masa, en términos geológicos) se asocian a la acción de la gravedad que desplaza materiales vertiente-abajo. Uno de los procesos que propicia los movimientos de ladera es la erosión costera por la acción de las olas, corrientes y viento. Como resultado, se producen la reducción de playas y el retroceso de dunas y acantilados, modificando así la forma de la costa. Un estudio solicitado por el Ministerio del Medio Ambiente reveló que el 80% de las playas chilenas presentan erosión costera. Esto no sólo incrementa la susceptibilidad de movimientos de ladera, sino que además amenaza el normal funcionamiento de puertos de importancia.

En Chile, existen organismos y políticas públicas diseñadas para abordar estos riesgos. La Oficina Nacional de Emergencias del Ministerio del Interior y Seguridad Pública (ONEMI) es uno de los organismos que se encarga de planificar y coordinar recursos para prevenir y atender emergencias y desastres. Sin embargo, la reducción de riesgos no puede sólo recaer en la gestión de las emergencias; es crucial que la planificación del ordenamiento territorial realice esfuerzos de forma preventiva y estratégica en el borde costero. En particular, estos esfuerzos preventivos debiesen dirigirse a la preservación de barreras naturales, como dunas y humedales, las cuales cumplen funciones de equilibrio ecosistémico en zonas litorales. La inminente actualización de la ONEMI mediante el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) tiene entre sus propósitos abordar roles precisamente más preventivos.

Un documento fundamental para propósitos de gestión preventiva de borde costero es la Política Nacional de Uso del Borde Costero escrito en 1994. Este documento, utiliza descripciones y consideraciones que demandan actualización. Así lo han juzgado Carolina Martínez y colaboradores en su reporte "***¿Por qué Chile necesita una ley de costas? Hacia una nueva gobernanza de la costa para el siglo XXI***". En este trabajo, hacen un llamado a implementar el concepto de "***zona costera***". La zona costera abarcaría hasta la máxima extensión del nivel del mar en los últimos 12.000 años, punto en el cual el mar estuvo posicionado como respuesta al último cambio climático global. Este enfoque permite un alcance más allá de la playa e incluye dentro del territorio costero todos aquellos ecosistemas costeros frágiles que actualmente no cuentan con formas de protección legal.

LOS ESTUDIOS DE PELIGROS GEOLÓGICOS COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA PLANIFICACIÓN TERRITORIAL INFORMADA

Rodrigo Rauld / Claudia González-Muzzio

Geólogo, Doctor en Ciencias Mención Geología - Xterrae Geología / Arquitecta, Máster en Ciencias del Ambiente, Ciencia y Sociedad - Ámbito Consultores

Todo el territorio debiera contar con **algún tipo de ordenamiento**. Esto corresponde a la **expresión espacial de las políticas económicas, sociales, culturales y ecológicas de la sociedad**, y cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio según un concepto rector determinado, de acuerdo con la Carta Europea de Ordenación del Territorio. Aunque en Chile este concepto no se utiliza de forma explícita y aún no existe una política de ordenamiento territorial en el país, se han desarrollado algunas iniciativas orientadas a la planificación territorial, especialmente a partir de la segunda mitad del siglo XX. Esta se encuentra regulada por la Ley General de Urbanismo y Construcciones y su Ordenanza, que determina cómo y de qué forma se utiliza el territorio definiendo una serie de normas que rigen principalmente en las áreas urbanas. De este modo, la **planificación urbana**, según la define el Ministerio de Vivienda y Urbanismo (MINVU), es *"el proceso que se efectúa para orientar y regular el desarrollo de los centros urbanos en función de una política nacional, regional y comunal de desarrollo socio-económico"*.

En Chile, **más del 87% de la población vive en ciudades**, de acuerdo con el Censo de 2017, por lo que la planificación urbana cobra gran relevancia por la cantidad de población expuesta a potenciales eventos peligrosos, aunque no puede ni debe, descuidarse lo que sucede en los sectores rurales.

Una planificación territorial informada, es decir, que se realice a partir del conocimiento del área a regular, su población, características y, por supuesto, sus condiciones geográficas y ambientales, debiera permitir que las decisiones se tomen en concordancia con la situación particular de cada lugar y promuevan un **desarrollo sostenible, que sea cultural y territorialmente apropiado**. En el sentido de lo anterior, para entender como relacionarnos con el lugar en que se basa una sociedad es fundamental conocer la geología y los procesos geológicos que ocurren en el mismo.

Registro del espesor del depósito de barro resultante de los aluviones de Atacama el año 2015, sector Bandurrias en Copiapó. Muestra los efectos que pueden producirse como consecuencia de la ocupación de un área sin conocimiento de las dinámicas que ocurren en éste (Fotografía de los autores).

Lamentablemente, ya sea por la burocracia, los tiempos o los costos que los procesos de planificación implican, en muchas ocasiones las acciones de planificación se realizan en forma tardía, una vez que la población ya se ha asentado en lugares que pueden ser afectados por desastres. O bien, como sucede en las denominadas *"zonas de sacrificio"*, **el desarrollo resulta desequilibrad**o, cargando sobre alguna fracción de la sociedad las externalidades de determinadas actividades que, aunque necesarias, son de alto impacto en términos ambientales y sociales.

El conocimiento previo de las condiciones del territorio que podría ocuparse permitiría, entre otras cosas, decisiones más eficientes en términos de la definición de redes de transporte; actividades y usos como vivienda, comercio y equipamientos como colegios, establecimientos de salud o deportes, industria, áreas verdes, etcétera; áreas de protección debido a su valor ambiental; o bien la definición de áreas de restricción por presentar peligro para la ocupación urbana.

Por otro lado, por medio de una planificación territorial informada, es posible identificar escenarios frente a potenciales desastres —como terremotos, erupciones volcánicas, inundaciones, sequías o incluso pandemias—, determinar las áreas que pueden verse potencialmente afectadas si una o más de esas amenazas se activa; determinar cuánta y cómo es la población que se encuentra en riesgo, etcétera. Esto con el fin de orientar una adecuada preparación y respuesta en caso necesario; por ejemplo, mediante la definición de áreas seguras y de las vías de evacuación, el establecimiento de sistemas de alerta temprana, la ubicación de los equipamientos esenciales fuera de las zonas expuestas, la localización y distribución que debieran tener los albergues, entre otros temas que las autoridades locales y nacionales debieran considerar.

En un país como el nuestro, expuesto a **múltiples amenazas geológicas e hidrometeorológicas** (relacionadas con las precipitaciones o ausencia de ellas, las temperaturas y otros aspectos climáticos), que además cumple con siete de los nueve criterios de vulnerabilidad frente al cambio climático que identificó la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático, esto es aún más relevante, pues **posiblemente no exista un área en el país completamente segura**.

Conocer dónde vivimos y las **amenazas** a las que estamos expuestos es tan importante como saber cuáles son **nuestras vulnerabilidades**, es decir, cómo las diversas amenazas nos afectarían, pero también las capacidades con las que contamos para hacer frente a estas. Y, en este sentido, las decisiones de planificación también deben orientarse a mejorar estas capacidades y a disminuir nuestras vulnerabilidades.

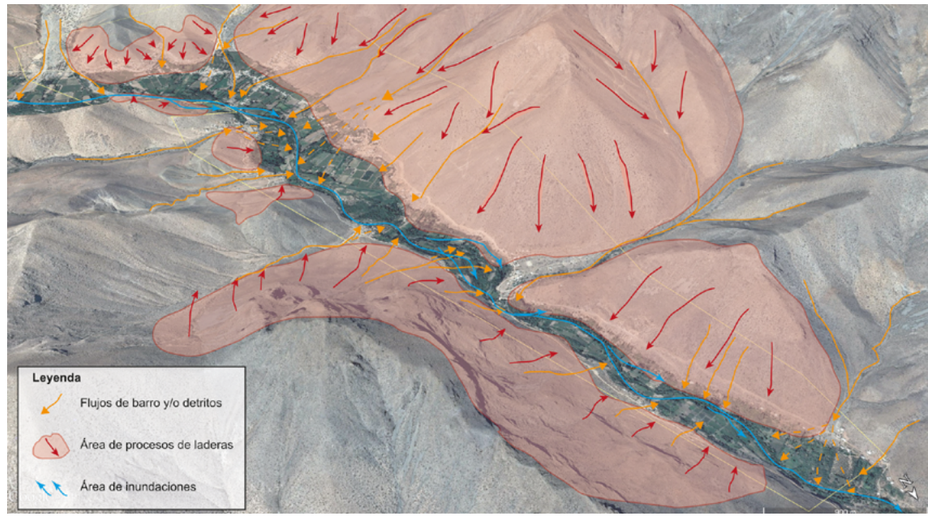
Planificar el territorio de manera informada no solo es deseable, sino también es **obligatorio**, dado que nuestro país es signatario de numerosos convenios internacionales orientados a lograr un desarrollo sostenible, todos con metas al 2030.

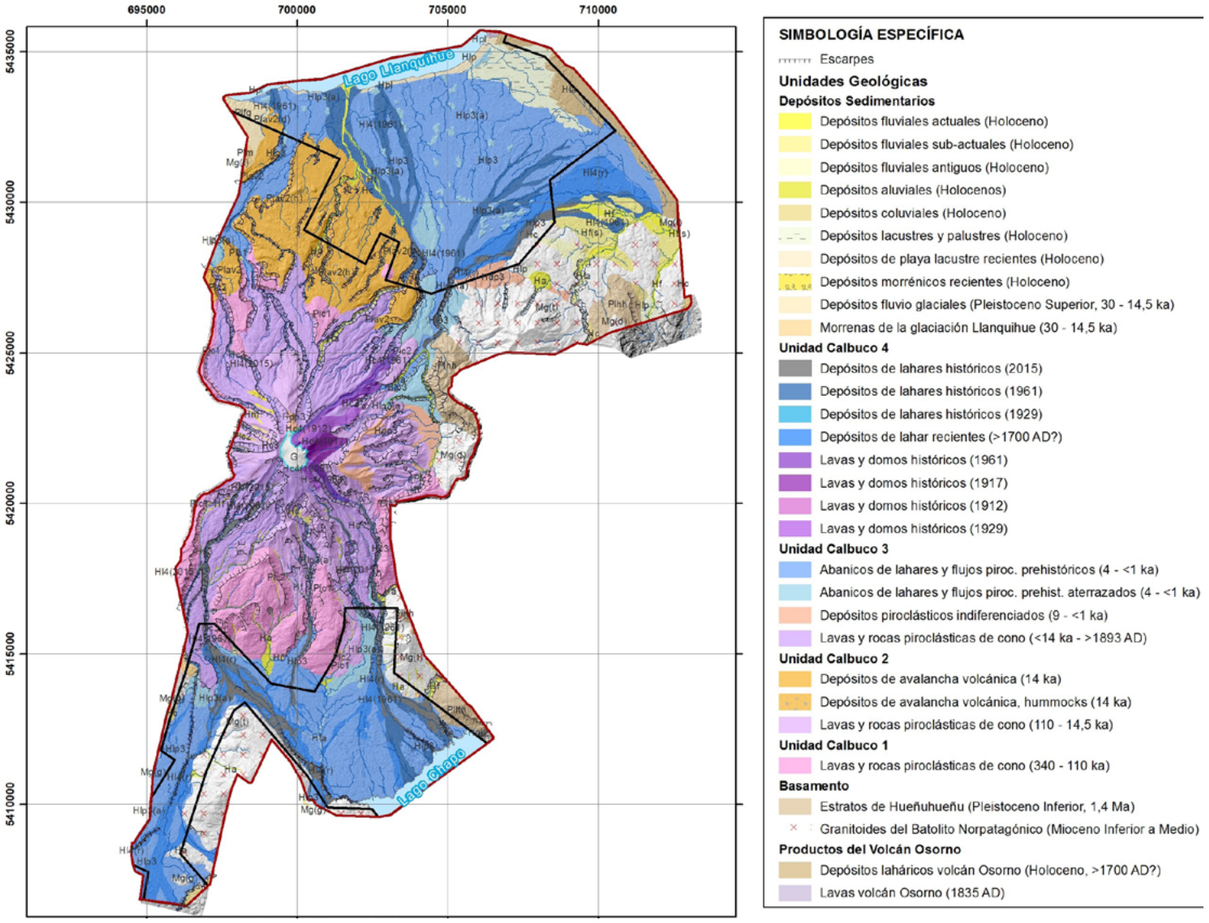
Uno de estos acuerdos es la **Agenda 2030**, que considera 17 objetivos para un desarrollo sostenible. Entre estos destacan el N°11 *"lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles"*, y el N°13 *"Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos"*.

Otro convenio relevante es el **Marco de Sendai para la Reducción del Riesgo de Desastres**, que considera entre sus prioridades **comprender** el riesgo de desastres (es decir, conocer amenazas, vulnerabilidades y capacidades) e **invertir** en la reducción del riesgo de desastres para la resiliencia, por medio, entre otras herramientas, de la incorporación de las **evaluaciones del riesg**o de desastres en la elaboración y aplicación de **políticas territoriales**, incluidas la planificación urbana, las evaluaciones de la degradación de las tierras y las viviendas informales y no permanentes, y el uso de directrices y herramientas de **seguimiento** basadas en los cambios demográficos y ambientales previstos.

Los dos convenios anteriores se relacionan entre sí y con el **Acuerdo de París**, que define objetivos y metas concretas para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y promueve acciones de adaptación a los efectos del cambio climático, cuestión sumamente relevante en los territorios urbanos, pues estos concentran a la población y, al mismo tiempo,

Conocer los procesos que afectan a una localidad permite tomar decisiones informadas respecto a las actividades y usos de suelo que pueden darse en ésta. En la figura se ve una serie de procesos geológicos que pueden afectar al área que se va a planificar.





Ejemplo de un mapa geológico, en este caso alrededor del volcán Calbuco. En este mapa se pueden distinguir los diversos materiales que conforman las diversas unidades geológicas del área, cada unidad entrega información del proceso que la generó.

son responsables de alrededor del 70% del total de las emisiones de GEI.

Debido a lo anterior, la planificación territorial no solamente debe considerar aquellos **lugares que aún no han sido ocupados, si no también aquellos lugares que estando actualmente ocupados deben actualizar sus orientaciones de planificación para considerar los cambios en las condiciones naturales del territorio** al momento de ser ocupado. Problemáticas actuales como el aumento del nivel del mar o eventos de intensas precipitaciones que generan crecidas rápidas de gran magnitud (como los eventos ocurridos en la región de Atacama los años 2015 y 2017), ejemplifican procesos que afectan áreas urbanas ya consolidadas e instaladas en condiciones distintas a las actuales y que, por lo tanto, deben considerar en su planificación acciones de mitigación y adaptación frente a estos procesos.

No planificar, o hacerlo sin la información necesaria, implica sin dudas que más personas, bienes y actividades económicas serán vulnerables a los efectos del cambio climático y a la ocurrencia de otros desastres. Lo anterior aumenta las inequidades sociales y económicas debido a que los desastres no afectan a todos por igual, como ha sido evidente durante la pandemia por la COVID-19.

Si bien los instrumentos de planificación territorial con los que contamos actualmente son limitados en su alcance y efecto, es necesario considerar otros que son complementarios y pueden ser aplicados a los distintos niveles territoriales, como los **planes comunales o regionales para la reducción del riesgo de desastres** que ha ido promoviendo la Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI). Estos, **si bien actualmente no son obligatorios por ley, son sumamente necesarios para una planificación integrada del territorio**. Ellos también requieren de información sobre los riesgos presentes y su elaboración e implementación constituyen una oportunidad para planificar de manera prospectiva y no reactiva.

En el ámbito del conocimiento de los riesgos, evidentemente las amenazas juegan un papel fundamental. Y, particularmente, respecto a las amenazas geológicas, los geocientistas pueden entregar información valiosa y útil para apoyar en la planificación del territorio porque permite integrar en la planificación las variaciones futuras de las condiciones territoriales y, a la vez, poder considerar aquellos fenómenos que son **más frecuentes y de menor magnitud** (las crecidas menores de los ríos) como también aquellos fenómenos que son de **mayor magnitud y poco frecuentes** como, por ejemplo, el terremoto de 1960.

El **trabajo interdisciplinario en este ámbito es relevante**, pues no se trata solo de saber dónde y cómo son las amenazas, sino cómo y a quiénes puede afectar, y qué medidas se puede tomar para reducir los riesgos mediante la planificación, de forma tal que las distintas disciplinas puedan alimentarse con la experiencia de otras para tener una mejor y más adecuada perspectiva de las variables del territorio que afectan a la sociedad y, por otro lado, cómo la sociedad afecta y modifica el territorio que ocupa y su medio ambiente.

A partir de lo señalado, **una temática que debiese tener gran incidencia en la toma de decisiones de planificación territorial es el análisis de los peligros de origen geológico** que se presentan en distintas partes del territorio y tienen características muy variadas que normalmente son dependientes de las **condiciones locales**. Estos peligros pueden tener su origen en procesos internos (como terremotos o volcanes) o externos de la Tierra (como inundaciones o aluviones). Estos fenómenos pueden clasificarse también a partir del alcance territorial de sus efectos. Por ejemplo, **los terremotos de subducción son de escala regional**, mientras que también existen peligros geológicos con efectos locales, como pueden ser las caídas de rocas. Otra forma de clasificarlos es de acuerdo con si son peligros rápidos como, nuevamente, las caídas de rocas, **o de desarrollo lento**, como los que son consecuencia del aumento del nivel del mar resultante de la crisis climática.

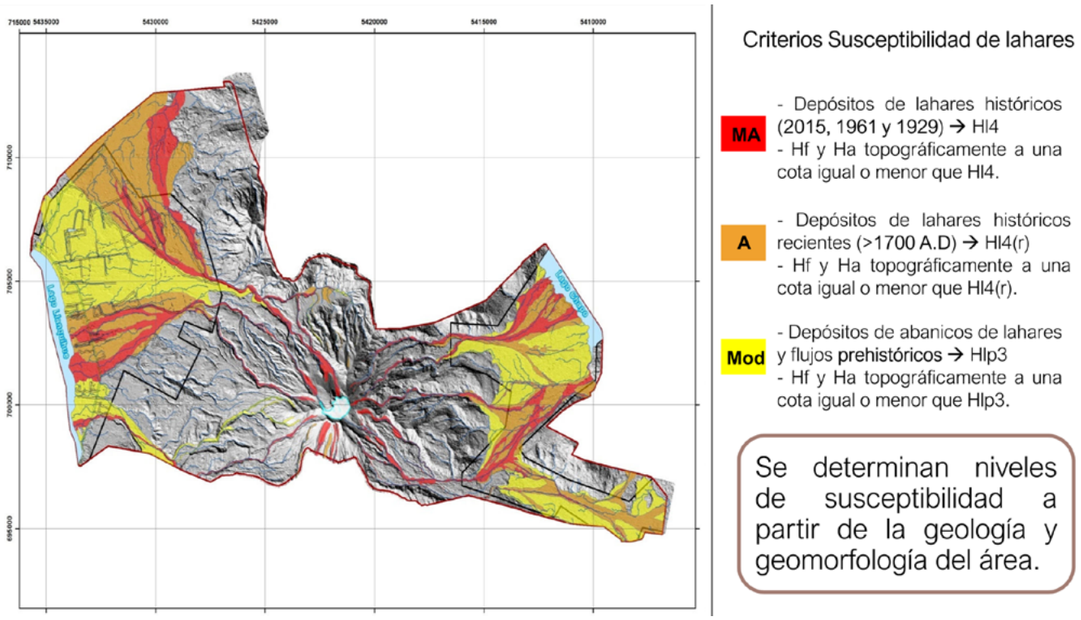
Otra forma de diferenciar los peligros es tomando en consideración la frecuencia con que éstos ocurren. Por ejemplo y volviendo al caso, las caídas de bloques pueden ser eventos frecuentes en ciertos taludes de carretera, mientras que, por otro lado, existen peligros que son menos frecuentes pero que igualmente deberían ser contemplados por la planificación, como aquellos asociados a terremotos en fallas superficiales activas que pueden ocurrir cada miles de años. Si bien estos peligros son de baja frecuencia, al momento de ocurrir pueden ocasionar desastres de grandes proporciones si no se tienen en cuenta.

Determinar cuáles son los **factores condicionantes** de los peligros presentes en el medio ambiente físico de un territorio es, en gran parte, aporte de los geocientistas. Con su trabajo se pueden identificar los diversos materiales que lo componen, los procesos que lo afectan, y las evidencias y magnitudes de eventos pasados que han afectado el lugar que se estudia. De esta forma, es posible identificar cuáles son las áreas dentro del territorio de planificación que pueden ser afectadas por eventos futuros y cuál sería la probabilidad de ocurrencia de eventos de ciertas magnitudes.

Además de lo anterior, conocer cuáles son las condiciones del territorio a un nivel de base, es decir, en un momento determinado, permite definir valores comparativos útiles para el monitoreo del medio que pueden permitir levantar la alarma preventiva sobre la ocurrencia de fenómenos peligrosos, definiendo también valores umbrales que nos indican cuándo cierto proceso puede generar consecuencias negativas. Por ejemplo, valores de caudales asociados a una intensidad de precipitación permitirían anticiparse a la ocurrencia de eventos que afecten sectores previamente identificados del territorio como susceptibles a inundarse. Para lo anterior **es necesario conocer la historia de los fenómenos que han ocurrido en un área, a partir de un catastro, y monitorear adecuadamente las condiciones relevantes a la escala de dicha área**.

La información anterior también permite definir o aportar en la elaboración de planes de emergencia específicos, considerando evacuaciones preventivas, ajustar los criterios de planificación y también informar periódicamente a las comunidades de la posibilidad de ocurrencia de ciertos eventos antes de que ocurran.

Todo lo anterior debe, por cierto, ser alimentado también desde las experiencias de la propia comunidad. Muchas veces quienes viven en los distintos territorios proveen a los profesionales información muy valiosa sobre amenazas a nivel



Ejemplo de un mapa de susceptibilidad de lahares confeccionado a partir de la información que entrega el mapa geológico. Se puede ver que los criterios de determinación de los diversos niveles de susceptibilidad están dados por una relación entre las unidades geológicas y la geomorfología del área.

local, y así también, a **veces el conocimiento tradicional provee soluciones o maneras de abordar el riesgo que pueden aportar a su efectiva reducción**.

Involucrar a las comunidades expuestas a amenazas es relevante en muchos sentidos, aunque quisiéramos destacar particularmente que es responsabilidad de todas las personas conocer el territorio donde habitamos y, por tanto, saber cuáles son las amenazas que pueden afectarnos. Por otro lado, **las comunidades expuestas a peligros no deben ser vistas como víctimas de un potencial desastre, sino que deben jugar un rol en la reducción del riesgo y en la preparación ante la ocurrencia de eventos adversos**. Por lo mismo, cuando la información es también entregada a la comunidad de manera efectiva se genera un mayor conocimiento del territorio y sus dinámicas, lo que permite que las decisiones de planificación sean más consensuadas entre los tomadores de decisión y el resto de la sociedad.

Es particularmente importante integrar en la educación formal e informal desde edades tempranas el conocimiento del territorio, para que las personas integren en su desarrollo la apreciación de los procesos y características del medio en que se desenvuelven, haciéndose así parte y también más partícipes respecto del lugar en que viven, siendo más conscientes de los efectos y sus las interacciones con el territorio, desarrollando un mayor sentido de pertenencia al sitio donde habitan.

Que tanto las comunidades como las autoridades estén bien informadas sobre los riesgos presentes en los territorios permite una mayor sinergia en la planificación territorial y, en el largo plazo, disminuye potenciales conflictos sociales respecto de la toma de decisiones, ya que los motivos que llevan a tomarlas son conocidos por todas las personas.

Como conclusión, conocer el territorio con sus características geológicas, geomorfológicas y ambientales, entre otras, permite contar con información esencial para que la toma de decisiones de planificación territorial sea eficientes y sustentables. Considerando que una parte importante del conocimiento del medio físico en que se desarrolla la sociedad proviene directamente de los estudios geológicos y de riesgos, se confirma que son una herramienta vital para determinar aquellos lugares en el territorio que están más expuestos a ser afectados por peligros que pueden tener consecuencias negativas para las personas, las actividades y la infraestructura, y el uso de éstos permite tomar decisiones informadas para disminuir sus potenciales impactos.

LA EVOLUCIÓN DE LAS GEOCIENCIAS
HACIA UNA CIENCIA MÁS SOCIAL

Esteban Marin, Linda Cárdenas y Flover Rodríguez

Geólogo, Especialista en Amenazas y Riesgo. / Licenciada en Educación Comunitaria, Master en Comunicación y Medios. / Geólogo, Director Ejecutivo de la Asociación Colombiana de Geólogos y Geofísicos del Petróleo.

Proponemos observar cómo las ciencias de la Tierra, también conocidas como geociencias, desde su núcleo de ciencia natural ha ido generando un nuevo enfoque hacia la sociedad. Esto, debido a que a medida que avanza la sociedad, sus necesidades se vuelven más complejas, y a su vez con el avance de las ciencias naturales y sociales se comienza a comprender que todo está conectado. Por ejemplo, no es casualidad que las zonas más impactadas por eventos naturales, además sean zonas con poblaciones de escasos recursos o más **vulnerables**. Estas vulnerabilidades son multidimensionales, no sólo hablamos del nivel económico, sino en todo ámbito, como educacional, de participación y arraigo territorial o incluso a niveles políticos.

Este cambio en las ciencias de la Tierra también proviene de modelos actuales de investigación científica e investigación aplicada, los que se plantean con una mirada **transdisciplinar**. En estos se busca que participen distintos profesionales, los que en conjunto se espera que puedan comprender una problemática compartiendo conocimientos y buscando entender los casos de la manera más completa posible. Abordaremos más de estos tópicos y sus relaciones en este artículo, para esto planteamos observar el cambio evolutivo de las geociencias en dos áreas aplicadas al territorio, la gestión del riesgo y la planificación territorial.

Para iniciar, podemos poner en la lupa modelos de antaño sobre gestión del riesgo, como el propuesto por el científico de las geociencias Scandone, en 1981. Entonces se presentaba la siguiente fórmula para entender los procesos volcánicos y evaluar los daños por ellos causados:

Riesgo = Probablidad de ocurrencia x Daño potencial

Este planteamiento dirige la mirada hacia el entendimiento de las características condicionantes y desencadenantes de los eventos naturales peligrosos, además de las pérdidas económicas. Responde a su momento histórico, pero en la actualidad sabemos que para que ocurra un **desastre**, no solo debe ocurrir un evento natural de gran impacto, sino que hay condiciones más allá de las naturales que conllevan que un evento se convierta en **catástrofe**. Estas condiciones se pueden observar en todo ámbito de los sistemas humanos, por ejemplo, en la política en relación con cómo se manejan los desastres, en cómo se administran los territorios o en la normativa de construcción, así como también en educación respecto a cómo comprende su entorno la ciudadanía, y de esta manera varias áreas del desarrollo humano que tienen estrecha relación en el resultado de un

evento de gran escala o magnitud, pero que cuesta conectar en el pensamiento colectivo.

Para entender esto, tomemos como ejemplo el terremoto ocurrido en las cercanías de Cobquecura - Chile - el 27 de febrero de 2010. El evento como tal tuvo potencial de ser un **desastre**, y lo llegó a ser por deficiencias en nuestros sistemas y poco conocimiento sobre el tema en varios aspectos. Desde tomadores de decisiones hasta ciudadanos configuraron un ambiente propicio para que un sismo de esa magnitud causase una **crisis** como la que vivió Chile con aquel evento.

Once años después y tras muchos análisis de lo ocurrido, se ha logrado a comprender que este desastre es más que un terremoto de casi 9 grados en escala de Ritchter. Por ejemplo, algunos de los edificios que se cayeron tenían una mala mezcla de cementos en sus cimientos, presentando burbujas de aire en pilares. También se observó que gracias a sus conocimientos ancestrales las comunidades indígenas se movilizaron a partes altas antes de que llegara la primera ola del tsunami posterior al sismo, reconociendo que el saber sobre el territorio que se habita es de suma importancia. Por ello, la **divulgación del conocimiento** y el trabajo que esta conlleva resulta ser de gran interés como canal de información entre los científicos, los saberes locales y la población general.

En ámbitos de gestión del riesgo, por lo general en Chile y Latinoamérica, el avance ha sido forzado por algún desastre. Estos son los casos de la creación del Centro Sismológico Nacional luego del sismo de 1906, o los cambios en normas de construcción, estudios de suelo y comunicación del riesgo luego del terremoto de febrero del 2010, demostrando que fallamos en las competencias para anteponernos a los eventos catastróficos, faltando formas de aumentar las capacidades de las distintas entidades relacionadas y las poblaciones afectadas.

Si ampliamos la visión hacia un país vecino latinoamericano, nos damos cuenta de que este tipo de propuestas en las que las geociencias deben ser partícipes del territorio se vuelve necesaria independiente de las fronteras, ya que las distintas formas en que nos construimos como sociedad y las repercusiones de esto son iguales en otras partes del mundo. Tomando un ejemplo de Colombia, en 1991 se aprobó su nueva Constitución, la que incluyó la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial la que no fue aprobada hasta 20 años después, lo que, asociado a un exponencial crecimiento de la población, generó un gran desorden en la ocupación del territorio y una alta centralización. Todo esto provocó problemáticas tales como poblaciones ocupando zonas altamente peligrosas, degradación de recursos naturales y segregación poblacional, en definitiva, una manera poco sustentable de habitar. Casos como este hay en toda Latinoamérica, en los que se observa que a nivel político quienes determinan que ley, norma o mandato se decreta parecieran no tener mayor interés por estas temáticas, entendemos que por falta de conocimiento y no por desinterés político. Entonces nuestro enfoque de la evolución de las geociencias concibe que el conocimiento sobre ciencias de la Tierra sea comprendido por tomadores de decisiones y, por qué no, que un tomador de decisión pudiera ser de formación geocientífica, de tal forma que estas temáticas sean llevadas al necesario nivel de administración territorial.

Es en este punto donde podemos explicar desde la planificación territorial la evolución de las geociencias. Clásicamente los geocientíficos participan en la planificación territorial, realizando observaciones

sobre el entorno, construyendo mapas de peligro o comprendiendo cómo se comportan los terrenos, manteniendo una mirada también clásica con fines de alto estudio científico, enfocada a la revisión por otros científicos o la presentación de informes técnicos. Pero hoy en día no solo es necesario que tomadores de decisión y científicos conozcan y entiendan los territorios, sino que también quienes lo habitan. Como dijimos anteriormente, aquí es donde se impulsa la **divulgación** como herramienta que aumente el conocimiento de todas las personas y entidades que viven en un territorio, esperando como resultado que todos estos puedan participar informados en la organización del lugar que habitan.

Pensando en esto último es que se plantea la **gobernanza** como un modelo de administración del espacio en el que se busca que el territorio sea construido por sus habitantes junto con las conexiones de éste con los demás territorios, impulsando de esta manera un desarrollo altamente productivo que busca estar en armonía con los procesos naturales de cada localidad. Un claro ejemplo de esto son los geoparques, unidades territoriales en las que a través del interés geocientífico de un lugar, se conforma un modelo participativo desde distintos sectores de la sociedad, el gobierno y los privados, para generar un desarrollo sustentable, por medio de actividades de tipo turística, histórica y de observación natural. En Chile existe el geoparque Kütralkura, como claro ejemplo de que poner en valor un territorio desde su entendimiento científico-natural y aportando el conocimiento de sus habitantes, ayuda a que se protejan estas localidades y se desarrollen en torno a un aprovechamiento sustentable de los recursos paisajísticos, históricos y naturales.

Al observar las geociencias desde su aplicación y conexión con distintas áreas de la ocupación del espacio, es que nos damos cuenta de que esta puede ser incluida en las políticas, la comunicación, las capacidades territoriales, los modelos de administración territorial, y mucho más.

Desde los ejemplos que hemos visto en este artículo se puede deducir que el enfoque de las disciplinas de las ciencias de la Tierra hacia la sociedad se ha vuelto una necesidad en los últimos años, y éste se comienza a gestar a través de conceptos como la **gobernanza**, **transdisciplinariedad y divulgación**, es decir, sobre modelos territoriales participativos, con gran cantidad de conocimiento mezclado, asociado a una mirada amplia sobre los sistemas sociales, ambientales, culturales, políticos y comunitarios, buscando que la ocupación del espacio sea poco riesgosa y sustentable y que además esté construida en base a esta mirada amplia de los sistemas que conviven en cada territorio.

SANTIAGO
TERRITORIO Y AMENAZA DE LA FALLA SAN RAMÓN

Sobre la importancia de la consideración de las fallas activas para la sostenibilidad de nuestras comunidades

Gabriel Easton

Departamento de Geología, Universidad de Chile

Territorio y Falla San Ramón

Entendemos por territorio un terreno o lugar concreto que constituye un hábitat, o una porción de la superficie terrestre administrada por una nación u organización. Sin embargo, la concepción de territorio puede representar no sólo la dimensión física, sino que también el espacio de encuentro en que se comparten y concretan las visiones del mundo, posibilitando la construcción de una identidad fundada en los principios y valores que caracterizan a una comunidad.

La ciencia contribuye a esta construcción aportando un conocimiento que, junto con los saberes tradicionales y ancestrales, puede favorecer una visión sistémica y compleja de la naturaleza, de las ciudades, las comunidades y quienes las habitamos. Así, el conocimiento del territorio posibilita no solo el desarrollo material, sino también un desarrollo espiritual fundado en la reflexión científica lo que, junto con la revalorización de principios como la complementariedad, reciprocidad y conciencia natural que han caracterizado a nuestros pueblos originarios y en particular a los andinos, puede ser fundamental para el desarrollo sostenible de nuestro país.

El frente cordillerano de Santiago, con sus más de dos mil metros de diferencia de altitud entre el valle central y las cumbres de la sierra del cordón de Ramón, constituye parte de la identidad de quienes habitamos la ciudad. A sus pies se ubica la Falla San Ramón, responsable en gran medida de su construcción a escala geológica y cuyo conocimiento se debe a los esfuerzos desplegados por la comunidad científica desde el siglo pasado. En efecto, ya en 1950 Brüggen se refirió a la "*falla del cerro San Ramón*" que constituye "*el pie rectilíneo de la Cordillera de Los Andes que se puede seguir por 40 kilómetros*" y, en adelante, fue considerada como una **falla normal**, es decir, con el bloque del valle de Santiago bajando respecto del cordillerano, sin esclarecer su carácter **activo o inactivo**. Esta concepción primó hasta inicios del presente siglo cuando, en el marco de una colaboración franco-chilena entre el Institut de Physique du Globe de Paris y la Universidad de Chile se planteó a esta estructura geológica como una de naturaleza **inversa y cuaternaria**, es decir, potencialmente activa, lo que quedaría plasmado, entre otros, en los trabajos de memoria y tesis de Rodrigo Rauld y Antonio Ormeño, durante en la primera década del naciente siglo XXI. Concomitantemente, el rol de esta falla en la arquitectura **cenozoica** de la vertiente occidental de la Cordillera de Los Andes y en particular en la construcción del frente cordillerano de Santiago, ha sido abordado en distintos trabajos que han planteado visiones diferentes del modo cómo se construye esta cordillera, fundamentalmente como un orógeno bivergente con una mayor deformación acumulada hacia el este de la cadena andina, pero con una importante componente en su frente occidental, incluyendo la Falla San Ramón.

La demostración definitiva de la naturaleza **activa** de la Falla San Ramón provino a partir de observaciones realizadas en trincheras paleosismológicas, o zanjas excavadas en el marco del "***Estudio Riesgo y Modificación PRMS Falla San Ramón***", realizado para la Secretaría Regional Ministerial del Ministerio de Vivienda y Urbanismo de la Región Metropolitana (Seremi Minvu RM), por la Universidad de Chile junto a Territorio y Ciudad Consultores entre los años 2011 y 2012. Trabajos posteriores y en curso, en el marco de memorias de título y tesis de grado, han aportado un conocimiento de cada vez mayor detalle sobre la estructura cortical de la Falla San Ramón y los rasgos geomorfológicos que la evidencian en superficie. A lo anterior, se suman experimentos geofísicos realizados en el mismo lugar en donde se excavaron las trincheras

paleosismológicas, es decir, en donde se realizó la observación fundamental de la falla afectando sedimentos de 17.000 y 8.000 años de antigüedad en la superficie del piedemonte de Santiago, lo que ha permitido calibrar este tipo de observaciones posibilitando herramientas para su **prospección** o exploración en subsuperficie.

Sismicidad cortical bajo el frente cordillerano de Santiago compatible con la Falla San Ramón ha sido también informada en trabajos recientes, especialmente gracias a la implementación de una red de estaciones específicamente diseñada para su monitoreo sísmico y geodésico, en el marco del "***Monitoreo Sísmico y Potencial Sismogénico de la Falla San Ramón***", desarrollado entre octubre de 2016 y marzo de 2019 por el Centro Sismológico Nacional de la Universidad de Chile para la ONEMI y la Subsecretaría del Ministerio del Interior y Seguridad Pública. Gracias a este estudio, las capacidades de detección de **sismos corticales,** es decir, superficiales, ha mejorado notablemente encontrándose una alta tasa de sismicidad bajo el frente cordillerano como también hacia el interior de la Cordillera de Los Andes frente a Santiago.

El conjunto de las observaciones acumuladas a la fecha es contundente en demostrar la importancia tectónica y la naturaleza inversa de la Falla San Ramón, su estructura cortical superficial, así como su carácter activo. Su ubicación entre los ríos Mapocho y Maipo ha sido oficialmente comunicada en el mencionado informe del estudio de la Seremi Minvu RM. A lo anterior se suman investigaciones en curso, en el marco del proyecto Fondecyt 1190734, en que observaciones de topografía de alta resolución espacial-LiDAR (Light Detection and Ranging), permiten constreñir cada vez mejor los rasgos geomorfológicos que evidencian esta falla en superficie entre las comunas de Lo Barnechea, por el norte y Pirque, por el sur.

Amenaza y riesgo de la Falla San Ramón

La Falla San Ramón representa dos fuentes de amenaza directa para la Región Metropolitana: por una parte, la posibilidad de propagación de la ruptura en superficie y por otra, la posibilidad de aceleraciones o movimientos del suelo mucho mayores a los registrados durante el terremoto del Maule en 2010 en Santiago. A lo anterior, se suma la potencial ocurrencia de **remociones en masa** asociadas a un terremoto de gran magnitud.

En efecto, las evidencias paleosismológicas muestran que la Falla San Ramón es capaz de acumular esfuerzos tectónicos y producir -por sí misma- grandes terremotos, con dos episodios de gran magnitud (MW7,2-7,5) ocurridos en los últimos 17.000 años, y el último hace unos 8.000 años atrás. De acuerdo con estos mismos antecedentes, en cada uno de estos terremotos la propagación de la ruptura en superficie a lo largo de la falla movió del orden de 5 m el bloque oriental de la corteza terrestre respecto del occidental, levantando de 2 a 3 m el bloque cordillerano por sobre el valle de Santiago.

Por otro lado, simulaciones de escenarios de ruptura ante la potencial ocurrencia de un terremoto de magnitud Mw7,2-7,5 en la Falla San Ramón, sugieren que el movimiento del suelo, debido a las aceleraciones producidas por la propagación de las ondas sísmicas, superaría ampliamente, unas dos a tres veces incluso, lo experimentado en Santiago durante el terremoto del Maule en 2010. Esto implicaría una demanda sísmica potencialmente muy superior a lo que estipula la norma NCH433 que rige el diseño de infraestructura en esta materia.

Todo lo anterior evidencia la necesidad de considerar la Falla San Ramón tanto en la planificación urbana de Santiago, como también en la normativa sísmica, así como en el diseño e implementación de planes de respuesta ante su potencial activación. En el primer caso, un análisis histórico revela que, luego de la ampliación del suelo urbanizable hacia el piedemonte cordillerano en 1979, la urbanización de la traza de esta falla, es decir, de su ubicación en superficie, se incrementó, entre los ríos Mapocho y Maipo desde casi inexistente a un 55% en el año 2017 (**Figuras 1 y 2**). Esto ha implicado un incremento de la población expuesta más directamente a esta amenaza, desde unos 200.000 habitantes que vivían solo en las comunas del sector oriente de Santiago en el año 1960, a más de 1,7 millones de personas en el año 2017. Si bien un gran sismo en esta falla (Mw7,2-7,5) podría tener efectos en toda la ciudad, el sector oriente y el piedemonte cordillerano recibirían un mayor impacto, dada la mayor cercanía a la fuente sumado a la potencial ruptura en superficie a lo largo de su traza (**Figura 3**). Actualmente, se estima que decenas de miles de personas viven directamente sobre la traza de esta falla, a lo que se añade infraestructura crítica como hospitales, escuelas, agua potable y otras situadas sobre ella o en sus inmediaciones.

Conclusiones y recomendaciones

El conocimiento de la Falla San Ramón ha

Figura 1. Vista hacia el sureste del frente cordillerano y del sector oriente de la ciudad de Santiago. La Falla San Ramón se ubica a lo largo del piedemonte en donde se sitúa el borde oriente de la ciudad.

acompañado los albores de la paleosismología de fallas activas en nuestro país, disciplina que, más allá de la neotectónica, busca determinar la ocurrencia y el tamaño de terremotos discretos, especialmente los prehistóricos, a partir del estudio del registro geológico. Las recientes compilaciones de fallas con movimientos o rupturas cuaternarias, potencialmente activas o activas, constituyen esfuerzos notables que buscan sintetizar el trabajo de una comunidad científica preocupada en avanzar en este conocimiento, fundamental para la evaluación del peligro y riesgo sísmico, destacando también nuevos hallazgos en determinación geocronológica como por ejemplo en las fallas de Mejillones y Atacama, junto al deslizamiento rápido de fallas como las de Magallanes y Liquiñe-Ofqui.

Así, parece cada vez más evidente que la antigua concepción relacionada a la inactividad o lentitud de las fallas corticales en nuestro país, o a su irrelevancia en cuanto a fuente de peligro y riesgo sísmico, debiera ser superada de modo tal que sean consideradas en normativas de planificación urbana y en diseño de infraestructura. En este sentido, ya en el informe de la Seremi Minvu RM del año 2012 se recomendó directamente incluir la Falla San Ramón en el Plan Regulador Metropolitano de Santiago (PRMS), con el fin de impedir que se siga construyendo sobre la franja de potencial ruptura en superficie, como también para que la información esté disponible de modo transparente a la ciudadanía. Asimismo, en el mismo informe se señaló la necesidad de modificar la norma NCH433 que regula el diseño de ingeniería antisísmica, de modo tal que considere ésta y otras fallas activas en el país.

Las evidencias de ruptura en superficie de la Falla San Ramón permiten considerarla como una falla de deslizamiento moderado de acuerdo con el conocimiento internacional, con tasas del orden de 0,5 metros por cada mil años. Pero, más

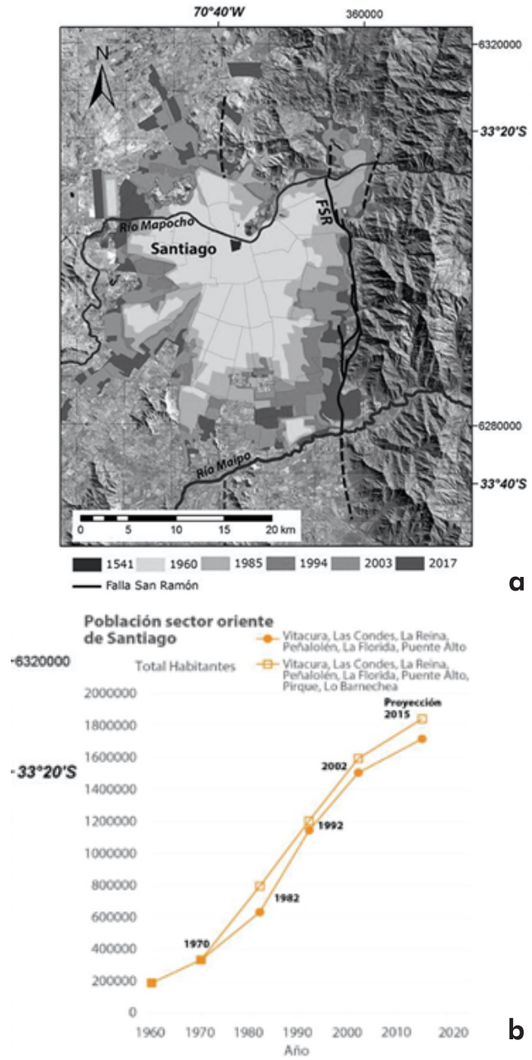


Figura 2. (a) Expansión de la ciudad de Santiago a partir de la superposición de las áreas urbanizadas en 1541, 1960, 1985, 1994, 2003 y 2017, en relación con la traza o ubicación en superficie de la Falla San Ramón (FSR) y el relieve del frente cordillerano en la Región Metropolitana. (b) Crecimiento de la población que habita las comunas del sector oriente de la ciudad entre 1960 y 2015 (a partir del trabajo de Easton y colaboradores de 2018).

importantemente aún, las evidencias paleosismológicas indican que el último terremoto con ruptura superficial ocurrió hace ya 8.000 años y el anterior hace 17.000 años atrás. Dado lo anterior y considerando la consistencia entre las tasas de deslizamiento deducidas a partir de estas observaciones respecto de aquellas de mayor escala temporal, aunque sin base estadística pero sí observacional, es posible estimar una probabilidad del orden de un 3% en los próximos 100 años y 13% en los próximos 500 años para la ocurrencia de un

próximo terremoto de similares características, es decir, de magnitud Mw7,2-7,5 con ruptura en superficie a lo largo de esta falla.

Respecto de la gestión del riesgo en la materia, es interesante revisar la experiencia internacional en que, más allá de cálculos probabilísticos, se asumen escenarios determinísticos de modo tal que la legislación prioriza la seguridad de la población, los asentamientos humanos y su desarrollo sostenible, por sobre cualquier otra consideración. Es así como la Ley Alquist-Priolo de California (1972), fue promulgada como un mecanismo para reducir las pérdidas asociadas a rupturas superficiales, salvaguardar la seguridad pública y prohibir asentamientos humanos sobre la traza de fallas geológicas activas que representan una amenaza para la infraestructura y la población, obligando al Estado a priorizar la vida humana por sobre otros intereses, y otorgando a los privados la posibilidad de generar conocimiento para precisar la evaluación del riesgo sísmico en sectores de interés particular.

Asimismo, es relevante destacar iniciativas que propenden a la educación y la preservación de la memoria, tal como el caso de los museos de sitio de las fallas de Neodani y Nojima, causantes de los devastadores terremotos de Nobi en 1891 y Kobe en 1995, respectivamente, en Japón. La posibilidad de preservar trincheras paleosismológicas en la Falla San Ramón para posibilitar la experiencia directa de las personas con este conocimiento de la naturaleza, si bien fue mencionada también en el informe de la Seremi Minvu RM, está aún pendiente.

Como responsable de la construcción del frente cordillerano a la vez que fuente de amenaza sísmica, la Falla San Ramón comienza a constituir parte del imaginario e identidad de quienes habitamos Santiago, y nos invita a revisar los principios sobre los cuales se ha sustentado la expansión urbana de la ciudad en las últimas décadas, así como en general las fallas activas respecto del desarrollo de nuestras comunidades. Lo anterior, en pos de visualizar la sostenibilidad de nuestros territorios en consonancia con los acuerdos firmados por nuestro país, tales como el Marco de Sendai y los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas de 2015, en particular referido a la meta 11.5: "*De aquí a 2030, reducir significativamente el número de muertes causadas por los desastres, incluidos los relacionados con el agua, y de personas afectadas por ellos, y reducir considerablemente las pérdidas económicas directas provocadas por los desastres en comparación con el producto interno bruto mundial, haciendo especial hincapié en la protección de los pobres y las personas en situaciones de vulnerabilidad*".

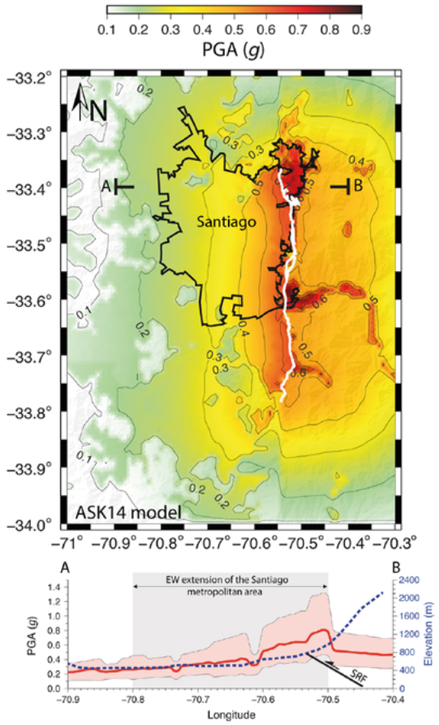


Figura 3. Escenario de ruptura para un terremoto de magnitud Mw7,5 a lo largo de la Falla San Ramón. El mapa muestra límites de la ciudad de Santiago (línea gruesa negra), con la distribución aproximada de la traza de la falla, a lo largo de la cual es posible esperar ruptura en superficie (línea blanca). Los colores indican las aceleraciones promedio (movimientos del suelo posibles) ante un escenario de ruptura, en términos de g (aceleración de gravedad); los colores cálidos indican mayores aceleraciones, y en verde se señalan menores aceleraciones. Se muestra también un perfil de orientación E-O indicando la topografía del frente cordillerano, piedemonte y valle de Santiago (línea azul segmentada); también los valores máx.-mín. y promedio de las aceleraciones esperables (zona en rosado y línea roja, respectivamente). Se observa que ante un terremoto como el indicado en la Falla San Ramón (SRF), se esperan aceleraciones del suelo de hasta 0,7-0,8g en promedio a lo largo de la traza de la falla, o aún mayores, los cuales son superiores a lo registrado en Santiago durante el terremoto del Maule en 2010 y a lo considerado por la actual normativa sísmica en gran parte de la ciudad (según Ammirati y colaboradores de 2019).

La perspectiva de un proceso constituyente inédito en nuestro país ha abierto una ventana de esperanza para que la naturaleza, el medio ambiente y la reducción del riesgo de desastres tengan un rol central en la discusión de la sociedad que quisiéramos construir y en ello, la comunidad geológica tiene mucho que aportar.

INSTAGRAM COMO UNA HERRAMIENTA PARA LA DIVULGACIÓN CIENTÍFICA

APRENDIENDO SOBRE REMOCIONES EN MASA

Mónica Marín David, Antonio Muñoz Muñoz, Francisco Báez Carvajal

Geólogos

¿Qué es un aluvión? ¿qué lugares en Chile se han visto afectados por flujos, caídas o deslizamientos? ¿dónde encuentro información sobre estos temas? Estas y otras interrogantes son resueltas mediante la plataforma de Instagram por tres geólogos apasionados por la divulgación científica, quienes han encontrado un espacio digital en el cual es posible enseñar, compartir conocimientos y sus experiencias sobre uno de los peligros geológicos más frecuentes y presentes en todo el territorio chileno: las **remociones en masa**.

En este espacio se busca acercar a las personas los contenidos generales de las remociones en masa, interiorizando estos fenómenos geológicos entre los nativos e inmigrantes digitales, quienes cada vez usan más las redes sociales para conocer, investigar y aprender nuevos temas. El equipo de investigadores visibiliza distintos casos de remociones en masa en Chile y en el mundo, enseñando sobre su impacto, cómo y por qué ocurren, cuáles son los principales tipos y subtipos que existen, y los factores asociados a su generación. Además de utilizar contenido audiovisual ilustrativo y didáctico, se comparten vínculos a charlas, informes técnicos, y estudios y mapas asociados al tema.

¿POR QUÉ?

Los términos aluviones, rodado, caídas, alud, derrumbes, flujos y deslaves, entre otros, son ampliamente utilizados por las personas en Chile para referirse a remociones en masa. Pero técnicamente ¿qué son las remociones en masa, y por qué se generan? Estos se definen como procesos de transporte de material de determinado volumen de suelo y/o roca en diversas proporciones, de carácter descendente, controlado por la gravedad, y que puede ser gatillado por diversos factores, como por ejemplo lluvias o sismos.

Las remociones en masa, en particular las de tipo **flujos**, son uno de los peligros geológicos con mayor tasa de mortalidad en Chile, inclusive superando las erupciones volcánicas. Según un estudio elaborado por Mónica Marín, junto a otros colaboradores, se tiene el registro de 52 eventos de remociones en masa en los últimos 90 años, dejando un total de 1.010 víctimas fatales, lo que corresponde a una cifra media de 11 muertes al año. Estos datos son los que impulsan la necesidad de educar a la población, junto con promover una cultura de prevención, planificación y gestión del riesgo de desastres naturales, lo que podría contribuir a evitar futuras pérdidas humanas y materiales.

Una buena forma de hacer llegar esta información a las personas es a través de las plataformas digitales. En particular, este equipo de geólogos escogió Instagram, una de las redes sociales más concurridas, y un lugar propicio para generar un espacio de aprendizaje, discusión, opinión y visibilización con respecto a esta temática.

CÓMO NACE LA CUENTA

Mónica, como precursora de esta iniciativa, siempre sintió la necesidad de contar con un canal informativo masivo, dedicado a la divulgación científica de remociones en masa. Es por esto por lo que, en febrero del 2020, luego de visitar la zona afectada por el aluvión de El Tránsito, en la Región de Atacama, finalmente decide iniciar este proyecto. Debido a sus labores como geóloga en terreno, conoce en primera persona la falta de conocimiento de la población con respecto a las remociones en masa, así como también la cantidad de personas que se ven afectadas por la ocurrencia de estas.

LA CUENTA, @remociones_en_masa_chile

La cuenta presenta alrededor de 150 publicaciones de diversas fuentes, en un periodo de aproximadamente un año, en que las que mayor interacción generan con

Enlace al post https: www.instagram.com/p/CK4TrwYL2La/

el público son las publicaciones audiovisuales, netamente educativas.

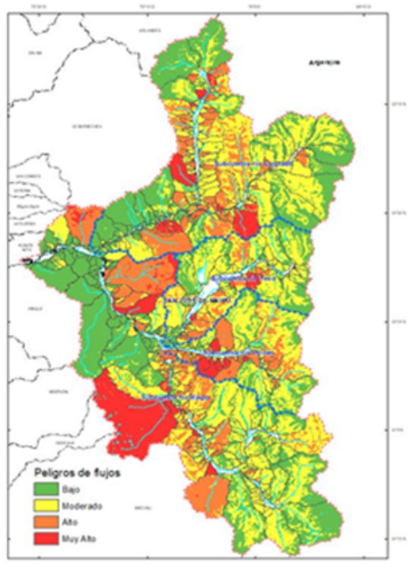
Los posts comparten artículos científicos y/o libros que abordan la temática principal de la cuenta, con lo cual también se comparten links sobre mapas e informes técnicos elaborados por Sernageomin, u otras entidades dedicadas al estudio de estos peligros geológicos.

Como se mencionó, estas publicaciones entregan contenido científico sobre remociones en masas, responden y entregan antecedentes sobre los tipos que existen, cómo se generan, la importancia que tiene la isoterma cero en la generación de estas remociones, entre otros. También se exponen casos de estudio en Chile y el mundo, poniendo a disposición de los seguidores un espacio de educación, discusión y opinión, donde se explica cómo ocurrieron estas remociones en masa y cuáles son los múltiples factores que los producen, todo respaldado con contenido técnico, pero muy didáctico y de fácil comprensión.

A modo de ejemplo se pueden mencionar los posts asociados al aluvión de Villa Santa Lucía (www.instagram.com/p/CCxElB2HlXb/?utm_source=ig_web_copy_link), o algunos aluviones ocurridos en San José de Maipo (www.instagram.com/p/CDxZHUGnTg6/?utm_source=ig_web_copy_link).

Enlace al post www.instagram.com/p/CGfskGanJ1K/

Enlace al post www.instagram.com/p/CGnKUm1H47x/



Enlace al post www.instagram.com/p/CK1X-FWrxZJ/

EQUIPO COLABORADOR

Mónica Marín

Geóloga de la Universidad de Caldas y fundadora de la cuenta

Actualmente desempeña sus labores en la Unidad de Peligros Geológicos y Ordenamiento Territorial del SERNAGEOMIN, con más de 10 años de experiencia en remociones en masa. Ha participado en varias emergencias por remociones en masa en Chile, tales como las gatilladas por el terremoto del Maule el 2010 o los aluviones en el norte el año 2015. También se ha hecho presente en los aluviones que han afectado la región Metropolitana en la última década. Además, ha colaborado con la elaboración de mapas y asistencias técnicas por remociones en masa en distintos puntos de nuestro país. Sus convicciones espirituales la motivan día a día a compartir su conocimiento con los demás, lo que se ve reflejado en sus años como trabajadora pública al servicio de la ciudadanía.

Antonio Muñoz

Geólogo titulado de la Universidad de Chile

Actualmente trabaja en SERNAGEOMIN cumpliendo funciones atingentes con asistencias técnicas geológicas, peligro, monitoreo y emergencias relacionadas con remociones en masa en Chile. Desarrolló en su memoria de título una metodología para evaluar la amenaza de flujos de detritos mediante procesos analíticos jerárquicos, trabajo en terreno y simulaciones computacionales y, este año, ingresa al programa de Magíster en Estadística de la Pontificia Universidad Católica de Chile.

Francisco Báez

Geólogo de la Universidad de Chile

Actualmente se desempeña en el área de geología en Arcadis Chile. También ha hecho un importante trabajo en remociones en masa, participando activamente en la elaboración de Informes de Riesgo para planes reguladores en la Provincia del Limarí, Región de Coquimbo. Su memoria de título se centró en el estudio de remociones en masa en la Ruta G-25, Comuna de San José de Maipo junto al estudio de algunas morfologías ligadas a estos procesos, en las que destacan los depósitos taluviales.

REMOCIONES EN MASA EN UN CONTEXTO DE CAMBIO CLIMÁTICO

Ivo Fustos (Geofísico)

Facultad de Ingeniería y Ciencias, Universidad de La Frontera, Temuco- Chile.
Asociación Chilena de Ingeniería Geológica (ACHIGEO), Chile

Las remociones en masa son **procesos geomorfológicos** que día a día modelan el relieve en zonas con pendiente. En Sudamérica, estos procesos han sido partícipes de daños materiales, involucrando pérdidas de vidas. Lo anterior, levanta la necesidad de comprender y evaluar los cambios de estos procesos en un contexto de cambio climático, proceso en el cual no se tiene certeza del impacto potencial que las lluvias podrían tener a futuro. Para profundizar en la temática, este escrito responderá cuatro preguntas abordadas en trabajos de jóvenes científicos en etapa inicial que han trabajado en el proyecto Fondecyt 11180500 "*Rainfall-Induced Landslide variations under extreme hydrometeorological conditions Experiment: New Insights under climate change in South America (RILEX)*", así como en la literatura científica reciente. Estas preguntas estarán orientadas a activar nuestra curiosidad sobre los fenómenos que día a día nos rodean, pero no sabemos cómo convivir con ellos.

Flujo de Lodo en Villa Santa Lucía. (a) Zona de desprendimiento; (b) flujo canalizado; (c y d) Villa Santa Lucía tras inundación por el lodo. Imágenes facilitadas por Sernageomin. Fuente: Somos y colaboradores, 2020

¿Por qué son importantes las remociones en masa?

Las remociones en masa generadas por lluvia – también llamadas precipitaciones – son procesos comunes en Chile, algunos de los cuales tienen gran capacidad destructiva. Un caso emblemático corresponde al **flujo de detritos** de Villa Santa Lucía del 2017, en donde toda la Villa quedó inundada y damnificada por la entrada de material.

Estos casos nos recuerdan la importancia de tener una correcta comprensión de su dinámica y cómo la población se puede ver expuesta a este tipo de amenazas. En todos estos casos destaca como denominador común eventos hidrometeorológicos extremos donde una inadecuada ubicación de asentamientos humanos ha llevado a experimentar pérdidas en la infraestructura y lo que es peor, pérdidas de vidas humanas. Este tipo de eventos nos recuerda la necesidad de desarrollar estudios de remociones en masa con un foco en el impacto futuro en las vidas de las personas. Actualmente, el Servicio Nacional de Geología y Minería (SERNAGEOMIN) ha impulsado la confección de una base de datos de remociones con diferentes factores gatillantes. Lo anterior abre la puerta a que se desarrollen estudios en mayor detalle, como los estudios de deformación superficial de remociones en masa de Ardy Gatica (2020), lo cual permitirá comprender cómo se generan las remociones en masa en diferentes tipos de suelos o geologías presentes. De la misma manera, estudios de la Universidad de La Frontera han permitido impulsar la comprensión de las remociones en masa bajo diferentes enfoques metodológicos.

¿Qué deberíamos esperar en un contexto de cambio climático?

Actualmente, la comprensión del área potencialmente afectada por procesos de remoción en masa generadas por lluvia es una pregunta abierta en el Centro Sur de Chile. Estudios recientes han evaluado la susceptibilidad (probabilidad de que el evento ocurra) a eventos de remoción en masa en la zona centro sur de Chile (~35.0° - 42.0° S, 72.0° - 74.0° S). El actual Ingeniero Francisco Guerrero (2021) aplicó durante su trabajo de titulación escenarios cambio climático mediante modelos estadísticos para delimitar cambios en área afectada mensual para el periodo futuro 2025 – 2099. En términos del área afectada, los modelos estadísticos evidencian resultados similares indicando un incremento en el área afectada. Este tipo de resultados, ciertamente deben considerarse de forma prioritaria para destinar recursos en zonas densamente pobladas. De la misma manera podría y debiera ser utilizado como herramientas de seguridad nacional.

Estudios hechos localmente han abordado el tema de las deformaciones mediante el **métodos de elementos finitos** (MEF). Ejemplos de estudios de deformaciones mediante curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia – que son una relación matemática entre la intensidad de una precipitación, su duración y la frecuencia con la que se observa – permiten estimar la recurrencia de una cierta cantidad de precipitación durante cierta cantidad de años. Esto es sumamente útil para evaluar escenarios extremos en casos de remociones en masa. Estudios mediante MEF se han realizado en las ciudades de Temuco, Cauquenes, Puerto Saavedra y Hornopirén. Los resultados han permitido estimar con precisiones milimétricas las deformaciones esperadas en laderas y en qué condiciones podría una precipitación gatillar una gran remoción en masa. A pesar de los estudios anteriores, aún existe una gran cantidad de localidades con población vulnerable ante este tipo de eventos. Lo anterior levanta la necesidad de poder pronosticar posibles remociones en masa, tal como funcionan los sistemas de alerta ante tsunami.

¿Podemos avanzar en el pronóstico de remociones en masa generadas por lluvia?

Los nuevos modelos de cambio climático indican que la precipitación en el Centro y Sur de Chile disminuirá a futuro. Sin embargo, no se debe confundir esto con que no llueva de forma intensa. Se espera que exista a futuro menos eventos de precipitación, pero mucho más intensos, que podrían generar remociones en masa cada vez más catastróficas. Lo anterior levanta la necesidad de poder convivir y en lo posible mitigar los daños de estas amenazas. En dicho sentido, los sistemas de alerta temprana ante remociones en masa aparecen como una alternativa válida. Una gran contribución al pronóstico de remociones en masa lo realiza la actual ingeniera Nataly Manque (2020) durante su trabajo de título, quien evaluó modelos estadísticos, prospectando alternativas para levantamiento de sistema de alerta temprana en el Sur de Chile. Para representar la precipitación, prospectó modelos atmosféricos generados por computadora lo que permitió eliminar errores de cálculos por computadora con datos levantados en terreno.

Sus resultados permitieron acertar la ocurrencia de remociones en masa entre los años 2014 al 2018 con aciertos sobre el 80%, por lo que este tipo de análisis puede ser de gran ayuda en la prospección de eventos de riesgo. Lo anterior permitirá a futuro la implementación de nuevos y mejorados sistemas de alerta temprana ante amenazas naturales tales como remociones en masa o incluso eventos extremos de precipitación.

Todo lo anterior nos permite evidenciar el control hidrometeorológico en el desarrollo de remociones en masa, abriendo la puerta a la confección de sistemas

Procesos Geomorfológicos

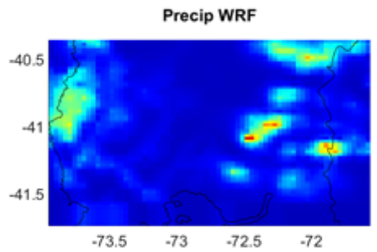
Procesos que producen cambios de relieves en la superficie terrestre.

Flujo de detritos

Es una masa móvil, saturada en agua, compuesta de una mezcla de rocas, sedimentos, agua y gases, donde entre el 50 y el 80% del material es sólido y se encuentra suspendido en agua. Se desplaza pendiente abajo por influencia de la gravedad, posee un rápido avance, gran movilidad y capacidad destructiva.

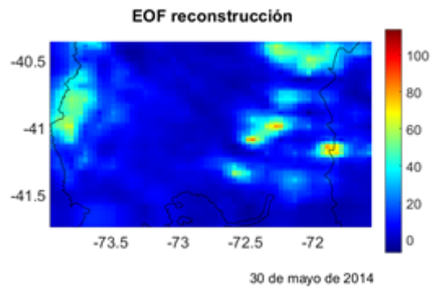
Definición extraída desde el Servicio Nacional de geología y minería.

de alerta temprana ante remociones en masa. Estos resultados demuestran la posibilidad de la aplicación de la ciencia en procesos geológicos y cómo pueden impactar en la vida de la población. Todos estos resultados apoyarán a futuro la generación de políticas públicas.



Campo de precipitación generado por computadora sin corrección.

Posteriormente, corrigió posibles errores mediante el uso de estaciones meteorológicas.



Se observa el mismo campo, pero con corrección con estación meteorológica. Lo anterior permite ingresar valores exactos de lluvia a los modelos estadísticos.

Métodos de elementos finitos

Método realizado por computadora que permite obtener soluciones de sistemas de ecuaciones que rigen la deformación de las laderas y estructuras en ingeniería civil.

Gonzalo Maragaño, 2021

¿Conoces todos los tipos de peligros geológicos?

Si quieres conocer cuáles son, cómo se analiza el riesgo y cómo funciona el sistema de protección civil para su prevención y mitigación síguenos en instagram: @geologia_ambiental.

También haremos socialización de los conceptos que no conozcas que aparezcan en esta edición.

¡Atención a nuestras historias y publicaciones!

CANTO VI de "Aproximación poética a una Montaña Andina". Los Peligros Geológicos.

¿Qué son los volcanes
sino árboles pétreos,
sembrados por titanes?

Que como alerce férreo
en su milenaria arbolada,
permanece el árbol térreo.

¿Qué son las erupciones de lava,
sino flores efímeras
de fuego arrojadas?

Desde profundas vísceras,
de la Tierra germina,
doblegando vidas míseras.

El ígneo magma determina
la primavera volcánica,
floreciente de fuego, de vida.

Erupción: fuerza atávica,
do surge Tierra, fuego, mineral...
Surge renovación mágica.

Mana el fundido infernal.
La superficie se renueva,
renovando el suelo local.

Son volcanes roca nueva,
rejuvenecen el huerto
como brotes de primavera.

Y como árbol ya muerto:
su tronco abatido y ajado,
muestra su interior yerto.

Así, volcanes que no han eruptado,
por eras y eras inactivos,
son por el tiempo erosionados.

Y con otros montes confundidos
en el paisaje geológico.
Mas hay los que siguen vivos.

Que como fenómeno meteorológico
de violenta y desatada tormenta,
representan un peligro lógico.

Como es también la afrenta
del cerro que se desprende.
Un deslizamiento ¡a la cuenta!

O nacen flujos de repente
por quebradas o laderas...
Lodo, detritos inclementes.

Aguas lluvia los genera
ya por su altitud, ya por su bravura.
El suelo en barro se libera.

Otro flujo es por rotura
del roquerío en los cerros:
gravitan rocas con soltura.

En sus faldas son acarreos...
acumulan conos a sus pies,
cuando caen los bloques certeros.

Hay otros derrumbes también
de grandes bloques singulares
como refugio de montañés.

Dispersos los fragmentos colosales
como por cíclopes lanzados:
un juego de dados bestiales.

Los montes encumbrados
sus materiales así desprenden,
tal fueran dioses enojados.

Y a la humanidad sorprenden.
Así, la naturaleza y sus honduras...
Derrumbes, volcanes, flujos ardientes:

Modelan nuestras culturas."

Por Sancho Recabarren
A E-milia

Ilustrado por Edwin Gonzáles

DESBORDES DE LAGOS GLACIARES EN CHILE: ¿PELIGRO FUTURO O INMINENTE?

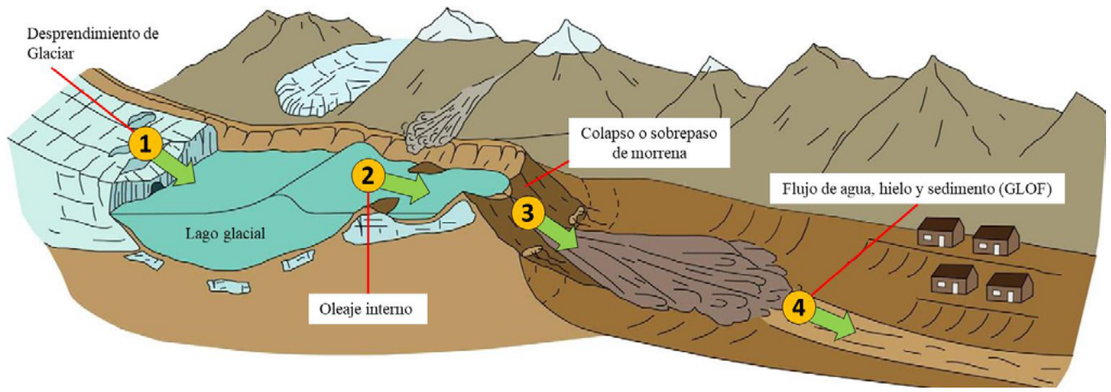
Kristian Marcelo Agurto Velásquez

Estudiante de Geología, Universidad Católica de Temuco

Las inundaciones por desbordes de lagos glaciares, conocidos internacionalmente como **GLOF** (acrónimo del inglés ***Glacial Lakes Outburst Floods***) son procesos súbitos donde grandes cantidades de agua y sedimento son liberadas desde lagos formados por el derretimiento de glaciares principalmente en la alta cordillera. Estas inundaciones resultan del desborde de estos lagos por el desprendimiento repentino de parte de un glaciar que cae dentro de él rebalsando su capacidad máxima y donde, en la mayoría de las ocasiones, el flujo es transportado velozmente por los ríos principales de valles cordilleranos e inundando todo a su paso a medida que bajan por estos. En los últimos 200 años en países de Asia como China, Nepal, Bután, Pakistán, India y Tajikistán se han registrado cientos de GLOF y los recientes estudios satelitales permiten determinar zonas de potencial desborde.

En Chile se dan condiciones climáticas particulares para que se generen estos eventos tales como la alta cantidad de lluvias al año, las temperaturas promedio inferiores a 18°C y la precipitación que, producto del calentamiento global, ocurre en forma líquida en vez de sólida (nieve). Estas condiciones climáticas pueden generar desbordes de lagos glaciares, un peligro que ocurrirá tarde o temprano como consecuencia de la poca recuperación que presentan las masas glaciares debido al poco aporte de nieve que en cierta medida es beneficioso para la conservación de estos. De hecho, ya han ocurrido aproximadamente 20 eventos GLOF en la Patagonia, el último ocurrido el 23 de febrero de 2021, el cual destruyó las viviendas y ganadería de siete familias que vivían en el valle del río Huemules, región de Aysén.

Aunque estos eventos no han tenido una gran repercusión mediática como los terremotos o aluviones, es importante que como habitantes de un territorio conozcamos los peligros geológicos a los



que estamos expuestos, ya que en la mayoría de las ocasiones estos peligros se transforman en un gran riesgo para las personas. Y sí, aquí es necesario hacer una pausa y conocer que peligro y riesgo no son sinónimos ni significan lo mismo. El peligro es simplemente, ni más ni menos, un acontecimiento que puede suceder y pasar desapercibido para la población, mientras que cuando este llega a afectar la vida de las personas o causa daños materiales el peligro se transforma en riesgo. El riesgo considera la

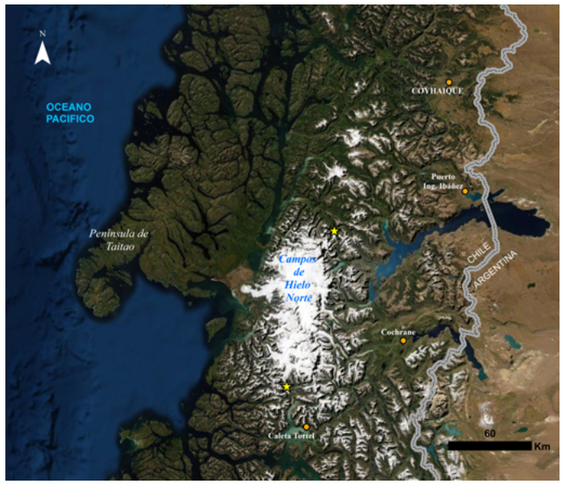
vulnerabilidad como un componente importante, y es en este concepto donde entramos las personas, las edificaciones, el ganado, y pertenencias en general que pueden verse afectadas por la ocurrencia de un determinado peligro como aluviones, terremotos, tsunami, erupciones volcánicas, entre otros. Ante esto, la sociedad junto a sus gobernantes debemos ser parte de una buena planificación del territorio y disponer de medidas de mitigación/prevención ante un desastre por GLOF.

¿Cómo se desarrolla un GLOF?

Lo interesante de los procesos GLOF desde el punto de vista de la prevención de desastres es su comportamiento, porque el conocimiento de ciertos parámetros geológicos puede permitir que sean incluso predecibles. Los parámetros pueden ser: el tipo de roca y su estabilidad, la presencia de fallas activas en el área, los períodos de derretimiento glacial, y la dinámica y evolución del cambio climático.
La gran tarea de las geociencias en tiempos actuales es transmitir el conocimiento a la comunidad de una manera sencilla y práctica, lo cual resulta complejo cuando ocurren peligros geológicos súbitos como los GLOF. Sin embargo, en un ejercicio muy sencillo de observación y tacto podemos darnos cuenta de que hay distintas rocas en nuestros suelos, algunas más oscuras y otras más claras lo que va de la mano con su peso relativo y forma. Existen rocas que son más duras que otras y lo sabemos con el solo hecho de golpearlas contra una superficie. En este contexto, rocas formadas por arena o fango llamadas "***rocas sedimentarias***" serán mucho menos resistentes a los impactos de un deslizamiento que una roca formada por el enfriamiento de lava luego de una erupción volcánica, por ejemplo. Igualmente, muchas rocas son grandes y macizas utilizadas comúnmente en azulejos o en las tan conocidas mesas de "***granito***", rocas ígneas plutónicas que gracias a su naturaleza son firmes y muy resistentes a los embates del agua y viento. Así también, hay rocas altamente duras y macizas donde es posible observar pliegues o minerales en forma de láminas llamadas "***rocas metamórficas***" por lo general encontradas en zonas costeras. Entonces, ¿es importante saber un poco de rocas? Claro que sí, quizás no en una medida detallada pero sí conocer a grandes rasgos qué rocas conforman el suelo de nuestras viviendas o lugares de trabajo, y esta tarea es una responsabilidad que debemos tomar colectiva e individualmente porque puede salvar nuestra vida ante un eventual proceso de desborde de lago glaciar. En la alta montaña encontramos muchas rocas macizas y firmes que actúan de vasija contenedora de lagos originados por deshielos glaciares, pero en muchos lagos las rocas son muy blandas y fácilmente disgregables donde el agua solo está represada por una débil capa de sedimentos que puede colapsar en cualquier momento, y aquí es donde debemos tener cuidado. En nuestra Patagonia, fría y hermosa, radiante por sus paisajes de hielos eternos coronados por montañas y glaciares, se esconde este peligro inminente.

Casos de estudio: Riesgo de GLOF en región de Aysén

Actualmente, existen muchos lugares en las regiones de Aysén y Magallanes propensos a sufrir un GLOF, basta solamente con aumentar las precipitaciones para causar que un lago se desborde producto del debilitamiento de la capa de sedimentos que los represa. Algunos de los lugares mencionados son los sectores de Santa Clara al sureste del Glaciar Exploradores y Puerto Huemul al sur del Glaciar Steffen, ambos en la región de Aysén.
Santa Clara es un sector rural localizado en el límite de las comunas de Chile Chico y Aysén, y se ubica a cerca de 20 km al sureste del Glaciar Exploradores conectado a este sector por el extenso río que nace



desde el Lago Bayo. El peligro identificado es que una parte del Glaciar Exploradores caiga dentro del Lago Bayo produciendo su desborde repentino. Solo bastarían un par de horas para que el agua desbordada aumente el caudal del río e inunde el camino existente destruyendo todo a su paso y dejando en alto riesgo a las familias residentes en el sector Santa Clara. El problema es que esto no tan solo puede ocurrir con el Lago Bayo pues a unos 13 km al sur se encuentra un pequeño lago situado sobre la superficie de un glaciar que igualmente podría experimentar un fenómeno GLOF si tuviera rompimiento de glaciar en el futuro.
El evento GLOF del glaciar Steffen es muy reciente. Este fenómeno se produce por el mismo mecanismo descrito anteriormente, pero la diferencia recae en que este glaciar permanentemente está registrando rompimiento de alguna porción de su masa. El 23 de febrero de este año, siete familias perdieron sus hogares, cultivos y ganadería por la ocurrencia de este fenómeno que se creía aislado y lejano de ocurrir en una zona tan extrema, y afortunadamente no hubo pérdida de vidas humanas gracias al monitoreo constante realizado por instrumental de la Dirección General de Aguas a través de la Unidad de Glaciología y Nieves.

Aprendiendo lecciones

El fenómeno GLOF ocurrido en febrero del 2021 pasó desapercibido porque no afectó a un gran número de habitantes, pero cabe hacerse la pregunta: ¿y si ocurre en una zona densamente poblada? ¿tenemos las herramientas para detectar si un GLOF está a punto de ocurrir? Hoy podemos anticiparnos con pequeñas herramientas, tales como saber si tengo lagos glaciares cerca, si están conectados con un río, si la pendiente es elevada, si la roca parece débil, si las lluvias aumentan o si el volumen de agua está al borde del colapso, son pequeñas señales que marcarán la diferencia en el futuro porque nos permitirán prevenir.
Este artículo, más que una cátedra científica tiene como fin educar a nuestra sociedad en la difusión de peligros tan desconocidos como los GLOF y lo más importante es que, leído este artículo usted pueda tomar decisiones de manera rápida para así el día de mañana no lamentar víctimas fatales y daños catastróficos producto de los GLOF. El mayor fruto que podría tener este artículo es una sociedad que aprendió a caracterizar los peligros de su territorio y comprendió que la planificación de nuestros espacios públicos, privados y recreacionales es fundamental para que el peligro no se vuelva siempre un riesgo.

COLUMNA DE OPINIÓN

CULTURA SÍSMICA EN CHILE

UN LEGADO VALIOSO CON AIRES DE PETULANCIA

Tamara Aránguiz

PhD Student Earth and Space Sciences, University of Washington

América Latina es sinónimo de resiliencia y Chile su hijo pródigo. Un extenso territorio y diversas comunidades a lo largo de la historia han tenido que recuperarse y aprender luego de cada catástrofe natural (y socio-política), creando una memoria colectiva que nos caracteriza mundialmente cuando de terremotos se trata.

Esta cultura sísmica en la que los chilenos estamos inmersos no proviene del solo hecho de habitar una zona de subducción, en otras palabras, un territorio donde la placa oceánica se hunde bajo la placa continental); pero me atrevo a decir que tampoco proviene desde el conocimiento que entrega el desarrollo geocientífico.

Llevo cerca de 9 meses viviendo en el Noroeste del océano Pacífico, en el Estado de Washington, Estados Unidos. Una zona de subducción, tal como la que tenemos en Chile. Específicamente estoy asentada en Seattle, una ciudad muy atractiva para los exploradores y amantes de la naturaleza, porque como les resultará familiar, esta tectónica trae consigo montañas y altas pendientes, volcanes activos, lagos glaciares y mar. Aquí, las "***Olympic Mountains***", al oeste, serían algo como la Cordillera de la Costa chilena, mientras que las "***Cascades***", al este, serían el símil de nuestros Andes.

Así como estos patrones geomorfológicos se repiten, una abismal diferencia aparece entre Chile y el Pacific North West. Esta última zona no ha generado terremotos perceptibles en muchos años, muy diferente a lo que ocurre en Chile a diario. Solamente se escucha hablar a la gente de uno de los grandes y recientes terremotos, el del año 2001 en Nisqually, de magnitud moderada (6.8 Mw). Fue profundo y sin réplicas. Ocurrió en una época donde la industria tech aún no había aumentado la población del área. Esto nos dice que son muy pocos residentes los que realmente recuerdan esos eventos, ya que no había tantos habitantes de testigo.

En 2015 un artículo publicado en The New Yorker alertó a los habitantes de los Estados de Washington y Oregon sobre la posible ocurrencia de un evento grande llamado Really Big One, detallando la potencial catástrofe que generaría un terremoto de magnitud 9 y un posterior tsunami sobre las costas de la región. La alarma en el público general se encendió, pero también el miedo y las especulaciones. A pesar de que muchos especialistas en terremotos creen que no fue la mejor estrategia de divulgación científica, la idea de que un desastre natural pudiera ocurrir quedó en la cabeza de algunos y los kits de emergencia se comenzaron a incorporar en los hogares.

Actualmente, soy parte del área de tectónica activa en la Universidad de Washington, en donde he visto cómo abundan los avances tecnológicos, cobertura y accesibilidad de datos, sistemas de alerta temprana y más. Esto, en pos de generar la mayor cantidad de conocimiento y preparación para los estados de Washington, Oregon y el norte de California, que se encuentran en la zona de subducción de Cascadia, formando las montañas de Cascades. Sin embargo, aunque decenas de geocientistas continúen trabajando arduamente para entender esta zona de subducción, **el ciudadano promedio carece completamente de cultura sísmica**. Así, educar a una población sobre terremotos sin haberlos vivido, ni escuchado por generaciones, es un enorme desafío.

Por suerte, o mala suerte para algunos, en Chile los temblores son pan de cada día. No es necesario ser científico para conocerlos porque se aprende a través de la experiencia. De seguro sientes un sismo o más al mes, y tus padres o abuelos te contaron sobre algún terremoto de magnitud 8 (o incluso 9 si vivieron el del 60). Incluso, es tan rica la cultura y lenguaje sísmico en Chile, que usamos diferentes palabras asociadas a la **intensidad** de los terremotos. Todos los chilenos saben que un temblor no es lo mismo que un terremoto. Más aún, los terremotos son tan importantes en nuestra cultura popular, que hemos usado este concepto para nombrar a uno de nuestros más tradicionales cócteles nacionales.

Quiero destacar que como chilenos hay mucho que podemos enseñar a otras regiones sísmicas del mundo. La alta frecuencia en ocurrencia de terremotos en nuestra Zona Central permitió que en el último siglo las normas de construcción se adaptaran de tal forma, que es posible evitar que cada terremoto que tenemos se convierta en una catástrofe.

Arriba: Bellevue, ciudad anexa a Seattle, y al fondo Las Cascades (Ellen M. Banner/The Seattle Times). Abajo:Santiago y al fondo Los Andes.

Somos resilientes, pues no nos queda otra alternativa. Las sacudidas son impredecibles y sabemos cuán destructivas pueden llegar a ser.

Es como si el temple y calma que mantenemos durante cada sismo en Chile estuviera grabado en nuestros genes. Esto discrepa de las reacciones que observamos en otras regiones del mundo que experimentan sismos con menor frecuencia, donde se observa gente huyendo asustada frente a un evento de a penas magnitud moderada.

Nos sabemos resilientes, nos reconocemos como ejemplo de **sismorresistencia** y eso ha generado un exceso de confianza que puede caer en la **arrogancia**. Un ejemplo de ello se hizo visible luego del sismo cortical 6.4 Mw en San Juan, Argentina: en las redes sociales, muchos comentarios hacían burlesca mención a los daños y reacción de los argentinos frente a un temblorcito.

Al leer este tipo de comentarios desde muchos compatriotas, veo una extraña sensación de superioridad, que dentro del contexto en que se expresa, la llamaría ***ego sísmico***. Sin lugar a duda, se fundamenta en la experiencia de vivir en un país sísmicamente activo. Pero en realidad, deja ver un **vacío en el entendimiento sobre la sismicidad**.

Desde mi posición como geocientífica, intento siempre aclarar términos técnicos básicos a mis familiares y amigos, para que puedan entender lo que ven en las noticias y que a veces pareciera difícil de procesar. Sin embargo, haciendo una breve encuesta a mis círculos sociales, luego de años repitiendo lo mismo, explicando conceptos como magnitud, profundidad, y su relación con la intensidad percibida, me doy cuenta de que aún no los tienen claros. Es más, **algunos creen que no es necesario entender**. Este es el caso de mi círculo personal, es decir, gente que ha tenido acceso a información; entonces ¿qué pasa con un público general?, ¿cómo acceden a las ciencias de la Tierra? Por lo general, a través de la información televisiva. Es común ver a colegas en televisión luego de que un evento importante es percibido en el país, aclarando conceptos. Y se puede ver cómo cada uno de ellos se relaciona con la percepción y daños que un evento sísmico va a generar. Pero parece que esto no es suficiente, hay algo que nos está faltando para inspirar interés en entender lo que hay detrás de cada sacudida.

Es nuestra responsabilidad como especialistas en geociencias, hacer difusión comenzando desde nuestros núcleos, pero también deberíamos como ciudadanos entender la geografía que nos rodea, y el contexto tectónico es parte de ello.

Estas palabras buscan invitarnos a pensar nuevas estrategias como geocientistas para llegar a las comunidades, pero también para cuestionar al público general sobre el **conocimiento de sus raíces**, de la Tierra en que viven y los procesos que los afectan. Rescatemos nuestra tradición oral e investiguemos la cosmovisión de los pueblos originarios, que, sin manejar un lenguaje técnico, habitan el territorio buscando entender y respetar los fenómenos naturales.

Valoremos nuestra sabiduría sísmica intentando incorporar simples conceptos como profundidad y las diferencias entre magnitud e intensidad. Dejemos la arrogancia inútil y utilicemos nuestra historia cargada de peligros naturales desde una perspectiva empática con los pueblos que no tienen tanta experiencia. Más aún, con otros latinoamericanos que comparten con nosotros años de catástrofes sociales y económicas de manos del imperialismo norteamericano y colonialismo europeo.

Nuestra memoria está viva y el conocimiento científico junto con la experiencia de los terremotos que seguiremos viviendo continuarán alimentando la cultura sísmica chilena y latinoamericana que habita las tierras centrales y australes del cinturón de fuego del Pacífico.

El medioambiente a través de la geología

Número 4 | Octubre 2021

GRUPO GEOLOGÍA AMBIENTAL
Sociedad Geológica de Chile

Valentín Letelier #20, Santiago, Chile