

# Geo-Ambiental

## Glosario

2024



Grupo de Especialistas en Geología Ambiental–GGA

Sociedad Geológica de Chile–SGCh

---





# Universidad Católica del Norte

Sello Ediciones Universitarias



Dirección editorial: Dra. Joseline Tapia

Definición de conceptos (en orden alfabético): Cristian Araneda, Carla Bacigalupo, Hernán Bobadilla, Carmen Copier, Francesca del Río, Valeska Farías, Benjamín Gómez, Sebastián Leiva, Luis López, María-José Maiza, Pablo Moreno, Javiera Mulet, Emilio Muñoz, Felipe Orellana, Darlyn Palza, Luna Pérez, Nicolás Poblete, Rodrigo Rauld, Carlos Rodríguez, Delia Rodríguez, Joseline Tapia, Génesis Ulloa, Camila Vargas, Carlos Vega, Klaus Weber, Jean-Karla Zambrana.

Figuras: 1, 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9 y 10 hechas y/o modificadas por Joseline Tapia (@pepline). Figura 3 hecha por Pablo Paquis (@paquis.pablo).

Diseño: Ariel Alarcón y Joseline Tapia.

Edición y logística: Luna Pérez.

Citar como “SGCh–GGA. 2024. *Geo-Ambiental Glosario 2024 (1ª ed.)*. J. Tapia y L. Pérez (Eds.). Sello Ediciones Universitarias – Universidad Católica del Norte”.

*Publicado el 15 de mayo de 2024*

Copyright © 2024 SGCh–GGA

La impresión de la primera edición de este glosario fue financiada por el Departamento de Ciencias Geológicas y el Laboratorio de Geoquímica de la Universidad Católica del Norte.

# Prólogo



En la historia geológica del planeta Tierra está el registro de varios eventos de cambios climáticos extremos, desde glaciaciones que afectaron todo el planeta hasta sequías, difícil de imaginar. El cambio climático que enfrentamos en la actualidad, devenido en crisis climática, es único, pues afecta a toda la humanidad, lo que no es novedoso, lo singular es que la transformación es acelerada, medida a escala del tiempo geológico, es decir en millones de años y, en parte, provocada por el mismo ser humano, a partir de la Revolución Industrial, es decir desde hace unos 250 años.

El uso intensivo de combustibles fósiles, petróleo y carbón, aceleró la emisión de GEIs, entre ellos el dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, ozono y vapor de agua, entre otros, que provocan un aumento de la temperatura y la variación del clima, proceso que estamos enfrentando en la actualidad y que provoca variados efectos, como sequías y a la vez, lluvias torrenciales, huracanes y tormentas; migración de poblaciones, cambios de cultivos, efectos en la vida marina, en fin; en resumen, los ecosistemas son alterados y el equilibrio precario de la biósfera se resiente. La extinción de especies animales y vegetales acecha.

Los esfuerzos que se realizan en distintas instancias y ámbitos parecen ser insuficientes, la crisis climática es parte de nuestra realidad y se requiere que todos contribuyamos en este esfuerzo que pronto será de supervivencia. En este mismo orden de cosas, la iniciativa de la Sociedad Geológica de Chile de elaborar un Glosario con términos relacionados con el medio ambiente y cambio climático tiene importancia, pues el uso adecuado de los conceptos y términos facilitará la comprensión de los diversos procesos y desde allí, al entendimiento de las propuestas de solución y reparación.

Mario Pereira Arredondo

# Prefacio



Este proyecto comenzó a gestarse hace un par de años con un puñado de entusiastas geólogos y geólogas pertenecientes al GGA de la SGCh, donde yo pertenecía y participaba activamente. Posteriormente me retiré, pero siempre quise poder culminar este trabajo de larga data. A mediados del año 2023, propuse al GGA terminar una primera versión del *Geo-Ambiental Glosario 2024* e hicimos un último esfuerzo entre varios de los integrantes para completar algunos términos que no estaban finalizados y así poder sacar adelante este bonito proyecto.

Estamos a mayo de 2024 y finalmente tenemos la primera versión del glosario. Me alegra poder compartir con ustedes este gran esfuerzo. Cabe destacar que entre los años 2019 y 2024 hubo un cambio importante en las organizaciones que participan en la prevención del riesgo en Chile, porque pasamos de la Oficina Nacional de Emergencias (ONEMI) al Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED), por lo tanto, muchos de los conceptos que hicimos previamente quedaron obsoletos y tuvimos que rehacerlos.

Realmente espero que el *Geo-Ambiental Glosario 2024* sirva a estudiantes de educación básica, media y universitaria, y en especial a estudiantes de geología y otras carreras afines, así como también a quienes se encuentran ocupando cargos gubernamentales, a quienes se desempeñan en servicios del gobierno como SENAPRED, SERNAGEOMIN, DGA, entre otros, a quienes colaboran y trabajan en ONGs y a quienes se desempeñan como profesionales en la industria.

Finalmente, espero que esta primera versión reciba mucho *feedback* de sus lectores y usuarios, para así poder mejorar ediciones futuras.

Joseline S. Tapia Zamora

# Agradecimientos

Este glosario hubiese sido imposible de realizar sin la ayuda de múltiples integrantes de la Sociedad Geológica de Chile y en especial del Grupo de Especialista en Geología Ambiental. Además de ellos, en mi papel de directora editorial y quien ha dedicado mucho tiempo a este glosario, agradezco personalmente a mi familia, Toty, Felix y Brandon por su paciencia y constante apoyo, a mis papás y hermanos porque a pesar de todo, siempre puedo contar con ellos, mis amigas y amigos y a todos quienes han colaborado durante este tiempo en el desarrollo de este glosario.

De manera particular, agradezco a Mario Pereira por contribuir con la impresión del glosario y Eduardo Campos, por su ayuda durante los últimos tres años. Con respecto al contenido del glosario, agradezco las opiniones y revisiones de José Cabello, Rodrigo Rauld, Delia Rodríguez, Pablo Paquis, Ariel Alarcón, Gabriel González, Héctor Pizarro e Iván Soto, quienes desde su mirada geológica opinaron sobre diversos aspectos. También agradezco a Manuel Inostroza, por explicarme el significado de  $h\nu$  en el esquema de gases volcánicos. Del mundo tangencialmente geológico, agradezco muchísimo a Yasna Marambio, sin su colaboración en el Laboratorio de Geoquímica, hubiese sido imposible terminar esta primera edición. No puedo dejar de agradecer a Gladys Vidal y Verónica Apablaza por su apoyo administrativo durante la edición del glosario.

Para finalizar, agradezco a todas aquellas personas e instituciones que, de forma directa e indirecta, han posibilitado que el *Geo-Ambiental Glosario 2024* vea la luz.

## ¿Cómo leer este glosario?

Para escribir el *Geo-Ambiental Glosario 2024* se siguieron las siguientes pautas:

La **negrita** se utilizó para resaltar algún término u otras palabras consideradas importantes para este glosario.

La *cursiva* se utilizó para nombres de libros, de organizaciones, de conferencias, además de palabras en otros idiomas.

Las temáticas se clasificaron según los siguientes colores y símbolos:



**Ambiente**



**Cambio climático**



**Geología**



**Geopatrimonio y geoconservación**



**Geoquímica ambiental**



**Glaciares**



**Hidrología e hidrogeología**



**Peligro y riesgo geológico**

Notar que los términos: atmósfera, biósfera, litósfera y otros similares, en español de América Latina llevan tilde, sin embargo, en España no llevan. Para este diccionario se utilizaron las palabras con tilde.

Finalmente, en las secciones Siglas e Índice Alfabético, el número indica la página donde la sigla es utilizada y la página donde aparece el concepto, respectivamente.

## Siglas

- CICES** Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos. 41
- CIGIDEN** Centro Nacional de Investigación para la Gestión Integrada de Desastres Naturales. 3
- CMNUCC** Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. 11
- CONAF** Corporación Nacional Forestal. 3
- CSN** Centro Sismológico Nacional. 3
- DGA** Dirección General de Aguas. 7
- DIA** Declaración de Impacto Ambiental. 16
- DIRECTEMAR** Dirección del Territorio Marítimo de la Armada de Chile. 3
- EEUU** Estados Unidos de América. 1, 26
- EIA** Evaluación de Impacto Ambiental. 19
- EME** Evaluación del Milenio de los Ecosistemas. 41
- EWS** Early Warning System o Sistema de Alerta Temprana. 2
- GEIs** Gases de Efecto Invernadero. 21
- GRD** Gestión del Riesgo de Desastres. 25, 32
- IPCC** Intergovernmental Panel on Climate Change o Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 3, 4, 11, 13, 20, 21, 39, 41, 45, 55, 56
- OMM** Organización Meteorológica Mundial. 13
- OMS** Organización Mundial de la Salud. 12
- ONG** Organización no Gubernamental. 46
- ONU** Organización de las Naciones Unidas. 2, 12, 14, 36, 57
- OVDAS** Observatorio Volcanológico de los Andes del Sur. 3
- RRD** Reducción del Riesgo de Desastres. 26



**SDT** Sólidos Disueltos Totales. 40, 42

**SDWA** Safe Drinking Water Act o Ley de Agua Potable Segura. 15

**SEA** Servicio de Evaluación Ambiental. 16, 19, 34, 59

**SENAPRED** Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres. 2, 3, 11, 12, 16–20, 25, 38

**SERNAGEOMIN** Servicio Nacional de Geología y Minería. 3, 34, 38, 55, 59

**SHOA** Servicio Hidrográfico y Oceanográfico de la Armada de Chile. 3

**TEEB** The Economics of Ecosystems and Biodiversity o La Economía de Ecosistemas y Biodiversidad. 41


**UNESCO** Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. 45, 52, 56, 59, 60


**URSS** Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas. 1, 2, 46

**US EPA** Organización de Protección Ambiental de EEUU. 9, 15, 29, 60


**USGS** Servicio Geológico de EEUU. 21, 22, 28, 30, 31, 44, 51, 60


## A

**Acuífero**  • Conjunto de estratos (o formación geológica), que almacenan y transmiten aguas subterráneas que se encuentran ocupando poros o vacíos intergranulares (fracturas, diaclasas o grietas). Los acuíferos pueden estar o no confinados dependiendo de la profundidad y de la geología local. En caso de que exista una capa saturada potente y lateralmente extensa de baja permeabilidad (p. ej., arcillas), la unidad subyacente puede encontrarse confinada. Cabe destacar que los acuíferos son unidades geológicas que proporcionan agua en cantidad y calidad adecuadas para el abastecimiento del ser humano (Custodio y Llamas, 1996; Tarbuck y Lutgens, 2014), sin embargo, existen acuíferos contaminados geogénicamente y antropogénicamente (Mukherjee y col., 2024).

**Agua**  • El agua es una molécula que se forma por la unión de 2 átomos de hidrógeno (H) y 1 átomo de oxígeno (O). El átomo de O está enlazado a los de H asimétricamente, formando un ángulo de aproximadamente 105°. Esta configuración asimétrica da origen a una carga eléctrica no balanceada que otorga una característica polar a esta molécula. El agua en estado líquido, a pesar de la fórmula H<sub>2</sub>O o HOH, está compuesta de grupos moleculares unidos por enlaces de hidró-

geno (Tapia, 2023, y las referencias ahí citadas).

**Albedo**  • Los glaciares son fundamentales para el mantenimiento del clima global debido a que reflejan entre el 45 % y 85 % de la luz del sol que llega del espacio, lo que enfría el planeta. Esta reflexión de las diferentes superficies del planeta se denomina albedo y en la Tierra varía en una escala con valores en el rango de 0 a 1. El océano se considera un cuerpo negro y su albedo está entre 0,07 y 0,1, en tanto, el máximo de reflexión lo presenta la nieve fresca, con valores entre 0,8 y 0,9. Cuanto más fresca es la nieve, más luz refleja (COP25, 2019).

**Alerta temprana**  • Este término se comenzó a usar en los conflictos armados, probablemente, antes de la era cristiana. Su utilización se intensificó durante la Primera Guerra Mundial (1914-1918) y fue ampliamente usado durante la Guerra Fría, debido a la tensión nuclear latente entre EEUU y la URSS (1945 y 1990). Durante este período, varios países europeos desarrollaron una medida de protección en caso de un ataque nuclear y cómo actuar frente a un evento de este tipo. Un ejemplo claro es el *Four-Minute Warning* (Advertencia de Cuatro Minutos) implementado entre 1953 y 1992 por el Reino Unido, en donde se alertaba

a la población británica mediante avisos de radio, sirenas y televisión que la URSS había lanzado un ataque nuclear y tenían cuatro minutos para refugiarse. El uso de este término se extendió durante el siglo XX a desastres socio-naturales como terremotos, tsunamis, erupciones volcánicas, remociones en masa, contaminación, entre otros. Posterior al terremoto de las Aleutianas ocurrido en 1946, se creó en Hawai el centro de alerta temprana *Pacific Tsunami Warning System* (Sistema de Advertencia de Tsunamis del Pacífico; 1949), el que tenía como misión alertar a los países del Océano Pacífico en caso de riesgo de tsunami. Después, en 1967 se constituyó en EEUU el *National Tsunami Warning System* (Sistema de Advertencia Nacional de Tsunami). En 1989, la ONU declaró al período entre los años 1990-1999 como la *Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales* (IDNDR por sus siglas en inglés) que tuvo su primera asamblea en 1994 en Yokohama, Japón. Posteriormente, en 1999 se fundó la *Oficina para la Reducción de Riesgos de Desastres*, en Ginebra, Suiza. Estas fueron las primeras instancias en donde se comenzó a ver los desastres naturales como un problema que trascendía las naciones debido al aumento de las personas afectadas por estos eventos. El 2004 fue un año de inflexión importante: el tsunami del 26 de diciembre en Sri Lanka dejó más de 200.000 víctimas entre fallecidos (más de 30

mil), heridos (más de 20 mil) y desaparecidos. La situación causó preocupación mundial, ya que el terremoto de Sumatra de 9,1 (en la escala de magnitud de momento) no estaba previsto, porque no habían estudios geológicos que indicaran que se podía producir un sismo de esa envergadura. Sin embargo, posteriormente se encontraron evidencias de eventos de paleotsunamis (o tsunamis que ocurrieron hace miles o incluso millones de años) en la zona afectada (Dahanayake, 2006; Dahanayake y Kulasena, 2008). Esto llevó a una nueva asamblea en Kyoto, Japón, en el 2005, donde se comenzó a utilizar el término *Early Warning System* (EWS) como el sistema que detecta perturbaciones que causan un impacto significativo y que entrega información relevante para una respuesta en el tiempo adecuado (Waidyanatha, 2010).

En Chile, el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED) tiene los siguientes tipos de alerta:

- **Alerta temprana preventiva.** Es de color verde y corresponde a un estado de anticipación ante posibles situaciones de emergencia.
- **Alerta Amarilla.** Representa un siniestro que por su extensión y severidad podría no llegar a ser controlado.
- **Alerta Roja.** Se relaciona a un evento que ha aumentado en ex-

tensión y severidad y requiere que se movilicen recursos para controlarlo.

Posibles escenarios de riesgo pueden ser forestales, mineros, ambientales, meteorológicos o volcánicos. El SENAPRED tiene convenios de colaboración y protocolos de emergencia con el SHOA, CSN, SERNAGEOMIN, OVDAS, CONAF y la DIRECTEMAR. En Chile, además existen centros que investigan los desastres naturales como, por ejemplo, CIGIDEN.

**Aluvión** 🚰 • Tipo de remoción en masa consistente en un flujo de barro y detritos. En el norte de Chile, el caso más emblemático fue el *Aluvión de Antofagasta de 1991*, donde la ocurrencia esporádica de precipitaciones intensas junto con la ubicación geomorfológica de la ciudad favorecieron la generación de este evento catastrófico (Hauser, 1997; Vargas, Ortlieb y Rutllant, 2000). El aluvión de Antofagasta trajo como consecuencias la muerte de 91 personas, 16 desaparecidos, 6.000 viviendas destruidas totalmente, 2.464 viviendas con daños severos y 70.000 personas damnificadas. Los daños materiales totales fueron estimados en US\$ 80.000.000 (CR2, 2023).

**Ambiente** ♻️ • Conjunto de elementos abióticos (energía solar, suelo, agua y aire) y bióticos (organismos vivos) que integran la delgada capa de la Tierra llamada biósfera, sustento y hogar de los seres vivos. A ello se suman actores

naturales, culturales y sociales, interrelacionados, que condicionan la vida del ser humano en el planeta Tierra y que a su vez son constantemente modificados y condicionados por el ser humano (Fraume, 2007).

**Amenaza** ☢️ • La definición clásica radica en el proceso o fenómeno de carácter natural o tecnológico que puede originar daños a la población, los bienes materiales o el ambiente natural (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002). El SENAPRED define la amenaza como “un fenómeno de origen natural, biológico o antrópico, que puede ocasionar pérdidas, daños o trastornos a las personas, infraestructura, servicios, modos de vida o medio ambiente” (Gobierno de Chile, 2023).

**Amenaza climática** 🌍 • Corresponde a una condición climática cuya potencial ocurrencia puede resultar en pérdidas de vidas, accidentes y otros impactos en salud, como también en pérdidas de propiedad, infraestructura, medios de subsistencia, provisión de servicios, ecosistemas y recursos ambientales (IPCC, 2014)

**Amenaza sísmica** ☢️ • Ocurrencia de terremotos (o sismos) u otros fenómenos asociados, que provienen de los movimientos tectónicos (Fraume, 2007).

**Análisis de riesgo** ☢️ • Estudio o evaluación de las circunstancias, eventualidades o contingencias que en el desarrollo de un proyecto, obra o activi-

dad pueden generar peligro de daño a la salud humana, al medio ambiente, la economía y/o a los recursos naturales (Fraume, 2007).

**Anomalía climática** 🌍 • Término usado para describir la desviación del clima desde el punto de vista estadístico, es decir, la diferencia entre el valor del elemento climático en un período de tiempo determinado. La diferencia en más (+) o en menos (–) que se observa en un lugar con respecto a su promedio histórico, se denomina anomalía positiva o anomalía negativa respectivamente (Fraume, 2007).

**Antrópico** ♻️ • Debido o relativo al humano, que tiene su origen o es consecuencia de las actividades del humano, sinónimo de antropógeno y de humanizado (Fraume, 2007).

**Antropoceno** ♻️ • Este concepto fue originalmente utilizado por Crutzen (2002) para designar una nueva época geológica que se deriva de los cambios que las actividades humanas provocan en la estructura y el funcionamiento del planeta Tierra, incluido el clima. La comunidad de las Ciencias de la Tierra propuso esta nueva época el año 2.002. Sin embargo, recientemente se ha desestimado por la *Comisión Estratigráfica Internacional*, ya que no se ha encontrado un marcador geológico que indique el comienzo de esta época (Voosen, 2024). Diversas disciplinas y el público en general han adoptado el concepto del Antropoceno para referir-

se a la considerable influencia que los seres humanos han ejercido en el estado, la dinámica y el futuro del planeta Tierra (IPCC, 2019).

**Atmósfera** 🌍 • Es una capa gaseosa que presenta cerca de 10.000 km de espesor. Rodea a la litósfera e hidrósfera y está compuesta de gases, partículas sólidas y líquidas en suspensión atraídas por gravedad. En la atmósfera se producen todos los fenómenos climáticos y meteorológicos y se regula la entrada y salida de energía de la Tierra. La atmósfera es el principal medio de transferencia del calor (Centro del Cambio Global PUC, 2024; National Geographic, 2023) y se divide en 5 capas (Figura 1):

- La **tropósfera** es la capa inferior (más próxima a la superficie terrestre) y se ubica a aproximadamente 15 km de altura. A medida que aumenta la altitud, disminuye la temperatura. En esta capa suceden los fenómenos que componen lo que se conoce como el tiempo.
- La **estratósfera** es la segunda capa de la atmósfera terrestre y se ubica hasta los 50 km de altura. A medida que aumenta la elevación, la temperatura aumenta. El ozono provoca esto, ya que absorbe la luz peligrosa del sol y la transforma en calor.
- La **mesósfera** es la tercera capa de la atmósfera terrestre y se ubi-

ca a aproximadamente 85 km de altura. La temperatura disminuye a medida que aumenta la altura (similar a la tropósfera). Puede llegar hasta  $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$ , siendo la zona más fría de la atmósfera.

- La **termósfera** es la cuarta capa y llega a 600 km de altura. El aire es tenue y la temperatura cambia con la actividad solar. Si el sol está activo las temperaturas pue-

den superar los  $1.500\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- La capa más externa es la **exósfera**. En esta capa la atracción de la gravedad es tan tenue que las moléculas de gas se escapan hacia el espacio.

Las capas atmosféricas se encuentran divididas por capas intermedias denominadas **tropopausa**, **estratopausa**, **mesopausa** y **termopausa**, respectivamente (Figura 1).

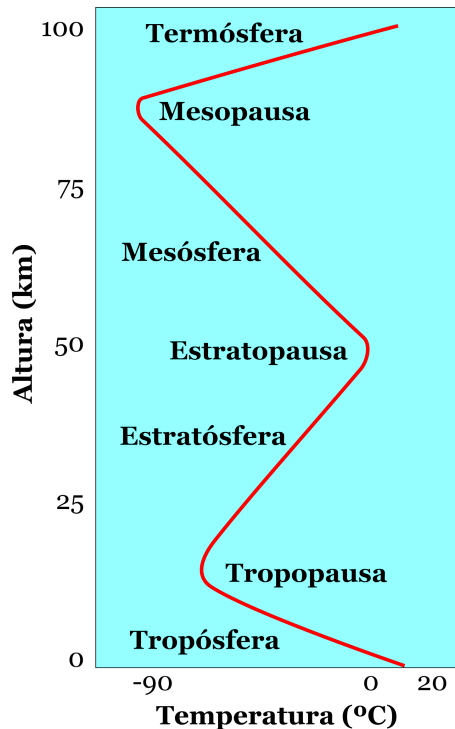


Figura 1: Esquema de la distribución y temperatura de las capas atmosféricas.

## B

**Background geoquímico** 📌 • El concepto de *background* geoquímico (o valor de fondo geoquímico) proviene de geología de exploraciones y fue definido originalmente como “la abundancia normal de un elemento en material terrestre estéril” (Hawkes y Webb, 1962). Los autores de este concepto concluyeron que es más realista entender *background* como un rango de valores en vez de un valor absoluto (Hawkes y Webb, 1962). El concepto fue introducido para diferenciar entre concentraciones elementales normales y anomalías, ya que las anomalías son valores que podrían indicar la presencia de una mena. Por definición una anomalía es una desviación de la norma. Una anomalía geoquímica, más específicamente, es una partida de los patrones geoquímicos que son normales para un área o terreno geoquímico (Hawkes y Webb, 1962). Para diferenciar un *background* de una anomalía se introdujo el término de umbral. El umbral es el límite superior de las variaciones normales del *background*. Garrett (1991) definió umbral como “el límite exterior de la variación del *background*” (Figura 2).

El *background* geoquímico también se ha subclasificado. Por ejemplo:

- **Background natural** se usa mayoritariamente para inferir niveles *background* que reflejan pro-

cesos naturales no influenciados por las actividades humanas.

- En geoquímica ambiental es difícil definir *background*, y este término se entiende como “la concentración de una sustancia en una muestra de material a una distancia de la fuente, donde la concentración de la sustancia no puede probar ser originada en esta fuente”. En esta definición se asume una geoquímica regional homogénea y que la fuente antrópica es la única causa de la variación con respecto a este elemento en estudio.
- Por último se encuentra el ***background ambiental*** que es usado para describir el *background* natural inconmensurablemente perturbado.

**Balance de masa glaciar** 📌 • Corresponde a la suma algebraica de los montos de acumulación y ablación (fusión o erosión) en un determinado período de tiempo. Matemáticamente, sigue la ecuación:  $b = a + c$ . Donde  $b$  es el balance neto, el cual se rige por el período hidrológico y puede ser subdividido en balance de verano, el cual es normalmente negativo, y el balance de invierno, el que es generalmente positivo. Por su parte,  $a$  y  $c$  corresponden a la ablación y la acumulación respectivamente (Cuffey y Paterson, 2010).

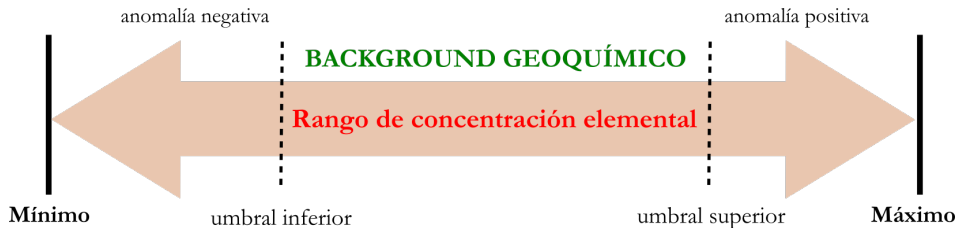



Figura 2: Esquema de *background* geoquímico. Modificado de Gałuszka, Migaszewski y Zalasiewicz (2014).

**Balance hídrico**  • Es la relación entre las entradas naturales o artificiales de recurso hídrico, almacenamiento y salidas naturales o artificiales (Figura 3). La diferencia entre las entradas y salidas al sistema hídrico se igualan a la variación temporal en el volumen almacenado.

En general, las entradas al sistema pueden ser:

- La precipitación (P), en forma de lluvia o nieve.
- Las aguas superficiales y subterráneas (QI).

Las salidas incluyen:

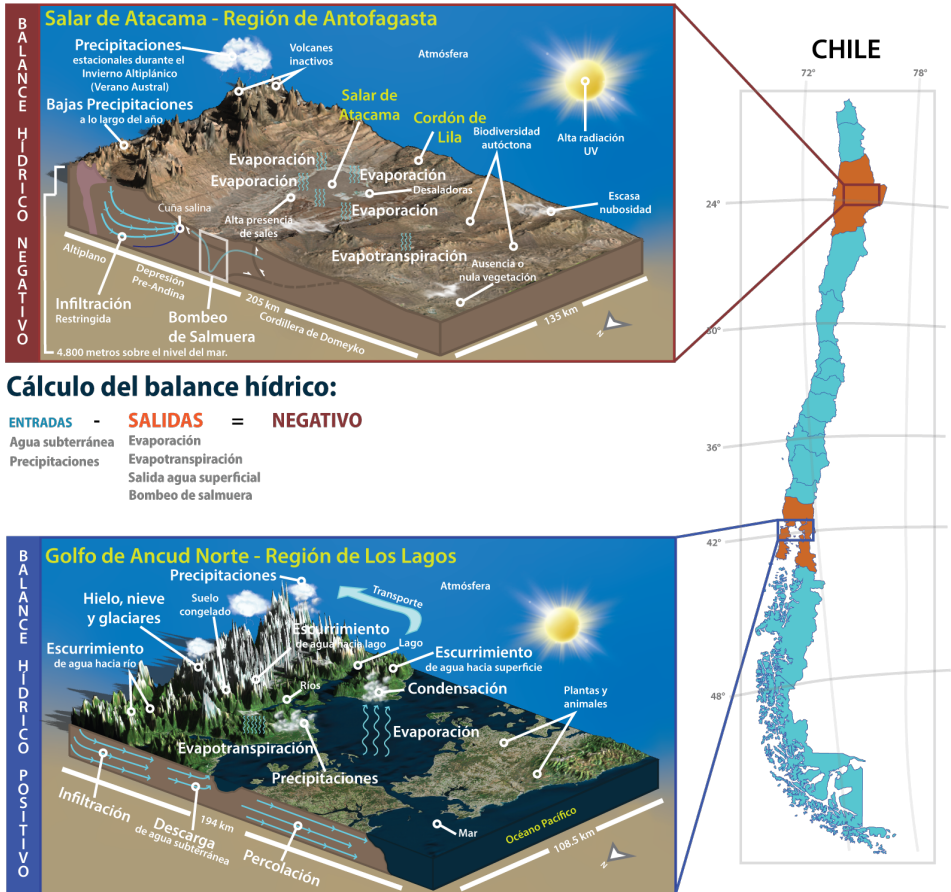
- La evapotranspiración (ETR), que incluye la evaporación desde la superficie libre de agua, desde el suelo y desde la vegetación.
- La salida de agua subterránea y superficial desde la cuenca en forma de ríos, lagos o lagunas (QS).
- Bombeo de aguas subterráneas.

El nivel de agua (DS) aumenta si los in-

gresos son mayores que las salidas y viceversa (Custodio y Llamas, 1996; Sokolov y T. Chapman, 1982).

En Chile, entre los años 1983 y 1987 la DGA elaboró el primer *Balance Hídrico Nacional*, que constituía un informe completo que integraba la red hidrometeorológica entre los años 1961 y 1980 (DGA, 1987). En el año 2016, con el fin de incorporar la información de treinta años de nuevos registros hidrometeorológicos, la DGA solicitó la *Actualización del Balance Hídrico*, que fue elaborada por especialistas de los Departamentos de Ingeniería Civil, Geología y Geofísica y el Centro Avanzado de la Minería de la Universidad de Chile junto al Centro de Cambio Global y el Departamento de Ingeniería Hidráulica de la Universidad Católica de Chile. La actualización del balance considera la estadística de los últimos 30 años y los efectos del cambio climático en la disponibilidad de recursos hídricos en las cuencas pilotos de las diferentes macrozonas del país: Loa, Choapa, Maipo, Imperial y Aysén (DGA, 2017).





**Cálculo del balance hídrico:**

**ENTRADAS - SALIDAS = NEGATIVO**

Agua subterránea    Evaporación

Precipitaciones    Evapotranspiración

                                 Salida agua superficial

                                 Bombeo de salmuera

**Cálculo del balance hídrico:**

**ENTRADAS - SALIDAS = POSITIVO**


Agua subterránea    Escorrentía


Precipitaciones    Evapotranspiración

Infiltración            Salida agua superficial

Hielo, nieve, glaciares    Evaporación

Figura 3: Arriba. Esquema de balance hídrico negativo a la altura del Cordón de Lila (24°S), Región de Antofagasta, norte de Chile. Abajo. Esquema de balance hídrico positivo a aproximadamente 40°S en la Región de Los Lagos.


**Basamento**  • Roca impermeable sobre la cual se sustentan los horizontes inferiores del suelo. Conjunto de materiales antiguos afectados por procesos ígneos y metamórficos. Constituye la parte inferior de un orógeno, y sobre él reposa la cobertura sedimentaria (Fraume, 2007).

**Biodisponibilidad**  • En un sentido general, la biodisponibilidad se refiere al grado en el que un contaminante o compuesto químico de una fuente potencial dada está libre (disponible) para moverse hacia (entrar) o desde (salir) un organismo (Newman y Jagoe, 1992). Otras definiciones de biodisponibilidad incluyen:

- La medida de acceso físico-químico que un tóxico tiene al proceso biológico de un organismo (US EPA, 1997).
- La medida en que un contaminante está disponible para la conversión biológica, la cual es función del sistema biológico, las propiedades físico-químicas del contaminante y los factores ambientales (Juhasz y Naidu, 2000).
- La accesibilidad de un contaminante a un organismo desde el punto de vista de su metabolismo, su capacidad para crecer frente a estos productos químicos y para cambiar su fisiología y, tal vez, la modulación de la respuesta genética (Worms y col., 2006).


La parte biodisponible de un compuesto químico corresponde, entonces, a la fracción de una especie química que está disponible para ingestión/inhalación y/o asimilación por un organismo; esta fracción representa sólo una parte de la concentración del elemento contenida en el suelo, aire y agua. Para el caso específico de los metales, un elemento metálico está biodisponible si está presente como, o puede transformarse fácilmente a, la especie de ion libre o bien es la fracción de metal extraíble que se correlaciona con la absorción total de metal por un organismo (Naidu y col., 2008). La biodisponibilidad depende de la especie o forma geoquímica y puede ser afectada por propiedades físico-químicas del suelo, tales como el pH, contenido y tipo de arcilla, contenidos de materia orgánica, óxidos de Fe, Al y Mn, potencial redox, capacidad de intercambio catiónico, cationes y aniones solubles. Su incorporación final a la cadena trófica depende del tipo de metal, de su especie química y del tipo de organismo afectado. La biodisponibilidad se utiliza a menudo como un indicador clave del riesgo potencial que las sustancias químicas representan para el ambiente y la salud humana (Naidu y col., 2008). En términos de evaluación del riesgo ambiental, la biodisponibilidad de los contaminantes tiene un impacto significativo en una amplia variedad de receptores ecológicos incluyendo **eucariotas** (plantas, hongos, algas, verte-


brados, humanos entre otros) y **procariontos** (bacterias y arqueas).


**Biodiversidad**  • Existen varias definiciones para biodiversidad. Algunas de las definiciones más utilizadas son:

- La cuantificación de la diferencia total entre las partes de un sistema biológico (Farnsworth, Lyashevskaya y Fung, 2012).
- La suma de todas las variaciones bióticas, desde el nivel genes hasta el nivel ecosistemas (Purvis y Hector, 2000).
- Variedad de organismos, los complejos biológicos en los cuales ocurren y la manera en la que interactúan entre sí y con el entorno físico (Redford y Richter, 1999).
- Variabilidad entre los organismos de todas las fuentes incluidos, entre otros, los ecosistemas terrestres, marinos y otros acuáticos y los complejos ecológicos de los que forman parte; esto incluye la diversidad dentro de las especies, entre las especies y de los eco-


sistemas (Convención sobre la Diversidad Biológica).

**Biomasa**  • Se define como la fracción biodegradable de los productos, desechos y residuos de origen biológico procedentes de actividades agrarias (incluyendo sustancias de origen animal y vegetal), de la silvicultura y de industrias como la pesca y la agricultura, además de la fracción biológica degradable de los residuos industriales y municipales. Esto implica que la biomasa tiene fuentes diversas y heterogéneas (De Lucas y Herguedas, 2012).

**Biósfera**  • Es la suma total de los ecosistemas del planeta Tierra. Es el ecosistema global de la Tierra que integra todos sus organismos y sus relaciones sistémicas entre sí y con la litósfera, hidrósfera y atmósfera (Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 2012).

**Bofedal**  • Es un tipo de humedal altoandino que presenta vegetación hidromórfica y que generalmente acumula turba. Los bofedales se encuentran saturados en agua estacional o permanentemente (Fuentealba, 2019).

## C

**Cambio climático**  • El cambio climático hace referencia a una modificación del estado del clima identificable (p. ej., mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor me-

dio o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante períodos prolongados, generalmente décadas o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos na-

turales (p. ej., erupciones volcánicas), a forzamientos externos naturales (p. ej., modulaciones de los ciclos solares) y cambios antropogénicos persistentes en la composición de la atmósfera o del uso de la Tierra. La *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (CMNUCC), en su artículo 1, define el cambio climático como “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMNUCC diferencia entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición atmosférica y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2019). En tanto, SENAPRED define el cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Gobierno de Chile, 2023).

**Capa de ozono** 🌍 • Es la zona de la estratósfera que concentra más del 90 % del ozono. Está ubicada en un rango de entre 15 y 40 km de altura sobre la superficie terrestre, siendo mayor cerca de los polos y menor en la zona ecuatorial. Esta capa actúa como un escudo protector de la radiación ultravioleta

(UV), especialmente de las longitudes de onda entre 150 y 300 nm (SINIA, 2021).

**Capacidad adaptativa al cambio climático** 🌍 • Es la capacidad de las personas, instituciones, organizaciones y sistemas para enfrentar, gestionar y superar condiciones adversas en el corto y mediano plazo, utilizando las habilidades, valores, creencias, recursos y oportunidades disponibles (IPCC, 2014). También existen otras definiciones como:

- Capacidad de afrontamiento o *Coping Capacity* en inglés (Turner y col., 2003).
- Capacidad de respuesta (Gallopín, 2003).

Si bien algunos autores hacen distinción, en general las consideran como componentes de la **resiliencia del sistema**. Considerar, además, que este concepto es claramente un atributo del sistema previo al de perturbación.

**Capital** ♻️ • El término capital se utiliza comúnmente en los ámbitos económico y empresarial para describir el conjunto de activos financieros. En las últimas tres décadas, se han introducido usos adicionales del término, como (Gray, 2019):

- El capital manufacturado (p. ej., carreteras, edificios, máquinas, o productos).
- El capital humano, social e intelectual (p. ej., salud, conocimiento)

to, cultura, e instituciones).

- El capital natural, o el conjunto de activos naturales.


**Capital natural** 🌿 • La definición de capital natural, según el *World Forum on Natural Capital* (Foro Mundial de Capital Natural), lo describe como “las reservas mundiales de activos naturales que incluyen geología, suelo, aire, agua y todos los seres vivos”. En tanto la *Natural Capital Coalition* (Coalición de Capital Natural), lo define como “término para el stock (aprovisionamiento) de recursos renovables y no renovables (p. ej., plantas, animales, aire, agua, suelos, minerales) que se combinan para producir un flujo de beneficios para las personas”. Estas definiciones, adoptadas por diversas organizaciones, son claras, y abarcan geología y minerales como fundamentos del planeta. Sin embargo, la preocupación por el ambiente principalmente durante las últimas cinco décadas, ha aumentado la conciencia sobre los impactos ambientales e impulsa la adopción del enfoque de capital natural, con el objetivo de frenar, detener o revertir la disminución de este capital y lograr una gestión sostenible de los recursos del planeta, tanto bióticos (relacionados a procesos biológicos y orgánicos) como abióticos (asociados con procesos geológicos e inorgánicos), para el futuro de la sociedad (Gray, 2019).

**Catástrofe** 🚨 • Proviene del griego antiguo *katastrefein* que significa aba-


tir o destruir. Los griegos la utilizaban para indicar la última parte de una obra en que los acontecimientos se tornaban desdichados, lo que suponía un golpe emocional para el espectador. Luego, en el siglo XVIII se aplicó al desastre natural, pero en sentido metafórico, para finalmente ser usado con la acepción actual (*Revista Muy Interesante* 2016). La *Organización Mundial de la Salud* (OMS) la define como “cualquier fenómeno que provoca daños, perjuicios económicos, pérdidas de vidas humana y deterioro de la salud y servicios en medida suficiente para exigir una respuesta extraordinaria de sectores de la comunidad y zona afectada”. La ONU, en tanto, la define como “una ruptura grave en el funcionamiento de una sociedad con pérdidas de vidas humanas, materiales y medio ambientales, y de una tal amplitud que excede las capacidades de la mencionada sociedad para enfrentarla”. En tanto SENAPRED la define como “una situación de alcance regional o mayor, con un nivel de afectación e impacto que requiere de asistencia internacional, como apoyo de las capacidades del país, bajo una coordinación de nivel nacional” (Gobierno de Chile, 2023). El término tiene varias definiciones, y para diferenciarlo de desastre, emergencia y urgencia pareciera sólo existir una variación cualitativa y cuantitativa. Desastre se utiliza cuando las personas afectadas van de mil a un millón, en tanto catástrofe, cuando supe-

ran el millón y se agotan las capacidades y recursos para enfrentarla. Entonces, en términos geológicos, una catástrofe sería un evento geológico (p. ej., erupción volcánica, remoción en masa, contaminación de aguas) que genera más de un millón de personas afectadas. En Chile, el Presidente de la República puede decretar *Estado de Catástrofe* en caso de **calamidad pública** donde se puede (Gobierno de Chile, 2020):

- Restringir las libertades de movimiento y reunión.
- Disponer requisiciones de bienes.
- Limitar el ejercicio del derecho de propiedad.
- Adoptar todas las medidas extraordinarias de carácter administrativo que sean necesarias para el establecimiento de la normalización de la zona afectada lo más pronto posible.


**Ciclo hidrológico**  • Modelo conceptual de la circulación de las aguas terrestres que describe los principios que rigen las relaciones entre el agua superficial y subterránea. Este modelo define el movimiento general del agua como un proceso continuo, ascendiendo a través de la evapotranspiración (proceso que genera vapor de agua) y descendiendo inicialmente por precipitaciones, para luego fluir tanto en forma de escorrentía superficial como subterránea. Este proceso dinámico se inicia con la radiación solar, permitien-

do la elevación del agua desde el suelo mediante la evapotranspiración, la gravedad induce la precipitación y orienta el flujo hacia áreas de menor altitud. La secuencia incluye la condensación del vapor atmosférico, generando lluvias o nieves. Parte de esta precipitación retorna a la atmósfera por evaporación o interceptación, mientras otra se retiene temporalmente en superficies y la restante fluye superficialmente hacia cursos de agua que culminan en ríos, lagos u océanos. Además, una fracción se infiltra en el subsuelo, ocupando poros y fisuras (Custodio y Llamas, 1996).

**Clima**  • Se suele definir en sentido restringido como el estado promedio del tiempo y, más rigurosamente, como una descripción estadística del tiempo atmosférico en términos de los valores medios y de la variabilidad de las magnitudes correspondientes durante períodos que pueden abarcar desde meses hasta miles o millones de años. El período habitual promedio es de 30 años, según la definición de la *Organización Meteorológica Mundial* (OMM). Las magnitudes son casi siempre variables de superficie (p. ej., temperatura, precipitación o viento). En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático en términos tanto clásicos como estadísticos (IPCC, 2019).


**Combustible fósil**  • Recurso no renovable, producto de restos minerali-

zados de plantas y animales prehistóricos, el cual desprende energía al quemarse. Estas sustancias han estado enterradas bajo tierra durante millones de años. Ejemplos típicos son carbón, petróleo y gas natural (Fraume, 2007).


**Comisión mundial sobre el ambiente y desarrollo**  • Conocida como *Comisión Brundtland*, fue creada por la ONU como organismo independiente en 1983. Sus objetivos eran:


- Volver a examinar los problemas críticos de la Tierra en materia de ambiente y desarrollo.
- Formular propuestas realistas para resolver los problemas críticos del planeta Tierra.
- Asegurar que el progreso humano fuera sostenido a través del desarrollo, sin agotar los recursos de las generaciones futuras.

Las reuniones y actividades publicadas en el informe titulado *Nuestro Futuro en Común*, culminaron en la conferencia mundial *Eco Río 92* y *Cumbre de la Tierra* realizada en Río de Janeiro, Brasil (Fraume, 2007).

**Conciencia ambiental**  • Nivel de conocimientos, o de nociones elementales, que tiene la población con respecto al ambiente, y que puede manifestarse en cierto grado de preocupación, interés, cuidado o temores frente a la problemática ambiental contemporánea. Convicción de una persona, organización, grupo o una sociedad ente-

ra, de que el ambiente debe protegerse y usarse racionalmente en beneficio del presente y el futuro de la humanidad (Fraume, 2007).

**Conflicto ambiental**  • Desacuerdo o disputa por el acceso a recursos naturales y el ambiente, su uso y su distribución, entre quienes causan un problema ecológico o ambiental y quienes reciben las consecuencias o impactos dañinos de dichos problemas. También se puede definir como un problema ambiental que es enfrentado activamente por parte de los afectados, lo que hace que todos los problemas ambientales sean potenciales conflictos ambientales (Fraume, 2007).

**Cono de depresión**  • En hidrogeología, el cono de depresión se refiere a la configuración en forma de cono invertido que se desarrolla alrededor de un pozo de extracción de agua subterránea. Este fenómeno se origina por la disminución localizada del nivel freático o piezométrico debido a la extracción de agua, generando una zona cónica de reducción de la presión que induce el flujo de agua hacia el pozo para compensar la extracción. La formación y las dimensiones del cono de depresión están influenciadas por factores como la tasa de extracción, la permeabilidad del acuífero y las características hidrogeológicas locales (Alley, Reilly y Franke, 1999).

**Conservación**  • Actividad práctica ejercida en tanto se considera a la natu-

raleza como fuente de recursos. Protección y administración de los recursos naturales (suelo, agua, aire, vida silvestre, entre otros) de forma continua, con el fin de asegurar la obtención de óptimos beneficios, tanto sociales como económicos. Su finalidad es el mantenimiento, explotación y el aprovechamiento de los recursos naturales dentro de ciertos límites establecidos con criterio científico (Fraume, 2007).

**Contaminación** 🚫 • Es la presencia anómala de concentraciones elevadas de ciertas sustancias en el ambiente, estas concentraciones se encuentran sobre el nivel *background* natural para el área (Sciortino y Ravikumar, 1999). El término contaminación trata con la capacidad del medio ambiente de absorber o soportar un agente contaminante de origen químico, biológico o físico. La contaminación, a diferencia de la polución, puede ser soportada por el ambiente sin detener los ciclos biogeoquímicos generales y de la vida (Chapman, 2007).

**Contaminante** 🚫 • Existen varias definiciones para este término, algunas de ellas son las siguientes:

- El *Safe Drinking Water Act* (SDWA) define contaminante como cualquier sustancia o material físico, químico, biológico o radiológico en el agua.
- Sustancias (p. ej., elementos químicos y compuestos) o grupos de sustancias que son tóxicos,

persistentes y propensos a bioacumularse, y otras sustancias o grupos de sustancias que dan lugar a un nivel de preocupación equivalente (Tornero y Ribera d'Alcalà, 2014).


Se espera razonablemente, que el agua potable contenga concentraciones muy limitadas de algunos contaminantes, ya que pueden ser peligrosos si se consumen en ciertos niveles (US EPA, 2014). Sin embargo, la presencia de contaminantes no indica necesariamente que esa agua represente un riesgo para la salud (US EPA, 2014).

**Contexto geológico** 🌿 • Este concepto es utilizado para que un inventario de geositios represente, en forma homogénea, toda la historia y geodiversidad del territorio en que se trabaja (Benado y col., 2020).

**Criósfera** ❄️ • Comprende los componentes congelados del planeta que están sobre o bajo la superficie de los sistemas terrestres u oceánicos. Esta incluye nieve, glaciares, casquetes de hielo, témpanos de hielo o icebergs, hielo marino, lagos congelados, ríos congelados, permafrost y suelos congelados estacionalmente. La existencia de la criósfera varía ampliamente dependiendo de su ubicación específica alrededor del mundo (tanto latitudinal como altitudinal). Por ejemplo, en muchos lugares, la nieve y el hielo de agua dulce pueden existir solo durante las estaciones de invierno; mientras que




en muchos glaciares existe hielo formado de nieve que ha caído desde milenios. La Antártica alberga la mayor parte del volumen global de hielo (COP25, 2019).


**Cuenca endorreica**  • O **cuenca cerrada**. Se define de forma generalizada como aquella donde la recarga y descarga de aguas ocurren en la misma cuenca. Es decir, estas cuencas no presentan flujo hacia otras y la recarga se pierde naturalmente por evapotranspiración dentro de la misma cuenca (Woessner y Poeter, 2020). Ejemplos de cuencas endorreicas son los salares altoandinos del norte de Chile (Figura 3).

**Cuenca exorreica**  • Se definen de forma generalizada como cuencas don-

de la recarga de aguas puede fluir hacia cuencas vecinas localizadas a menor elevación, lo que quiere decir que no toda la recarga (en la cuenca original) se pierde naturalmente por evapotranspiración (Woessner y Poeter, 2020). También se les define como cuencas hidrográficas cuyo punto de salida de las aguas superficiales es un río principal que desemboca en el océano (Vásconez y col., 2019).


**Cuenca hidrográfica**  • Límite externo de la superficie donde la precipitación genera escorrentía y/o recarga del acuífero hacia el punto geométrico más bajo de la cuenca. En la práctica se utiliza para definir el área total de recarga para el balance hídrico (Woessner y Poeter, 2020).

## D

**Daño**  • El SENAPRED indica que daño comprende la afectación que se produce durante y/o inmediatamente después de una emergencia. Se suelen cuantificar en unidades físicas (p. ej., metros cuadrados de vivienda o kilómetros de carretera) y describen la destrucción parcial o total de bienes físicos, la interrupción de los servicios básicos y la afectación de los medios de vida en la zona comprometida (Gobierno de Chile, 2023).


**Daño ambiental**  • Toda pérdida,


disminución, detrimento o menoscabo significativo inferido al medio ambiente o a uno o más de sus componentes (Gobierno de Chile, 1994).


**Declaración de impacto ambiental**  • O DIA es un estudio que se debe presentar en el SEA para proyectos que no generen uno o más de los efectos especificados en el Artículo 11 de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente (Gobierno de Chile, 1994; SEA, 2024).


**Depósito mineral**  • Es una ocurren-

cia mineral (concentración anómala de un mineral o elemento metálico) de tamaño (volumen) y ley suficiente para que en circunstancias favorables, sea considerado con potencial económico (Maksaev, 2001).


**Desarrollo sostenible**  • Corresponde a la visión económica que busca el crecimiento sostenido, asegurando el medio ambiente para las poblaciones futuras (Sabogal y Hurtado, 2009). Según SENAPRED “es el proceso de mejoramiento sostenido y equitativo de la calidad de vida de las personas, fundado en medidas apropiadas de conservación y protección del medio ambiente, de manera de no comprometer las expectativas de las generaciones futuras” (Gobierno de Chile, 2023).


**Desarrollo sustentable**  • Corresponde al proceso que permite satisfacer las necesidades de la población actual sin comprometer la capacidad de atender a las generaciones futuras (Leff, 1998).

**Desastre**  • Según la Ley 21.364 un desastre es “una situación con un nivel de afectación e impacto que no permite ser gestionada con capacidades regionales, y requiere refuerzos o apoyos desde otras zonas del país, a través de esfuerzos coordinados a nivel nacional” (Gobierno de Chile, 2021a).

**Desastre socionatural**  • Tradicionalmente, cualquier proceso que implicaba una catástrofe y tenía relación con el entorno geológico natural, se ca-

tegorizaba como un desastre natural. Sin embargo, en la actualidad, la incidencia de estos desastres ha aumentado debido a la intervención humana que, de diversas maneras, afecta al medio ambiente. Es importante destacar que la sociedad también juega un papel crucial en la construcción de la exposición y la vulnerabilidad a estos desastres aumentando el riesgo. Debido a ello, Lavell en 1998 definió **desastre socionatural** para referirse a todo suceso que haya sido producido por las fuerzas de la naturaleza y esté potenciado por efectos antrópicos o haya sido desencadenado producto de la acción humana, generando efectos adversos en el medio ambiente y poniendo en riesgo a las comunidades que habitan en el entorno (Machay-Chi, 2014; Sánchez, 2016).

**Desmante**  • Pasivo ambiental minero, compuesto de material rocoso masivo de ínfimo valor económico. También se define como escombros de falda o *talus*, pendiente en francés (Duarte, 1993; Pérez de Arce, 2019).

**Divisoria de aguas**  • O *divortium aquarum* en latín, se define como un límite donde el flujo de agua ocurre hacia dos lados (perpendiculares a la divisoria). En acuíferos, comúnmente se presenta donde el nivel piezométrico es el más alto (p. ej., en una zona de alta recarga). Por las diferencias del nivel piezométrico, funciona como un límite de no flujo o un límite que no puede

ser traspasado por el agua (Woessner y Poeter, 2020). También se denomina parteaguas (Ordoñez, 2011).

**Drenaje ácido** 🗑️ • Corresponde a un drenaje de pH ácido que se forma por la exposición de material estéril de diver-

sos yacimientos minerales (p. ej., carbón, sulfuros metálicos, hierro, uranio y otros) a la meteorización. Uno de los principales minerales relacionados con la generación de acidez es pirita ( $FeS_2$ ) o sulfuro de hierro (Nordstrom y Alpers, 1999).

## E

**Ecosistema** ♻️ • Este término fue utilizado por primera vez en 1935 por Arturo C. Tansley para referirse a aquellos sistemas cuyos principales componentes son la suma de los elementos vivos y no vivos. Los elementos vivos (factor biótico) son la flora y fauna en todas sus formas y escalas, mientras que los elementos no vivos (factor abiótico) son el clima y la geografía que conforman el medio ambiente que propicia la supervivencia y reproducción de los seres vivos y permite el movimiento de materia y energía. Por tanto, los ecosistemas no son entidades estáticas y han evolucionado a lo largo del tiempo geológico. Existen diversas clasificaciones de los ecosistemas y pueden diferenciarse entre (OVACEN, 2016):

- **Ecosistemas terrestres**, que incluyen bosque templado, selva (bosque lluvioso tropical), sabana, praderas, desierto cálido, tundra, taiga y desierto polar.
- **Ecosistemas acuáticos**, que in-


cluyen tanto ecosistemas de agua dulce como de agua salada.

- **Ecosistemas modificados por el hombre**, que incluyen los sitios urbanizados, los cultivos, entre otros.


**Emergencia** ☢️ • El SENAPRED la define como “aquel evento (o la inminencia de éste), que altere el funcionamiento de una comunidad debido a la manifestación de una amenaza de origen natural, biológica o antrópica, que interacciona con las condiciones de exposición, vulnerabilidad y capacidad de afrontamiento, ocasionando una o más de las siguientes afectaciones: pérdidas, impactos humanos, materiales, económicos o ambientales” (Gobierno de Chile, 2023).


**Escorrentía** 🌊 • Se define como la porción de la precipitación que no es capaz de infiltrar hacia un acuífero y fluye sobre la superficie. La cantidad de escorrentía depende de la per-

meabilidad, ya que si la unidad geológica superficial es menos permeable (en la dirección vertical), la escorrentía es mayor (Gaspari, Senisterra y Marlats, 2007; Ruiz y M., 2015b; Woessner y Poeter, 2020). El agua puede fluir fuera de la cuenca (p. ej., cuenca exorreica) o en la misma cuenca (p. ej., cuenca endorreica).


**Esferas de la Tierra**  • Corresponde a una clasificación de los subsistemas existentes en el planeta Tierra. En la literatura se encuentran diversas definiciones sobre estas divisiones, algunas de ellas diferencian más capas que otras. En esta definición se abarcan las cinco más mencionadas por las comunidades científicas, que incluyen (Aparicio, 1992; National Geographic, 2018; NASA, 2010):

- Magnetósfera.
- Atmósfera.
- Hidrósfera.
- Litósfera.
- Biósfera.


**Estéril**  • Término minero que usualmente se refiere a las rocas no mineralizadas o que contienen minerales que no representan algún interés económico (Maksaev, 2001).

**Estudio de impacto ambiental**  • O EIA es un estudio que se debe presentar al SEA para proyectos que generen uno o más de los efectos especificados en el Artículo 11 de la Ley 19.300 sobre Bases Generales del Medio Am-

biente (Gobierno de Chile, 1994; SEA, 2024).

**Evapotranspiración**  • Comprende el fenómeno físico de la evaporación del agua desde el suelo y vegetación, así como el agua libre presente en la atmósfera (lluvia), ríos, lagos, entre otros, hacia la atmósfera en forma de vapor. La evapotranspiración depende de factores climáticos, hídricos, edáficos (perteneciente o relativo al suelo) y de vegetación (Ruiz y M., 2015a):

- **Factores climáticos e hídricos.** Temperatura, gradiente de tensión de vapor, características del agua (p. ej., densidad), viento y luz.
- **Factores edáficos.** Características del suelo, profundidad del nivel freático y presión osmótica.
- **Factores de vegetación.** Presión de succión, morfología de las plantas, desarrollo fisiológico de la planta, entre otros.

**Exposición**  • Conjunto de bienes a preservar que pueden ser dañados por la acción de un peligro. Puede ser humana, económica, estructural o ecológica. La exposición en un mismo emplazamiento suele variar a lo largo del día o estacionalmente (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002). Según SENAPRED la exposición está definida por la localización de la población, infraestructura, servicios, medios de vida, medio ambiente u otros elementos presentes en un área de impacto producto de la ma-

nifestación de una o varias amenazas (Gobierno de Chile, 2023).

**Exposición al cambio climático** 🌍 • Es la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios y recursos

ambientales, infraestructura, o activos económicos, sociales o culturales, en lugares que podrían verse afectados negativamente por el cambio climático (IPCC, 2014).

## F

**Factor de enriquecimiento** 📊 • O *enrichment factor* (EF por sus siglas en inglés). Es un índice numérico desarrollado inicialmente para especular sobre el origen de los elementos en la atmósfera, precipitación o agua en los océanos (Zoller, Gladney y Duce, 1974). Este uso se extendió al estudio de suelos, sedimentos lacustres, turba, colas de lixiviado y otros materiales ambientales (Audry y col., 2004; Salvarredy-Aranguren y col., 2008). Estos factores se han usado en aumento para diferenciar entre fuentes geogénicas y antropogénicas de elementos en estudios ambientales (Audry y col., 2004; Salvarredy-Aranguren y col., 2008).

Los EF se calculan como:

$$EF = \frac{M_m}{(Fe, Al, Ti)_m} \cdot \frac{M_b}{(Fe, Al, Ti)_b}$$

Donde:  $M_m$  es la concentración del elemento ( $M$ ) en la muestra ( $m$ ),  $(Fe, Al, Ti)_m$  es la concentración del elemento normalizador en la muestra,  $M_b$  es la concentración del elemento en el material *background* y  $(Fe, Al, Ti)_b$

es la concentración del elemento normalizador en el material *background*. Los elementos que se utilizan para normalizar son de carácter conservativo, esto quiere decir que sufren muy poca o nula influencia del ambiente superficial, y es por ello que generalmente se utiliza hierro (Fe), aluminio (Al) o titanio (Ti) (Tapia, 2021, y referencia ahí citadas).


**Factores subyacentes del riesgo** ☢️ • El SENAPRED los define como “aque-llos procesos que subyacen y determinan la vulnerabilidad, tanto física como social y que contribuyen, impulsan, conducen o determinan de forma importante a la construcción, creación o existencia de condiciones de riesgo de desastres en la sociedad” (Gobierno de Chile, 2023).


**Flujo subterráneo** 💧 • El flujo de agua subterránea se refiere al desplazamiento del agua bajo la superficie terrestre, moviéndose a través de poros y grietas en rocas y suelos. Este flujo puede ser ascendente o descendente según la topografía y la presión


del agua. Es esencial para la hidrología, geología y ecología, ya que constituye una fuente vital de agua dulce y es fundamental para la supervivencia de diversos ecosistemas. La *Ley de Darcy* rige la física del movimiento del agua subterránea, estableciendo que el flu-

jo es proporcional al gradiente hidráulico, permeabilidad del medio y viscosidad del agua. Factores como precipitación, topografía, vegetación, geología y actividad humana influyen en el flujo de agua subterránea (Sánchez-San Román, 2013).

## G

**Ganga**  • Son aquellos minerales que ocurren con los minerales de mena, pero que no tienen valor económico. Algunos ejemplos de ganga son cuarzo ( $SiO_2$ ), calcita ( $CaCO_3$ ), pirita ( $FeS_2$ ), entre otros (Maksaev, 2001).

**Gases de efecto invernadero**  • O GEIs son algunos gases atmosféricos como dióxido de carbono ( $CO_2$ ), óxido nitroso ( $N_2O$ ) y metano ( $CH_4$ ), que actúan como una manta aislante, calentando al planeta Tierra al dificultar la liberación de calor al espacio exterior. Esta barrera se conoce como **efecto invernadero** (IPCC, 2021).

**Gases volcánicos tóxicos**  • Corresponden a gases emitidos durante erupciones volcánicas que podrían resultar nocivos para los ecosistemas. Estos gases dan lugar a numerosos impactos en el clima, el ambiente y la población (USGS, 1997).

La investigación de gases volcánicos implica la cuantificación del gas que los volcanes liberan a la atmósfera. Las

emisiones involucran enormes cantidades de gas volcánico, gotas de aerosoles y ceniza, los que son eyectados a la estratósfera durante erupciones volcánicas masivas. Algunos gases como dióxido de carbono ( $CO_2$ ), corresponden a GEIs que promueven el calentamiento global, mientras otros como dióxido de azufre ( $SO_2$ ), pueden causar enfriamiento global, destrucción de ozono y contaminación del aire, conocida como smog volcánico o *vog* (USGS, 1997).

Las erupciones volcánicas explosivas inyectan vapor de agua ( $H_2O$ ),  $CO_2$ ,  $SO_2$ , ácido clorhídrico ( $HCl$ ), ácido fluorhídrico ( $HF$ ) y ceniza (roca pulverizada y pómez) a la estratósfera a alturas de 15 a 30 km. El impacto más significativo de estas inyecciones es la transformación de  $SO_2$  en ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), el que se condensa rápidamente en la estratósfera para formar finos aerosoles de sulfato (Figura 4). Los aerosoles aumentan la reflexión de la radiación solar de vuelta al espa-

cio así enfriando la tropósfera; sin embargo, además absorben el calor radiado desde la Tierra, por lo tanto también calientan la estratósfera (USGS, 1997).

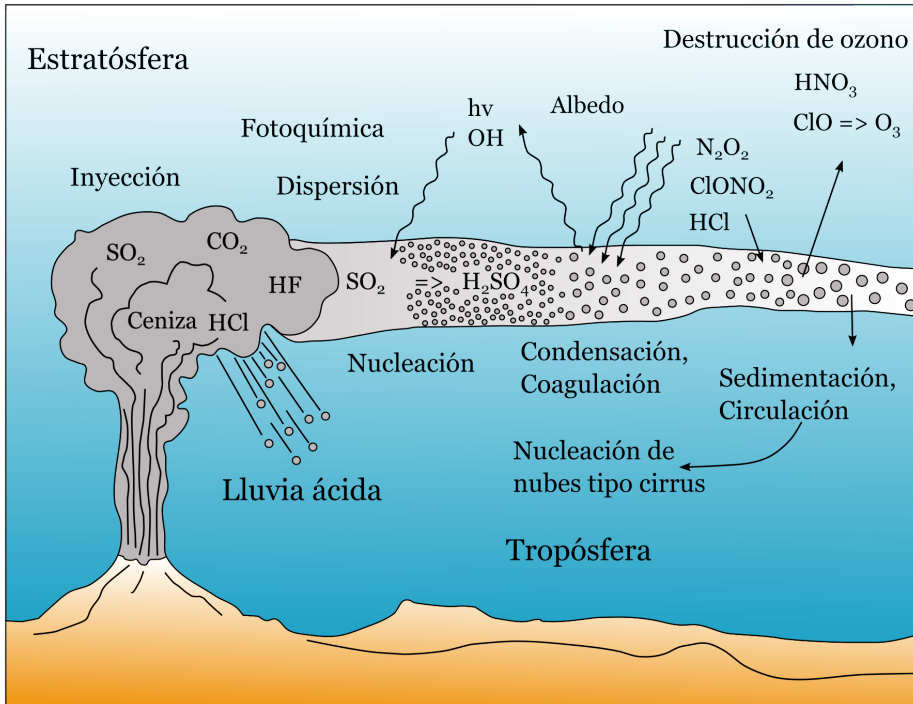



Figura 4: Esquema de gases y ácidos volcánicos. El símbolo  $h\nu$  ( $h$  constante de Planck y  $\nu$  frecuencia de la luz), se utiliza en las reacciones químicas que involucran al anión hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) en presencia de luz. Modificado de USGS (1997).

**Geociencias**  • Conjunto de disciplinas de las ciencias naturales que estudian la estructura, morfología, evolución y dinámica del planeta Tierra. Tam-

bién se les conoce como Ciencias de la Tierra (Tapia, 2023, y referencias ahí citadas).

**Geoconservación** 🌿 • Conjunto de medidas y acciones enfocadas en asegurar la conservación y rehabilitación del patrimonio geológico y de la geodiversidad, basada en el análisis de sus valores intrínsecos, su vulnerabilidad y su riesgo de degradación.

La evaluación del patrimonio geológico y la geodiversidad es necesaria para gestionar de buena forma el territorio, protegiendo los lugares de interés geológico a partir de un marco legal adaptado a las necesidades y peculiaridades del patrimonio geológico, para una geoconservación efectiva (Carcavilla y de la Cova, 2009).

**Geodiversidad** 🌿 • Corresponde al rango natural de diversidad de rasgos geológicos (rocas, minerales y fósiles), geomorfológicos (formas del terreno y procesos) y suelos, incluyendo sus relaciones, propiedades, interpretaciones y sistemas. Se enfoca en los rasgos abióticos de la naturaleza y a la vez justifica la necesidad de conservarlos.

Tanto la **biodiversidad** como la **geodiversidad** buscan promover la importancia y conservación de los componentes que forman parte de los ecosistemas. Ambos términos hacen referencia a la variedad y complejidad de los rasgos naturales, donde existe una variedad de elementos que son diversos, en tanto que unos son raros y otros más comunes, unos más frágiles y otros más resistentes, o con formas y tamaños diferentes y suelen estar ame-

nazados por actividades de origen antropogénico (Gray, 2019).

**Geofísica** ⚡ • Disciplina de las ciencias naturales que estudia las dimensiones, estructura y propiedades físicas de la Tierra, así como el papel que cumple el planeta Tierra en el Sistema Solar (IGN, 2004).

**Geología** ⚡ • Proviene del griego *geo* (Tierra) y *logos* (discurso). Es la ciencia natural que estudia el planeta Tierra. Tradicionalmente se divide en dos áreas (Tarbuck y Lutgens, 2014):


- **Geología física.** Disciplina que estudia los materiales que componen la Tierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan al interior y en la superficie del planeta.
- **Geología histórica.** Disciplina que busca comprender el origen de la Tierra y su evolución a través del tiempo.


**Geología ambiental** ♻️ • La geología ambiental es geología aplicada. Específicamente, es el uso de información geológica para ayudar a resolver conflictos relacionados con el uso del planeta Tierra, a minimizar la degradación ambiental y a maximizar los resultados benéficos de usar los ambientes naturales y modificados (Keller, 2010).

Por sus características geológicas, Chile es un país que presenta una serie de problemáticas de geología ambiental, entre ellas destacan:



- **Peligros geológicos.** Como vulcanismo activo, actividad sísmica o terremotos, tsunamis, remociones en masa y deslizamientos.
- **Impacto ambiental de la industria.** Como minería, industria forestal, o compañías que generan energía.
- **Planificación territorial.**

**Geología de exploraciones**  • Subdisciplina de la geología que se dedica a la prospección (o búsqueda) de recursos geológicos de interés económico, como por ejemplo cobre (Cu), oro (Au), agua, petróleo, entre otros (Tapia, 2023, y referencias ahí citadas).

**Geoparque**  • Corresponde al territorio con un patrimonio geológico de importancia internacional y una estrategia de desarrollo territorial sostenible. Los lugares que componen un geoparque deben estar conectados en red y constituir parques temáticos con rutas, senderos y tramos de roca que puedan beneficiarse de medidas de protección y gestión (McKeever, Zouros y Patzak, 2010).

Existen geositios que tienen:

- **Valor científico.** Se refiere al potencial que tiene un sitio de interés geológico para ser usado en la investigación geocientífica. Está directamente relacionado con la importancia que tienen los rasgos de la geodiversidad para respaldar el conocimiento presente

y futuro del funcionamiento de la geósfera e interactúa con otros sistemas de la Tierra, como la biósfera, la hidrósfera y la atmósfera (Brilha, 2016).

- **Valor educativo.** Se refiere a la capacidad de un componente de la geodiversidad para ser usado en la enseñanza de las Ciencias de la Tierra, tanto en el ámbito académico formal, como en el ámbito informal, dirigida a todo público. Con este valor se pretende identificar aquellos rasgos con mayor aptitud para explicar clara y fácilmente principios y procesos relacionados con el funcionamiento e historia del planeta Tierra (Gray, 2019; Brilha, 2005; Brilha, 2016).
- **Valor turístico.** Corresponde al potencial que brinda una característica para desarrollar en torno a ella actividades turísticas gracias a su belleza escénica y/o estética, a su aptitud para llevar a cabo actividades como la búsqueda de fósiles, visitas a museos, apreciación del paisaje, o bien actividades recreativas y cierto tipo de deportes como esquí, exploración de cavernas, rafting, descenso de cañones, entre otros (Gray, 2019).
- **Valor cultural.** Es aquel valor que la sociedad le asigna a algunos aspectos del ambiente físico de-

bido a su significado social o comunitario (Gray, 2019). El ser humano asigna este valor cuando reconoce una fuerte interdependencia entre su desarrollo social, cultural y/o religioso y el medio físico que lo rodea (Brilha, 2005).

**Geopatrimonio** 🍃 • Se utiliza como sinónimo de **patrimonio geológico**, pero puede diferenciarse según el valor derivado de la apreciación humana o de su uso por parte de la sociedad. Se encuentran relacionados con la geología, pero su principal característica es derivarse de la actividad humana. Pueden denominarse, también, **sitios geoculturales** (Palacio-Prieto, Rosado-González y Martínez-Miranda, 2018).

**Geoquímica** ⚡ • Disciplina de las ciencias naturales que estudia la composición química de los distintos materiales geológicos (p. ej., rocas, minerales, suelos, sedimentos, agua, salmueras, entre otros) que componen el planeta Tierra (Tapia, 2023, y referencias ahí citadas).

**Geositio** 🍃 • Es un sitio de interés geológico donde predomina el valor científico. En estos sitios se presentan uno o más elementos de la geodiversidad (afloramiento ya sea como resultado de la acción de procesos naturales o debido a intervención humana), bien delimitado geográficamente, y que presenta un valor singular desde el punto de vista científico, pedagógico, cultural (relacionado con la actividad huma-

na en el pasado), turístico, entre otros (Brilha, 2005; Brilha, 2016).

**Geoturismo** 🍃 • Forma de turismo sostenible de carácter educativo y enfocado en la divulgación científica. Corresponde a un turismo con un enfoque principal en experimentar las características geológicas del planeta Tierra de una manera que se fomente la comprensión, la apreciación y la conservación ambiental y cultural y que es, además, localmente beneficioso (Dowling, 2011).


**Gestión del riesgo** ☢️ • Es el proceso sistemático de utilizar directrices administrativas, organizaciones, destrezas y capacidades operativas para ejecutar políticas y fortalecer las capacidades de afrontamiento, con el fin de reducir el impacto adverso de las amenazas naturales y la posibilidad de que ocurra un desastre (UNISDR, 2007). SENAPRED lo define como “el enfoque y la práctica sistemática de gestionar la incertidumbre para minimizar los daños y las pérdidas potenciales ante amenazas” (Gobierno de Chile, 2023).

**Gestión del riesgo de desastres** ☢️ • O por sus siglas GRD, es definida por SENAPRED como “el proceso continuo de carácter social, profesional, técnico y científico de la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, planes, programas, regulaciones, instrumentos, estándares, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo de de-

sastres (RRD), con el propósito de evitar la generación de nuevos riesgos de desastres, reducir los existentes y gestionar el riesgo residual. Además de la organización y gestión de los recursos, también considerará a las potestades y


atribuciones que permitan hacer frente a los diversos aspectos de las emergencias y la administración de las diversas fases del ciclo del riesgo de desastres” (Gobierno de Chile, 2023).

## H

**Hidrogeología**  • Disciplina dedicada al análisis del agua subterránea y la formación rocosa que constituye su medio de desplazamiento. Este campo multidisciplinario integra principios de geología, hidrología, física, química, ingeniería y matemáticas. Este concepto se comenzó a usar por Pierre Perrault (1608-1680), quien marcó el inicio de la hidrogeología experimental en su obra *De l'origine des fontaines* (Del Origen de los Manantiales), fue el primero en registrar medidas de lluvia en la cuenca del Río Sena, Francia, durante tres años. Calculó el caudal anual del río, concluyendo que era una sexta parte del volumen de lluvia en la cuenca, demostrando que la precipitación atmosférica era adecuada para explicar el flujo del río. Posteriormente, en las décadas de 1760 a 1790, Joseph Elkington, aplicó principios geológicos para resolver problemas hidrológicos, destacando su comprensión del flujo, acuíferos, manantiales y la capacidad de almacenamiento y transmisión de agua de los materiales


terrestres (Stephens y Ankeny, 2000). Años después, Henry Darcy, ingeniero hidráulico en Dijon, Francia, desarrolló una relación matemática fundamental que describe el flujo de agua a través de tuberías llenas de arena, simbolizando su porosidad (1856). Esta relación ha sido esencial para las investigaciones hidrogeológicas, inspirando numerosos estudios durante los últimos 150 años (Domenico y Schwartz, 2000). En continuación a los trabajos de Elkington y Darcy, nuevos investigadores exploraron la ocurrencia y movimiento natural del agua subterránea, enfocándose en su flujo hacia pozos de bombeo. En 1885, Chamberlin describió el agua subterránea en condiciones confinadas (artesianas), y Meinzer (1923) analizó las características de las formaciones portadoras de agua (acuíferos) y la disponibilidad de agua subterránea en distintas regiones de los EEUU. En las décadas posteriores, Theis (1935) y Jacob (1940) contribuyeron con expresiones matemáticas para el flujo variable en el tiempo (transitorio) hacia


pozos de bombeo. Hubbert (1940) desarrolló una teoría sobre el flujo regional de agua subterránea en cuencas sedimentarias. Avanzando hacia la década de 1950, los científicos realizaron notables progresos en la hidrogeología química, destacando Piper (1994) y Stiff (1951), quienes idearon enfoques gráficos para presentar la química del agua, métodos ampliamente utilizados en la actualidad (Custodio y Llamas, 1996).

**Hidrosfera**  • La hidrosfera es la capa de agua que rodea la Tierra. El agua circula continuamente en la superficie terrestre, cambiando su estado físico, en el proceso denominado ciclo hidrológico, que es la causa fundamental de la constante transformación de la superficie terrestre (Universidad de Murcia, 2017). En resumen, es una cubierta dinámica, con continuos movimientos y cambios de estado, que regula el clima, participa en el modelado del relieve y hace posible la vida sobre la Tierra. La hidrosfera es también responsable de riesgos geológicos externos como inundaciones, deslizamientos del terreno, subsidencias del terreno, entre otros (Universidad de Murcia, 2017). La proporción de agua dulce, de más abundante a menos abundante, se divide en (Figura 5):

- Hielo.
- Agua subterránea.
- Lagos, embalses, pantanos, ríos.
- Atmósfera.

- Biósfera.

**Holoceno**  • El Holoceno es el nombre que se ha asignado a los últimos 11.700 años de la historia de la Tierra — es el tiempo desde el fin de la última época glacial, o *Edad del Hielo*. Desde entonces, han ocurrido cambios climáticos de menor escala, el más llamativo fue la *Pequeña Edad de Hielo* entre aproximadamente 1.200 y 1.700 A.D. pero en general el Holoceno ha sido un período relativamente cálido entre edades de hielo (Waggoner, 1996).

**Humedal**  • Según la *Convención de Ramsar*, son los pantanos y marismas, lagos y ríos, pastizales húmedos y turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, zonas marinas próximas a las costas, manglares y arrecifes de coral, así como sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas. En inglés se les denomina *wetlands*.

En Chile, en 1981 a través del Decreto de Ley 771 del Ministerio de Relaciones Exteriores, que se promulgó con el propósito de adherir a la *Convención de Ramsar*, las zonas de humedales se dividen en “áreas de ciénagas, pantanos, áreas de musgos o agua, sean éstas naturales o artificiales, permanentes o temporales, de aguas estáticas o corrientes, frescas, con helechos o saladas, incluyendo zonas de agua de mar cuya profundidad no exceda de seis metros durante la marea baja”. Sin embargo, esta clasificación excluye los

ecosistemas de turberas. Otra definición aparece en la Ley 20.283 (Decreto 82, Artículo 2) del año 2010, donde se indica que se entenderán como humedales los “ecosistemas asociados a sustratos saturados de agua en forma temporal o permanente, en los que existe y se desarrolla biota acuática y, han sido declarados *Sitios Prioritarios de Conservación*, por la Comisión Nacional del Medio Ambiente, o *Sitios Ramsar*. Para efectos de delimitación, se considerará la presencia y exten-

sión de la vegetación hidrófila. Tratándose de ambientes que carezcan de vegetación hidrófila se utilizará, para la delimitación, la presencia de otras expresiones de biota acuática”. A su vez, la *Estrategia Nacional sobre Humedales Costeros*, propone una definición que los considera “ecosistemas asociados a sustratos saturados temporal o permanentemente de agua, los cuales permiten la existencia y desarrollo de biota acuática” (Gobierno de Chile, 2017b, y las referencias ahí citadas).

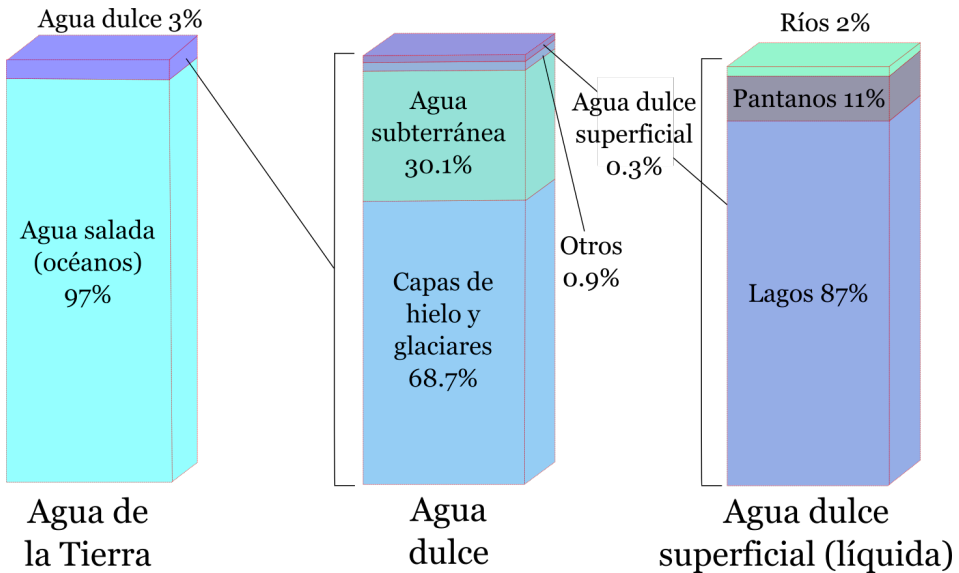



Figura 5: Esquema de la distribución global del agua en la Tierra. Modificado de USGS (1997).

## I

**Impacto ambiental**  • Todo cambio o conjunto de cambios al ambiente, ya sea adverso o benéfico, como resultado de una actividad industrial, explotación y utilización de los recursos naturales, construcción de obras públicas, de producción o servicios (US EPA, 1997).

En la legislación chilena (Gobierno de Chile, 1994, Ley N° 19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, Título I), impacto ambiental es definido como “la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por un proyecto o actividad en un área determinada”. Existen diversos tipos de impactos ambientales, pero fundamentalmente se pueden clasificar, de acuerdo a su origen, atributos y alcance.

De acuerdo a su origen, los impactos ambientales pueden ser provocados por:

- **Aprovechamiento de recursos naturales.** Sean renovables, tales como el aprovechamiento forestal o la pesca; o no renovables, tales como la extracción del petróleo o del carbón.
  - **Contaminación.** Todos los proyectos que producen algún residuo (peligroso o no), emiten gases a la atmósfera o vierten líquidos al ambiente.
  - **Ocupación del territorio.** Los proyectos que al ocupar un territorio modifican las condiciones naturales por acciones tales como tala rasa, compactación del suelo y otras.
- De acuerdo a sus atributos, los impactos ambientales pueden ser:
- **Positivo o negativo.** El impacto ambiental se mide en términos del efecto resultante en el ambiente.
  - **Directo o indirecto.** Si el impacto ambiental es causado por alguna acción del proyecto o es resultado del efecto producido por la acción.
  - **Acumulativo.** Si el impacto ambiental es el efecto que resulta de la suma de impactos ocurridos en el pasado o que están ocurriendo en el presente.
  - **Sinérgico.** Si el impacto ambiental se produce cuando el efecto conjunto de impactos supone una incidencia mayor que la suma de los impactos individuales.
  - **Residual.** Si el impacto ambiental persiste después de la aplicación de medidas de mitigación.
  - **Temporal o permanente.** El impacto ambiental es por un período determinado o es definitivo.

- **Reversible o irreversible.** Impacto ambiental que depende de la posibilidad de regresar a las condiciones originales.
- **Continuo o periódico.** Impacto ambiental que depende del período en que se manifieste.

De acuerdo a su alcance, los impactos ambientales pueden ser **locales, regionales o globales**.

**Índice de geoacumulación ( $I_{geo}$ )** 📌 • Este índice fue propuesto originalmente por Müller (1979) para determinar el grado de contaminación de un ele-

mento químico en sedimentos. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para suelos y otros materiales geológicos.

El  $I_{geo}$  se calcula como:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5 \times B_n}$$

Donde:  $C_n$  corresponde a la concentración medida del metal  $n$  en el sedimento,  $B_n$  corresponde al valor *background* para el metal  $n$ . El factor 1,5 se usa por posibles variaciones del *background* debido a diversidad litológica (Nowrouzi y Pourkhabbaz, 2014).

## L


**Lahar** 🌋 • Junto con los flujos de detrito y las avalanchas, los lahares son masas de roca, lodo y agua que viajan a mucha velocidad por las laderas y río abajo gracias a la acción de la gravedad. Los volcanes son un asentamiento perfecto para iniciar este tipo de eventos por sus pendientes, presencia de rocas y una fuente de agua disponible, ya sea en forma de nieve, hielo o lluvias. Los lahares pueden desplazarse por kilómetros río abajo de un volcán (USGS, 2023).

**Lava** 🌋 • Se la define como el magma o fundido silicatado que ha alcanzado la superficie de la Tierra (Tarbuck y Lutgens, 2014).

**Línea de base geoquímica** 📌 • Es-

te término fue introducido oficialmente en el *Programa de Correlación Geológica Internacional* (Darnley y col., 1995) para crear una red de referencia global para sets de datos geoquímicos regionales nacionales y como una base de datos *background* internacionales para legislación ambiental. La línea de base geoquímica se refiere a la variación en la concentración de un elemento en el ambiente superficial (Salminen y Gregorauskiene, 2000; Salminen y Tarvainen, 1997). Además indica el contenido actual de un elemento en un punto determinado en el tiempo (Salminen y Gregorauskiene, 2000). Incluye el *background* natural y la contribución antropogénica difusa en los suelos (Al-

banese y col., 2007; Reimann, Filzmoser y Garrett, 2005; Reimann y Garrett, 2005).

**Litósfera**  • La litósfera (de *lithos* o piedra en griego) corresponde a una capa terrestre que está conformada por el manto superior rígido junto con la corteza terrestre (Figura 6). La parte superior del manto, más fría y rígida

que el manto más profundo, en muchos aspectos se comporta como la corteza terrestre (USGS, 1999). La litósfera tiende a ser más delgada bajo los océanos (aproximadamente 5 km de espesor) y más gruesa en zonas volcánicas activas continentales (p. ej., la Cordillera de Los Andes, con espesores que superan los 70 km).

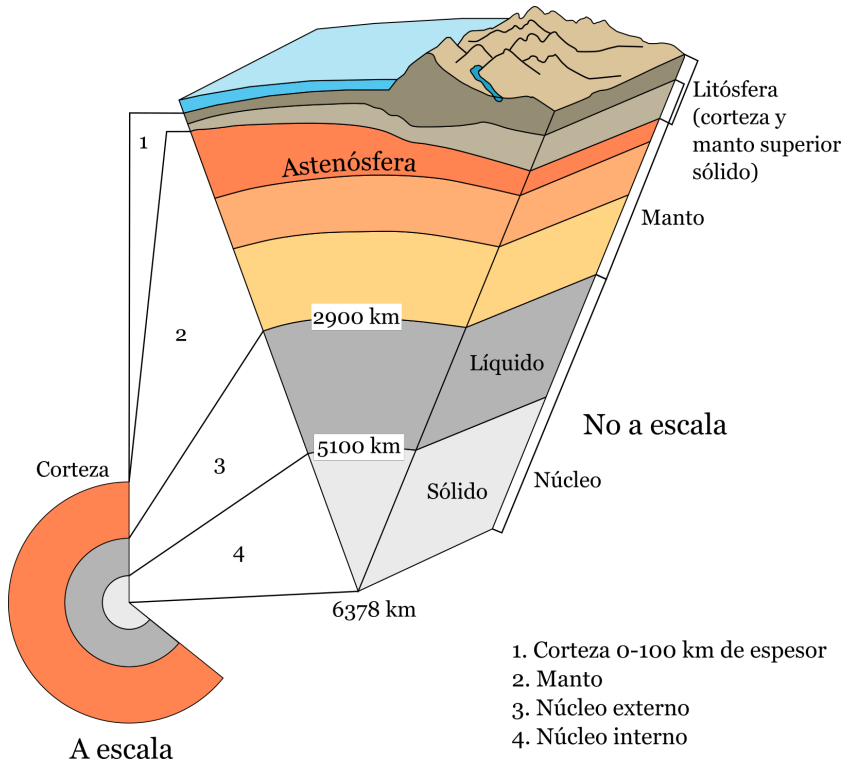





Figura 6: Esquema de las capas internas de la Tierra. Los kilómetros más superficiales corresponden a la litósfera. Modificado de USGS (1999).




## M


**Magma**  • Material completa o parcialmente fundido presente al interior del planeta Tierra, que al enfriarse se solidifica y forma una roca ígnea. La fase líquida se llama fundido silicatado y está compuesta principalmente por iones de silicio (Si) y oxígeno (O) que se combinan comúnmente para formar sílice ( $SiO_2$ ). En tanto, la fase sólida del magma, de estar presente, corresponde a minerales ya cristalizados a partir del fundido. Los magmas también pueden contener gases, los más comunes son vapor de agua ( $H_2O$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ) y dióxido de azufre ( $SO_2$ ) (Tarbuck y Lutgens, 2014).


**Mapa de amenazas**  • El artículo 35 de la Ley 21.364 los define como “instrumentos que identifican las áreas expuestas al efecto directo o indirecto de una amenaza, cuya representación gráfica es una zonificación simple realizada a través de diversas metodologías y variadas escalas según la amenaza” (Gobierno de Chile, 2021a).


**Mapa de riesgos**  • El artículo 36 de la Ley 21.364 los define como “los instrumentos de diagnóstico de los escenarios de riesgos cuya representación gráfica corresponde a la relación de vulnerabilidad, elementos y sistemas expuestos a amenazas, sobre una proporción del territorio en un momento dado, con el objeto de apoyar la GRD”

(Gobierno de Chile, 2021a).

**Mena**  • Un mineral o un grupo de minerales que pueden ser extraídos de una roca y generar ganancia económica. También se puede definir como un agregado mineral sólido, natural, utilizable, ya sea tal como se extrae o del cual uno o más componentes valiosos se pueden recuperar económicamente (Maksaev, 2001). Algunos ejemplos son los minerales calcopirita ( $CuFeS_2$ ), que es una mena de cobre (Cu), galena ( $PbS$ ), que es una mena de plomo (Pb) o esfalerita (también llamada blenda) que es una mena de zinc (Zn).


**Metal**  • Son materiales que conducen bien el calor y la electricidad, tienen alta densidad, elevada capacidad de reflexión de la luz y son sólidos a temperatura ambiente (a excepción de mercurio (Hg)). Metales como oro (Au), plata (Ag) y cobre (Cu) se han utilizado desde la prehistoria, y en general, se les ha considerado materiales importantes para los avances tecnológicos (Sequeros, 2020).

**Metalurgia**  • Es la técnica de extracción y transformación de los metales a partir de los minerales. En tanto, la **siderurgia** es el conjunto de técnicas que se emplean para la extracción y tratamiento de hierro (Fe) y sus aleaciones (Sequeros, 2020).


**Mina**  • Es el conjunto de excavaciones y labores necesarias para explotar un yacimiento mineral y conseguir la extracción de minerales útiles, incluyéndose en el conjunto las plantas necesarias para el tratamiento del mineral extraído (Herrera, 2017). Dependiendo del criterio, las minas se pueden dividir en:

- Minas a cielo (o rajo) abierto.
- Minas subterráneas.
- Explotaciones por sondeos.
- Canteras.

Estos criterios se basan en si la mina es explotada a través de labores en superficie o bajo ella (Herrera, 2017).


**Mineral**  • Componente básico de las rocas. Se define como cualquier sólido inorgánico de origen natural, que posee una estructura interna ordenada y una composición química definida. Por lo tanto, los minerales deben presentar las siguientes características (Tarbuck y Lutgens, 2014):

- Aparecer de forma natural.
- Ser de origen inorgánico.
- Ser sólidos.
- Tener una estructura interna ordenada.
- Tener una composición química definida, que puede variar dentro de ciertos límites.

**Mineralización**  • Término general que usualmente se refiere a minerales de mena. Se utiliza en dos sentidos

(Maksaev, 2001):

- Referido al proceso por el que se producen las concentraciones de minerales de mena.
- Referido a los cuerpos de mena.


**Mitigación**  • Comprende las medidas dirigidas a reducir los riesgos existentes, evitar la generación de nuevos riesgos y limitar los impactos adversos o daños a las personas, infraestructura, servicios, medios de vida o medio ambiente producidos por las amenazas (Gobierno de Chile, 2023). Existen medidas de mitigación **estructurales** y **no-estructurales** para reducir el impacto negativo de peligros naturales y la degradación ambiental (UNISDR, 2007).


- Las **medidas estructurales** corresponden a cualquier construcción física para reducir o evitar los posibles impactos de las amenazas, o la aplicación de técnicas de ingeniería para lograr la resistencia y la resiliencia de las estructuras o de los sistemas frente a las amenazas (Gobierno de Chile, 2023); p. ej., piscinas de decantación, represas, diques para evitar inundaciones o aluviones, o barreras contra las olas oceánicas (UNISDR, 2007).
- Las **medidas no-estructurales** se refieren a cualquier medida que no suponga una construcción física y que utiliza el conocimiento, las prácticas o los acuerdos existentes para reducir el ries-

go y sus impactos, especialmente a través de políticas y leyes, una mayor concientización pública, la capacitación y la educación (Gobierno de Chile, 2023); p. ej., políticas ambientales, códigos de construcción, legislación

sobre el ordenamiento territorial y su cumplimiento, investigaciones y evaluaciones, recursos informativos y programas de concientización pública, entre otros (UNISDR, 2007).


## N


**Nivel freático**  • En hidrología, el nivel freático denota la superficie libre de un acuífero. Desde una perspectiva física, corresponde a la superficie superior de la zona saturada, y toda ella se encuentra sometida a la presión atmosférica (Custodio y Llamas, 1996; Todd y Mays, 2005).

**Norma**  • Para comprender este término, se debe considerar lo expuesto por Atienza (2012), quien define norma como “directivas y enunciados que tratan de influir en el comportamiento

hacia quienes van dirigidos”. Según el SERNAGEOMIN, las normas tienen como objetivo establecer las definiciones, plazos, condiciones y procedimientos para dar cumplimiento a la obligación que consiste en la entrega de información de carácter general (Gobierno de Chile, 2017a). En tanto, para el SEA la normativa ambiental abarca aquellas normas cuyo objetivo es asegurar la conservación del patrimonio ambiental, preservación de la naturaleza y protección del medio ambiente (SEA, 2018).

## O

**Ocurrencia mineral**  • Es una concentración anómala de un mineral que se considera valiosa para alguien en alguna parte o que es de interés científico o tecnológico (Maksaev, 2001).

**Ozono**  • Molécula gaseosa compuesta por tres átomos de oxígeno uni-

dos químicamente ( $O_3$ ), a diferencia de oxígeno, que contiene dos átomos ( $O_2$ ). Se encuentra presente en la atmósfera de la Tierra distribuido en diferentes concentraciones, con variaciones geográficas y de altura con respecto a la Tierra (SINIA, 2021).

## P

**Permeabilidad** 🌀 • Se define como la facilidad que un cuerpo ofrece a ser atravesado por un fluido. En el caso de la hidrogeología, el cuerpo corresponde a la roca o sedimento y el fluido al agua (Sánchez-San Román, 2022). La permeabilidad es una característica del medio poroso. En cambio, la conductividad hidráulica depende del medio poroso y el fluido (Sanders, 1998).

**Perturbación** ☢️ • Término para indicar los procesos externos o internos que interactúan con el sistema y que tienen la potencialidad para inducir transformaciones significativas en

él, ya sea lenta o repentinamente (Gallopin, 2006).

**pH** 📊 • Se define como el valor negativo del logaritmo de la concentración de  $H^+$  ( $pH = -\log[H^+]$ ) y es un parámetro físico-químico del agua (y otros materiales) que permite identificar si se encuentra en estado ácido, neutro o alcalino. Mientras mayor es la concentración de  $H^+$  en las aguas, menor es su pH. En la escala de pH su valor varía entre 1 (ácido) y 14 (alcalino), siendo 7 el pH neutro (Tapia, 2023, y referencias ahí citadas). Para ejemplificar ver Figura 7.

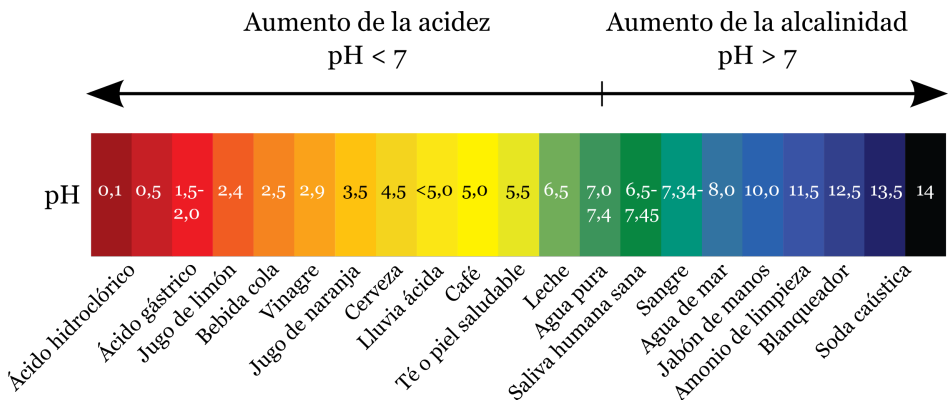


Figura 7: Escala de pH en función de compuestos químicos, alimentos y otros.

**Planeta Tierra** 🌍 • Corresponde al tercer planeta más próximo al Sol del sistema solar y el quinto más grande de este sistema. Es el único planeta, en el universo conocido, capaz de albergar vida en su superficie. Esto debido a que es un complejo sistema compuesto, a su vez, por varios subsistemas los cuales interactúan abiertamente entre ellos. Para entender el funcionamiento del planeta Tierra, se estudia como un sistema con una colección de partes o esferas interdependientes, conocidos como subsistemas.

La ONU, con la finalidad de lograr el desarrollo sostenible, definió el 22 de abril como el día internacional de la Madre Tierra (bajo la resolución A RES 63 278), en la que se estipula que “Madre Tierra es una expresión común utilizada para referirse al planeta Tierra en diversos países y regiones, lo que demuestra la interdependencia existente entre los seres humanos, las demás especies vivas y el planeta que todos habitamos” (ONU, 2009).

**Porosidad** 🌀 • Se define como la fracción volumétrica de poros de un material. En hidrogeología se clasifica como (Sánchez-San Román, 2022; Woessner y Poeter, 2020):

**Porosidad total ( $m_t$ ):**

$$m_t = \frac{V_h}{V_t}$$

Donde  $V_h$  equivale al volumen de poros y  $V_t$  equivale al volumen total.

**Porosidad drenable ( $m_e$ ):**

$$m_e = \frac{V_{dg}}{V_t}$$

Donde  $V_{dg}$  equivale al volumen de agua que puede drenar por gravedad y  $V_t$  equivale al volumen total.

**Porosidad efectiva ( $n_e$ ):**

$$n_e = \frac{V_i}{V_t}$$

Que se define como la razón entre el volumen de espacios interconectados ( $V_i$ ) y el volumen total ( $V_t$ ).

**Prevención** ☢️ • Conjunto de acciones de mitigación del riesgo y preparación para la atención post-desastre (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

**Previsibilidad** ☢️ • Posibilidad de predecir un peligro o riesgo, sea éste espacial, temporal o tipológico (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

**Procesos geológicos exógenos** ⚡️ • Aquellos procesos que se llevan a cabo en la superficie de la Tierra o sus proximidades reciben el nombre de procesos exógenos o externos (Tarbuck y Lutgens, 2014). Estos son potenciados por la energía del sol y forman parte primordial del ciclo de las rocas, ya que, son los responsables de transformar las rocas sólidas en sedimento. A su vez, estos se suelen dividir en tres procesos principales (Tarbuck y Lutgens, 2014):

- **Meteorización.** Que consiste en la desintegración física, altera-

ción y/o descomposición química de la roca en la superficie de la Tierra.


- **Remoción en masa.** Que son aquellos procesos donde las rocas, suelos y sedimentos son movilizados por una pendiente bajo la influencia de la gravedad, movilizándose y depositándose de distintas formas dependiendo de la composición de estos y la abundancia de agua, afectando a su vez la geomorfología de superfi-


cie.

- **Erosión.** Que es la remoción física de material debido a la acción de agentes catalizadores de movimiento tales como agua, viento o hielo.

Estos tres son los principales procesos que crean, transportan y depositan sedimento en la superficie, transformando así, continuamente la morfología de la superficie de la Tierra (Tarbuck y Lutgens, 2014).

## R

**Recurso hídrico**  • Corresponde a un recurso finito y vulnerable relacionado al agua. Es un recurso escaso y distribuido desigualmente en el planeta Tierra debido a características geográficas, geológicas y climatológicas. En el caso de Chile, actualmente se lo considera un país privilegiado en materia hídrica, contando con un volumen de agua *per cápita* superior a la media mundial. Sin embargo, la distribución de aguas es heterogénea, presentando escasez hídrica en la macrozona norte de Chile (Gobierno de Chile, 2021b).


**Recursos renovables**  • Un recurso renovable o de flujo corresponde a un recurso natural que se reproduce en las condiciones físicas y naturales actuales, independiente del tiempo que


demore su regeneración. De esta manera la gestión adecuada de este tipo de recurso permite que la velocidad de regeneración coincida con la de su generación. Paralelamente, se encuentran los **recursos potencialmente renovables**, los cuales presentan como condición distintiva que su explotación no sobrepase su capacidad de regeneración. El aprovechamiento y mantenimiento de los recursos renovables depende de factores tecnológicos, económicos, políticos y culturales (Oliveras y Saladié, 2018).

Los recursos naturales renovables corresponden a la biomasa (donde se consideran bosques, madera, cultivos, entre otros), agua (siempre y cuando su uso sea racional), viento, radiación solar, olas, energía geotérmica y re-


cursos de tipo biótico (flora, fauna y suelo). Ciertos recursos naturales renovables son utilizados como fuente de energía. Por ejemplo (Oliveras y Saladé, 2018):


- La radiación solar se utiliza a partir de dos formas principales, como energía solar térmica o como energía solar fotovoltaica.
- El potencial energético del desplazamiento de masas de aire es explotado a través de la energía eólica.
- El aprovechamiento del agua se define como energía hidráulica.
- Otras fuentes de energías a partir de recursos renovables son la energía geotérmica, energía térmica oceánica y energía mareomotriz.

**Registro geológico**  • Registro en rocas y minerales del que se infieren las condiciones imperantes en el planeta Tierra en el momento de su formación (Gómez, 2007).

**Relave**  • Es un material sólido, finamente molido, que se descarta en operaciones mineras. En el caso de la minería de sulfuros de cobre (Cu), se explotan grandes toneladas de roca del yacimiento mineral, sin embargo, sólo una pequeña proporción de esa roca (generalmente del orden de un 1 %) presenta un interés económico. Una vez que la roca es molida y concentrada a través de procesos metalúrgicos, se obtie-

ne un material concentrado en Cu (20 a 30 %). El resto del material que tiene un bajo contenido de Cu se denomina relave, el que debe depositarse en forma segura y responsable con el ambiente (SERNAGEOMIN, 2018).

**Resiliencia**  • Capacidad de un sistema social para responder y recuperarse ante desastres. Incluye aquellas condiciones inherentes que permiten que el sistema absorba los impactos, así como también aquellos aspectos que permiten hacer frente a un evento, durante y posterior a éste, procesos adaptativos que facilitan la capacidad del sistema social para reorganizarse, cambie y aprenda en respuesta a una amenaza (Cutter y col., 2008).

**Riesgo**  • La palabra riesgo tiene dos connotaciones distintas. En el lenguaje popular, por lo general se hace énfasis en el concepto de la probabilidad o la posibilidad de algo, tal como el riesgo de un accidente, mientras que en un contexto técnico, con frecuencia se hace más énfasis en las consecuencias, en términos de pérdidas posibles relativas a cierta causa, lugar y momento en particular (UNISDR, 2007). El SENAPRED lo define como “la probabilidad de ocurrencia de muerte, lesiones y daños ambientales, sociales y económicos, en un territorio expuesto a amenazas de origen natural o antrópicas, durante un tiempo determinado. El riesgo de desastre es consecuencia de la interacción entre los factores de

amenaza, vulnerabilidad y exposición” (Gobierno de Chile, 2023).

El riesgo ( $R$ ) se puede calcular con la siguiente fórmula:

$$Riesgo(R) = \sum P_i \times E \times V_i$$

Donde  $R$  corresponde al riesgo anual;  $P_i$  es la probabilidad de ocurrencia;  $E$  es la exposición y  $V_i$  la vulnerabilidad (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

**Riesgo climático** 🌍 • En el marco de la evaluación de los impactos del clima, el término riesgo suele utilizarse para hacer referencia al potencial de consecuencias adversas de un peligro relacionado con el clima, o de las respuestas de adaptación o mitigación a dicho peligro, en la vida, los medios de subsistencia, la salud y el bienestar, los ecosistemas y las especies, los bienes económicos, sociales y culturales, los servicios (incluidos los servicios ecosistémicos), y la infraestructura. Los riesgos climáticos se derivan de la interacción de la vulnerabilidad (del sistema afectado), la exposición al peligro a lo largo del tiempo y la amenaza climática y la probabilidad de que ocurra (IPCC, 2014).

**Riesgo de desastres** ☠️ • Se refiere a las posibles pérdidas que ocasionaría un desastre en términos de vidas, las condiciones de salud, los medios de sustento, los bienes y los servicios, y que podrían ocurrir en una comunidad o sociedad particular en un período específico de tiempo en el futuro

(UNISDR, 2007). La definición del riesgo de desastres refleja el concepto de desastres como resultado de diversas condiciones del riesgo que están presentes de forma continua. El riesgo de desastres abarca diferentes tipos de pérdidas posibles que con frecuencia son difíciles de cuantificar. No obstante, con el conocimiento sobre las amenazas imperantes y los patrones de la población y del desarrollo socioeconómico, se pueden evaluar y desarrollar mapas del riesgo de desastres, al menos en términos generales (UNISDR, 2007).

**Roca** 🪨 • Son el material más común y abundante del planeta Tierra. Están compuestas por minerales observables a simple vista o a través de un microscopio. Existen diferentes tipos de rocas dependiendo de su mineralogía y ambiente de formación. La principal clasificación las divide en (Tarbuck y Lutgens, 2014):

- **Rocas ígneas.** Formadas a partir de un magma (intrusivas) o una lava (extrusivas).
- **Rocas sedimentarias.** Formadas a partir de la compactación de sedimentos. Según su formación se clasifican en clásticas o detríticas, químicas y orgánicas.
- **Rocas metamórficas.** Se forman cuando cualquier tipo de roca es sometida a condiciones de alta presión y/o temperatura.



## S

**Salar** 🌊 • En el caso de Argentina, Bolivia y Chile, es el nombre asignado a un conjunto de sedimentos de naturaleza evaporítica-detritica, salmueras y aguas salinas, cuya génesis se ha dado en cuencas endorreicas (Garcés y col., 1996). Cabe destacar que los salares además son las zonas topográficamente más bajas y es donde ocurre evapotranspiración y evapoconcentración de agua.

**Salinidad** 🌊 • Corresponde al contenido de sal disuelta en el agua (Tapia, 2023, y referencias ahí citadas).

**Salmuera** 🌊 • En general se consideran salmueras las soluciones con SDT  $> 100.000 \text{ mg/L}$  (Tabla 1). Sin embargo, en la zona conocida como el **triángulo del litio** (Li) (Figura 8) las salmueras pueden contener 7 veces más SDT ( $> 300.000 \text{ mg/L}$ ) que el agua de mar (SQM, 2024). Las salmueras de esta zona además de ser consideradas menas de Li, también contienen concentraciones significativas de magnesio (Mg), boro (B) y potasio (K). En particular, las salmueras del Salar de Atacama (Figura 8) son las que contienen las mayores concentraciones de Li en este tipo de material geológico, llegando a  $5.000 \text{ mg/L}$  (Marazuela y col., 2019). Adicionalmente, la mayoría de las salmueras de este sector contienen arsénico (As), un elemento considerado tó-

xico para la mayoría de los seres vivos (Tapia, 2023, y referencias ahí citadas).

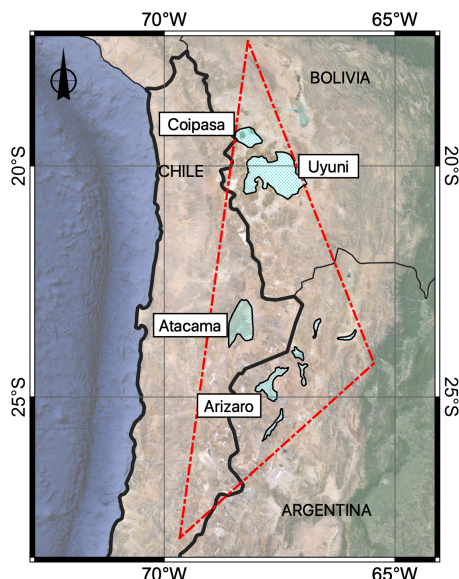





Figura 8: Ubicación del triángulo del litio (Li) y algunos salares importantes que se presentan en esta zona.

**Sedimento** 🏠 • Los sedimentos corresponden a materiales sólidos generalmente dinámicos y activos, que son erosionados y posteriormente transportados y depositados en un lugar distinto. Los sedimentos pueden estar conformados por rocas, minerales, así como también restos de animales y


plantas. Pueden ser de tamaño muy fino (limo-arcilla,  $<63 \mu m$ ) o muy grueso (bloques,  $>63 mm$ ), se generan por efectos mayormente físicos y asociados a la dinámica de transporte de partículas. Se pueden generar por acción del agua, viento o gravedad. Ejemplos de sedimentos son: las dunas eólicas, depósitos de piedemonte o los sedimentos de río (PGS, 2015, y referencias ahí citadas).

**Sensibilidad**  • Propensión o tendencia de una zona a ser afectada físicamente por un peligro (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002). Según lo definido por Gallopín (2003), dependiendo del grado de la perturbación y/o el grado de las modificaciones, se observará la sensibilidad del sistema.

**Sensibilidad al cambio climático**  • Es determinada por todos los factores no climáticos que afectan directamente las consecuencias de un evento climático. Lo anterior incluye atributos físicos (p. ej., el material de construcción de las viviendas), el tipo de suelo (p. ej., agrícola, residencial, industrial u otros), y sociales, económicos y culturales (p. ej., la estructura demográfica del sistema) (IPCC, 2014).

**Servicio ecosistémico**  • Se relaciona a la idea de capital natural. Sin embargo, los servicios ecosistémicos son los beneficios significativos que fluyen hacia la sociedad a partir de ese capital natural. La ecóloga Gretchen Daily lo definió como “las condiciones

y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales y las especies que los componen, sustentan y satisfacen la vida humana”. Sin embargo, la mayoría de los enfoques sobre servicios ecosistémicos han estado centrados en la biología, a pesar de la definición más amplia de un ecosistema que según Tansley incluye las partes no vivas del entorno. Existen diferentes métodos de clasificación de los servicios ecosistémicos, como la *Clasificación Internacional Común de Servicios Ecosistémicos* (CICES) y *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB). Estos métodos a menudo excluyen servicios abióticos, como los recursos geológicos, lo que crea cierta confusión y contradicción en comparación con la promoción del capital natural geológico. En resumen, los servicios ecosistémicos son los beneficios que la sociedad obtiene de los ecosistemas naturales, pero su enfoque a menudo se limita a aspectos biológicos, excluyendo a veces componentes abióticos como los recursos geológicos (Gray, 2019).

**Servicio geosistémico**  • Se refieren a bienes y beneficios derivados de la diversidad geológica del planeta. Estos servicios abarcan una variedad de aspectos, todos fundamentados en la geodiversidad. La clasificación se basa en el método de la *Evaluación del Milenio de los Ecosistemas* (EME), modificado para incluir específicamente servi-

cios de conocimiento relacionados con la importancia de la geología en la evolución del planeta y sus sistemas vivos (Gray, 2019).

**Severidad** ☠️ • También se le puede denominar **intensidad**, y se define como el conjunto de características de un peligro natural o tecnológico con incidencia en su capacidad de producir daño. Se ha propuesto que sería más preciso utilizar intensidad para los aspectos cuantificables (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

**Sólidos Disueltos Totales** 🌊 • 0 SDT, se refieren a cualquier mineral, sal, metal, en forma de moléculas, átomos, cationes o aniones disueltos en el agua. Esto ocurre como resultado de las interacciones químicas y bioquímicas entre el agua y los materiales geológicos por los que circula, y en menor medida por contribuciones de la atmósfera y cuerpos de agua superficiales. Los SDT corresponden a las sales inorgánicas (principalmente calcio, magnesio, potasio, sodio, bicarbonatos, cloruros y sulfatos) y pequeñas cantidades de materia orgánica que se disuelven en el agua. La concentración de SDT es la suma de todas las sustancias filtrables presentes en el agua y varía en órdenes de magnitud. Para poner los rangos de concentración en perspectiva, las aguas que contienen más de 2.000  $mg/L$  de SDT generalmente son muy salinas para consumo humano, mientras que el agua de mar tiene aproxi-

madamente 35.000  $mg/L$  de SDT (Tapia, 2023; Freeze y Cherry, 1979, y referencias ahí citadas). Más detalles de los distintos tipos de agua en función de sus SDT se pueden observar en la Tabla 1.


Tabla 1: Diversos tipos de agua en relación al contenido de SDT. Fuente: Freeze y Cherry (1979, página 84).

Categoría	SDT (mg/L)
Agua fresca	0 - 1.000
Agua salobre	1.000 - 10.000
Agua salina	10.000 - 100.000
Salmuera	>100.000

**Sondaje** ⚡️ • Perforación realizada en las exploraciones geológicas cuyo objetivo es recuperar muestras de roca que se encuentran en profundidad. Las rocas recuperadas pueden ser en forma cilíndrica (sondaje de diamantina) o fragmentada (sondaje de aire reverso). Estos testigos de la roca profunda normalmente se analizan mineralógicamente y químicamente para identificar potenciales ocurrencias minerales (Duarte, 1993; Tapia, 2015).

**Sostenibilidad** ♻️ • Concepto que involucra la conservación de los medios económicos por sobre la perduración en el tiempo de los sistemas productivos. Se diferencia de la sustentabilidad, ya que ésta plantea un mantenimiento y sostenimiento productivo autónomo. Una sociedad sostenible es aquella que es capaz de satisfacer sus necesidades

sin disminuir las oportunidades de las generaciones futuras (Fraume, 2007).

**Suelo**  • Se define como la delgada capa que recubre parte de la corteza terrestre. Es resultado de la degradación por efectos físicos, químicos y biológicos, de la roca que lo origina. El suelo está compuesto por minerales, fragmentos de roca, materia orgánica, microorganismos, plantas, aire, agua, entre otros. Estos materiales interactúan

alcanzando una especie de **equilibrio dinámico**, el que genera diferentes horizontes en profundidad (Figura 9).

No toda superficie degradada corresponde necesariamente a un suelo. La superficie de la corteza terrestre puede estar cubierta por suelo, sedimento, agua, residuos antropogénicos o simplemente por aire. En este último caso es la roca fresca la que se encuentra expuesta (PGS, 2015).

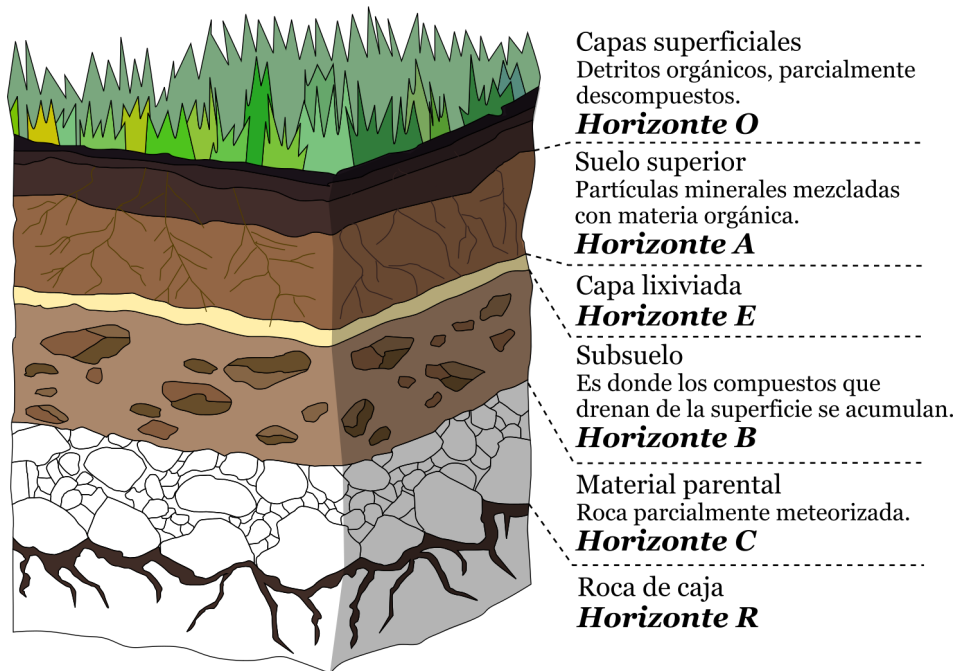





Figura 9: Perfil de suelo mostrando los distintos horizontes que habitualmente se encuentran en suelos bien desarrollados.

**Sustentabilidad**  • Es la capacidad de una sociedad humana de apoyar a través de su medio ambiente el mejoramiento continuo de la calidad de vida de sus miembros para el largo plazo. La sustentabilidad de una sociedad es

función del manejo que ésta haga de sus recursos naturales y siempre puede mejorarse. Este concepto, además implica el uso de los recursos considerando la renovación continua de los mismos (Fraume, 2007).

## T

**Terremoto**  • O **sismos**, son procesos mediante los cuales se libera de manera súbita, una gran cantidad de energía que viaja a través de ondas sísmicas. Dicha energía se mide cuantitativamente a través de la *Escala de Richter*, que aumenta exponencialmente. El impacto que puede generar un sismo va a depender de diversos factores (p. ej., el tipo de suelo, la profundidad y distancia de la zona de ruptura de las placas, o la materialidad de las construcciones). El impacto se clasifica según la *Escala de de Mercalli*, basada en la observación de los efectos (ONEMI, 2013). A pesar que sismo y terremoto son sinónimos, en el lenguaje coloquial se utiliza terremoto cuando el sismo ha causado víctimas y/o daños severos.

**Tsunami**  • Los tsunamis son pulsos originados por:

- Grandes sismos que ocurren cerca o bajo el océano.
- Erupciones volcánicas.
- Deslizamientos submarinos.
- Deslizamientos continentales en los que grandes volúmenes de de-

tritos se desplazan al océano.

Los pulsos de los tsunamis no son las típicas olas marinas generadas por el viento y las tormentas. Consisten de múltiples frentes de onda que llegan a la costa como una marea en rápido crecimiento. Cuando se aproximan a la costa, se comportan como una marea que se mueve velozmente y que se extiende hacia el interior del continente en mayor medida que las olas normales. Si una distorsión causante de tsunami ocurre cerca de la línea de costa, el tsunami resultante podría alcanzar a las comunidades costeras en cuestión de minutos (USGS, 2020). Como en muchos fenómenos naturales, los tsunamis pueden variar en tamaño desde micro-tsunamis, que sólo se pueden detectar en el fondo marino a través de equipamiento especializado, hasta mega-tsunamis, que pueden afectar la línea de costa de océanos completos, como ocurrió con el terremoto de Sumatra del 26 de diciembre del 2004 y que causó un enorme tsunami en países colindantes con el Océano Índico (USGS, 2020).

## U

**Umbral del riesgo** ☠️ • Es una medida física a partir de la cual un proceso es considerado como peligroso. La superación de ese umbral por cualquier proceso natural o antrópico implica que la probabilidad de daño a las personas, infraestructura y medio ambiente es cercana al 100 % (González y col., 2022).

**UNESCO** ♻️ • La UNESCO es la *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, las Ciencias y la Cultura*. Se fundó después de la Segunda Guerra Mundial (1939 a 1945) con el objetivo de establecer la “solidaridad intelectual y moral de la humanidad” y evitar así el estallido de otra guerra mundial (UNESCO, 2024).

## V

**Vulnerabilidad** ☠️ • El artículo 2 de la Ley 21.364 define la vulnerabilidad como “aquellas condiciones determinadas por factores o procesos físicos, sociales, institucionales, económicos o ambientales que aumentan la susceptibilidad de una persona, una comunidad, los bienes, infraestructuras o servicios, a los efectos de las amenazas”

(Gobierno de Chile, 2021a).

**Vulnerabilidad al cambio climático** 🌍


• Es la propensión o predisposición a verse afectado negativamente por efectos del cambio climático. La vulnerabilidad se compone de la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad para responder y adaptarse (IPCC, 2014).

## Y

**Yacimiento mineral** ⚒️ • Es un depósito mineral que ha sido examinado y ha probado tener suficiente tamaño, ley (porcentaje de mena) y accesibilidad, como para ser puesto en producción y ser rentable (producir ganancia económica). La rentabilidad de un yacimiento

depende de sus características intrínsecas (p. ej., tonelaje y ley). Sin embargo, otras condiciones ajenas al cuerpo mineralizado (p. ej., tasas de impuestos o precio de los metales) también pueden afectar su rentabilidad (Maksaev, 2001).

## Z

**Zona de sacrificio ambiental**  • **O zonas de exclusión.** Se cree que este término apareció por primera vez en la URSS durante la Guerra Fría, como resultado del decaimiento radioactivo (Roake, 2010). En occidente se comenzó a usar en los años 70s en relación a la minería de carbón. Una zona de sacrificio se define como un área geográfica permanentemente afectada por daño ambiental o falta de inversión económica. Estas zonas se encuentran comúnmente en comunidades de bajo ingreso y de minorías. En el caso particular de Chile, este término ha sido utilizado para referirse a múltiples áreas deterioradas desde el punto de vista económico, social y ambiental (INDH, 2017). Debido a las problemáticas ambientales y de salud producidas en estas ciudades de Chile, el año 2014 se creó la *Unión de Comunas en Zonas de Sacrificio* conformada por las comunas de Huasco, Tocopilla, Puchuncaví, Quinteros y Coronel (Figura 10). Esta agrupación define una zona de sacrificio como “aquellos territorios de asentamientos humanos devastados ambientalmente por causa del desarrollo industrial. Esta devastación tiene implicancias directas en el ejercicio pleno de los derechos fundamentales de las personas; derecho a la vida, a la salud, a la educación, al trabajo, a la alimentación, a la vivienda, entre otros. En estos territorios

el daño ambiental ha significado la situación de vulnerabilidad y empobrecimiento de las comunidades”, afirmando que en estas zonas se ha potenciado el desarrollo industrial, sin ningún tipo de resguardo ambiental (Fundación Terram, 2014). De acuerdo con diversas ONG, estos lugares concentran una gran cantidad de industrias contaminantes, afectando siempre a las comunidades más pobres o vulnerables. Según Infante (2016), en Chile estas ciudades son zonas costeras muy industrializadas saturadas de plantas termoeléctricas a carbón, fundiciones, plantas de celulosa y otras industrias. Las emisiones de estas actividades históricamente han contaminado los territorios y dañado la salud de las comunidades aledañas, las que han convivido con la liberación de gases tóxicos, material particulado y de metales potencialmente contaminantes durante décadas. Algunos efectos en la salud de la población que habita en estas zonas se han documentado, ejemplo de ello es el mayor riesgo de presentar fallas en la función del gen encargado de suprimir tumores en algunos pobladores de las comunas entre Quintero y Puchuncaví, o que las causas de muerte y de hospitalización se han relacionado con la contaminación ambiental en toda la Región de Antofagasta, pero particularmente en Tocopilla (Gobierno de Chile, 2022, y las referencias ahí citadas).

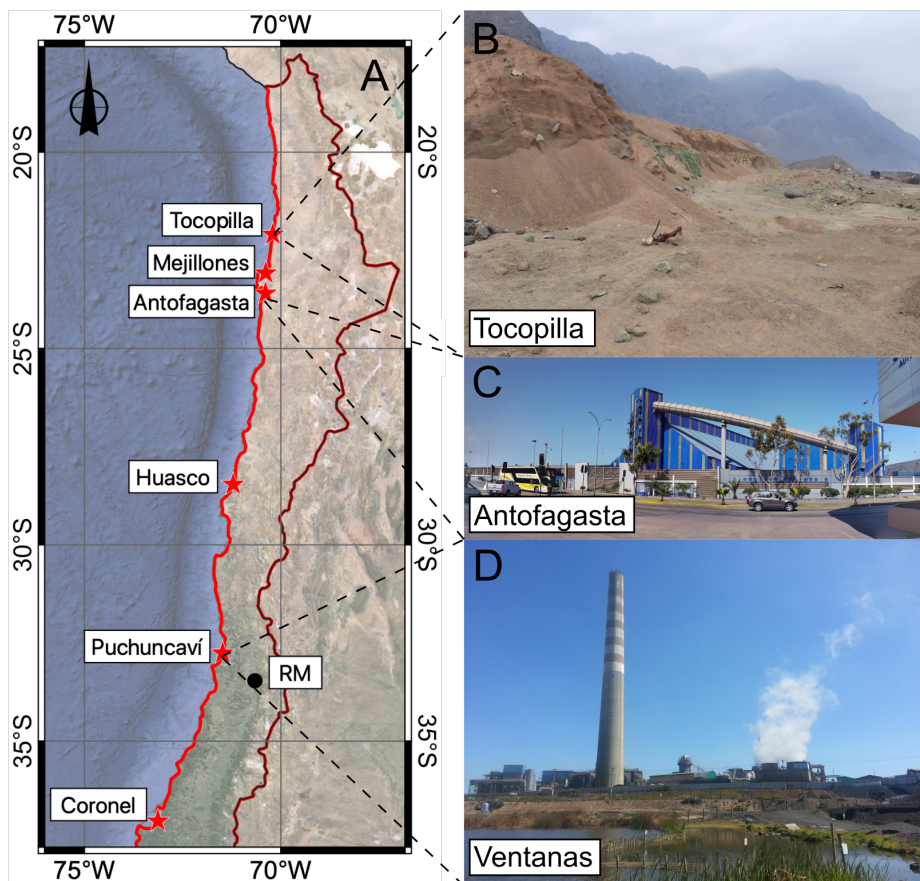


Figura 10: Zonas de sacrificio. A. Mapa de Chile indicando la ubicación de distintas zonas de Sacrificio Ambiental. RM: Región Metropolitana. B. Zona de relaves en el límite este de la ciudad de Tocopilla. C. Galpón de acopios de concentrado de cobre del Puerto de Antofagasta. D. Chimenea de Ventanas en Quintero – Puchuncaví.



## Índice alfabético

- acuifero, 1, 14, 16–18, 26, 34  
agua, i, 1, 3, 7, 9, 12–16, 18–21,  
24–28, 30, 32, 35–38,  
40–43  
agua subterránea, 1, 7, 13, 14, 20,  
21, 26, 27  
albedo, 1  
alerta, 1, 2  
alerta temprana, 1  
aluvión, 3, 33  
ambiente, iv, 3, 9, 12, 14, 15, 20,  
21, 23, 24, 28–30, 32, 38,  
39  
amenaza, 3, 18, 20, 25, 32, 33, 38,  
39, 45  
Antropoceno, 4  
antropogénico, 1, 11, 20, 23, 30,  
43  
antrópico, 3, 4, 6, 17, 18, 38, 45  
atmósfera, iv, 4, 5, 10, 11, 13,  
19–21, 24, 27, 29, 34, 42  
background geoquímico, 6, 7, 15,  
20, 30  
balance de masa glaciar, 6  
balance hídrico, 7, 8, 16  
basamento, 9  
biodisponibilidad, 9  
biodiversidad, 10, 23  
biomasa, 10, 37  
biósfera, i, iv, 3, 10, 19, 24, 27  
bofedal, 10  
cambio climático, i, iv, 7, 10, 11,  
20, 41, 45  
capa de ozono, 11  
capital, 11, 12  
capital natural, 12, 41  
catástrofe, 12, 13, 17  
ciclo hidrológico, 13, 27  
clima, i, 1, 4, 10, 11, 13, 18, 21, 27,  
37, 39  
combustible fósil, i, 13  
conciencia ambiental, 12, 14  
cono de depresión, 14  
conservación, 14, 17, 23, 25, 34,  
42  
contaminación, 2, 13, 15, 29, 30  
contaminante, 9, 15, 46  
criósfera, 15  
cuenca, 7, 26, 27, 40  
cuenca endorreica, 16  
cuenca exorreica, 16  
cuenca hidrográfica, 16  
daño, 3, 4, 12, 16, 25, 33, 38, 42,  
45, 46  
declaración de impacto ambiental,  
16  
depósito mineral, 16, 45  
desarrollo, 3, 14, 17, 19, 24, 25,  
36, 39, 46  
desastre, ii, 2, 3, 12, 17, 20, 25, 26,  
36, 38, 39  
desmonte, 17  
diversidad, 10, 23, 30, 41  
divisoria de aguas, 17  
drenaje ácido, 18  
ecosistema, i, 3, 10, 18, 21, 23, 28,

39, 41  
 efecto invernadero, 21  
 emergencia, ii, 3, 12, 16, 18, 26  
 escorrentía, 13, 18  
 esferas, 19, 36  
 estudio de impacto ambiental, 19  
 estéril, 6, 18, 19  
 evaporación, 7, 13, 19  
 evapotranspiración, 7, 13, 16, 19,  
 40  
 exposición, 17–20, 39  
 exógeno, 36

factor de enriquecimiento, 20  
 físico-químico, 9, 35

ganga, 21  
 gas, 4, 5, 14, 21, 22, 29, 32, 34, 46  
 geoacumulación, 30  
 geociencias, 22  
 geodiversidad, 15, 23–25, 41  
 geofísica, 7, 23  
 geología, ii, iv, 6, 7, 12, 21, 23–26,  
 42  
 geología ambiental, ii, 23  
 geología de exploraciones, 24  
 geoparque, 24  
 geopatrimonio, iv, 25  
 geoquímica, 6, 9, 25, 30  
 geoquímica ambiental, iv  
 geositio, 15, 24, 25  
 geoturismo, 25  
 geósfera, 24  
 glaciar, iv, 1, 6, 15, 16

hidrogeología, iv, 14, 26, 27, 35, 36  
 hidrología, iv, 21, 26, 34  
 hidrósfera, 4, 10, 19, 24, 27

Holoceno, 27  
 humedal, 10, 27, 28  
 hídrico, 7, 37

impacto ambiental, 16, 19, 24, 29,  
 30

lava, 30, 39  
 Ley 19.300, 16, 19  
 Ley 21.364, 17, 32, 45  
 litósfera, iv, 4, 10, 19, 31

magma, 30, 32, 39  
 magnetósfera, 19  
 mapa de amenazas, 32  
 medio ambiente, i, 3, 4, 15–19, 28,  
 29, 33, 34, 44, 45  
 mena, 6, 21, 32, 33, 40, 45  
 metal, 9, 30, 32, 45, 46  
 metalurgia, 32  
 meteorización, 18, 36  
 mina, 33  
 mineral, 12, 17–19, 21, 23, 25,  
 32–34, 38–40, 42, 43  
 mineralización, 14, 19, 33, 45  
 mitigación, 29, 33, 36, 39

nivel freático, 14, 19, 34  
 norma, 6, 34

ocurrencia mineral, 17, 34  
 ozono, i, 4, 11, 21, 34

peligro, iv, 4, 15, 19, 24, 29, 33, 36,  
 39, 41, 42, 45  
 permeabilidad, 14, 21, 35  
 perturbación, 2, 11, 35, 41  
 pH, 9, 18, 35  
 polución, 15, 21

- porosidad, 26, 36  
prevención, ii, 2, 36  
previsibilidad, 36
- recurso hídrico, 7, 37  
recurso renovable, 12, 29, 37, 38  
registro geológico, 38  
relave, 38  
resiliencia, 11, 33, 38  
riesgo, ii, iv, 2, 3, 9, 15, 17, 20, 23,  
25–27, 32–34, 36, 38, 39,  
45  
roca, 9, 19–21, 23–25, 30, 32, 33,  
35–40, 42, 43
- salar, 16, 40  
salinidad, 40  
salmuera, 25, 40, 42  
sedimento, 20, 25, 30, 35–37,  
39–41, 43  
sensibilidad, 41, 45  
servicio ecosistémico, 39, 41  
servicio geosistémico, 41  
severidad, 2, 3, 42  
siderurgia, 32
- sondaje, 42  
sostenibilidad, 42  
sostenible, 12, 24, 25, 36, 42  
suelo, 3, 7, 9, 12, 13, 15, 19, 20, 23,  
25, 29, 30, 37, 38, 41, 43  
sustentabilidad, 42, 44  
sólidos disueltos totales, 42
- terremoto, 2, 3, 24, 44  
Tierra, i, 1, 3, 4, 10, 11, 14, 19,  
21–25, 27, 28, 30–32, 34,  
36–39  
tropósfera, 4, 5, 22  
tsunami, 2, 24, 44
- volcanismo, 24  
volcán, 30  
volcánico, 2, 3, 11, 13, 21, 22, 31,  
44  
vulnerabilidad, 17, 18, 20, 23, 32,  
39, 45, 46
- yacimiento mineral, 18, 33, 38, 45  
zona de sacrificio ambiental, 46

## Referencias

- Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana (2012). *La Biósfera*. Inf. téc., págs. 61-66. url: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53559383008>.
- Albanese, S. y col. (2007). "Geochemical background and baseline values of toxic elements in stream sediments of Campania region (Italy)". En: *Journal of Geochemical Exploration* 93.1, págs. 21-34. issn: 0375-6742. doi: [10.1016/j.gexplo.2006.07.006](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2006.07.006).
- Alley, W.M., T. Reilly y O.L. Franke (1999). *Sustainability of Ground-Water Resources (Circular 1186)*. Inf. téc. USGS. url: <https://doi.org/10.3133/cir1186>.
- Aparicio, F. (1992). *Capítulo 1.3. Fundamentos de hidrología de superficie*. url: [http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/Fundamentos\\_de\\_hidrologia\\_de\\_superficie\\_-\\_Aparicio.pdf](http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/adamoreno/HIDRO/Fundamentos_de_hidrologia_de_superficie_-_Aparicio.pdf).
- Atienza, M. (2012). *El sentido del Derecho*. url: [https://www.academia.edu/7259130/MANUEL\\_ATIENZA\\_EL\\_SENTIDO\\_DEL\\_DERECHO](https://www.academia.edu/7259130/MANUEL_ATIENZA_EL_SENTIDO_DEL_DERECHO).
- Audry, S. y col. (2004). "Fifty-year sedimentary record of heavy metal pollution (Cd, Zn, Cu, Pb) in the Lot River reservoirs (France)". En: *Environmental Pollution* 132.3, págs. 413-426. issn: 0269-7491. doi: [10.1016/j.envpol.2004.05.025](https://doi.org/10.1016/j.envpol.2004.05.025).
- Benado, M. y col. (2020). "Geositios de la región de Aysén (Chile): resumen de la historia geológica regional, propuesta de contextos geológicos temáticos e inventario". En: *Revista de Aysenología* 8, págs. 4-19. url: [https://www.aysenologia.cl/\\_files/ugd/373948\\_33760ce9d354467b8757c34b5423dd92.pdf?index=true](https://www.aysenologia.cl/_files/ugd/373948_33760ce9d354467b8757c34b5423dd92.pdf?index=true).
- Brilha, J. (2005). *Património Geológico e Geoconservação. A conservação da natureza na sua vertente geológica*. Palimage Editores. url: [http://www.dct.uminho.pt/docentes/pdfs/jb\\_livro.pdf](http://www.dct.uminho.pt/docentes/pdfs/jb_livro.pdf).
- Brilha, J. (2016). "Inventory and quantitative assessment of geosites and geodiversity sites: a review". En: *Journal of Geoheritage* 8.2, págs. 119-134. doi: <https://doi.org/10.1007/s12371-014-0139-3>.
- Carcavilla, L. y R. de la Cova (2009). "La geoconservación en Castilla-La Mancha. Estado actual y perspectivas de futuro". En: *Cuaternario y geomorfología: Revista de la Sociedad Española de Geomorfología y Asociación Española para el Estudio del Cuaternario* 23.3, págs. 11-26. url: [http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol23\\_3\\_4/Cuater%2023\(3-4\)\\_01Carcavilla.pdf](http://tierra.rediris.es/CuaternarioyGeomorfologia/images/vol23_3_4/Cuater%2023(3-4)_01Carcavilla.pdf).
- Centro del Cambio Global PUC (2024). *Atmósfera*. url: <https://>

- [cambioglobal . uc . cl / recursos / glosario/](#) (visitado 18-03-2024).
- Chapman (2007). "Determining when contamination is pollution — Weight of evidence determinations for sediments and effluents". En: *Environmental International* 33.4, págs. 492-501. doi: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.09.001>.
- COP25 (2019). *Criósfera y cambio climático: 50 preguntas y respuestas*, Santiago, Chile. Comité Científico COP25 Chile, Gobierno de Chile. 520 págs. url: <https://www.divulgameteo.es/archivos/articulos/lecturas/Criosfera-CC.pdf>.
- CR2 (2023). *A 32 años del aluvión de 1991 en Antofagasta expertos recalcan la urgencia de un sistema de alerta temprana (El Diario de Santiago)*. url: <https://www.cr2.cl/a-32-anos-del-aluvion-de-1991-en-antofagasta-expertos-recalcan-la-urgencia-de-un-sistema-de-alerta-temprana-el-diario-de-santiago/>.
- Crutzen, P. (2002). "Geology of mankind". En: *Nature* 415.6867, págs. 23-23. doi: <https://doi.org/10.1038/415023a>.
- Cuffey, K.W. y S.B. Paterson (2010). *The Physics of Glaciers, 4th Edition*. Elsevier Academic Press. 704 págs.
- Custodio, E. y M. Llamas (1996). *Hidrología Subterránea*. Ediciones Omega S.A. 1224 págs.
- Cutter, S.L. y col. (2008). "A place-based model for understanding community resilience to natural disasters". En: *Global Environmental Change* 18.4, págs. 598-606. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>.
- Dahanayake, K. (2006). "Science at the solstice: A day in the life of a scientific planet, Abstract on Tsunami sediments". En: *Nature* 441, págs. 1040-1045. doi: <https://doi.org/10.1038/4411040a>.
- Dahanayake, K. y N. Kulasena (2008). "Geological evidence for paleotsunamis in Sri Lanka". En: *Science of Tsunami Hazards* 27.2. url: <http://tsunamisociety.org/272Dahanayake.pdf>.
- Darnley, A.G. y col. (1995). *A global geochemical database for environmental and resource management*. UNESCO. France. 99 págs. isbn: 92-3-103085-X. url: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000101010>.
- De Lucas, A. y L. Herguedas (2012). *Biomasa, Biocombustibles y Sostenibilidad. Bloque I. Materias Primas*. Inf. téc. Centro Tecnológico Agrario y Agroalimentario, España, págs. 4-65. url: [http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa % 2C % 20Biocombustibles % 20y % 20Sostenibilidad.pdf](http://sostenible.palencia.uva.es/system/files/publicaciones/Biomasa%20%20Biocombustibles%20y%20Sostenibilidad.pdf).
- DGA (1987). *Balance Hídrico de Chile*. Ministerio de Obras Públicas. 348 págs. url: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/items/>

- 73ea869f - 7cc8 - 478d - 9054 - 4bf2b290d910.
- DGA (2017). *Actualización del Balance Hídrico Nacional, Informe Final, S.I.T. N° 417*. Universidad de Chile & Pontificia Universidad Católica de Chile, Ministerio de Obras Públicas, Dirección General de Aguas, División de Estudios y Planificación. 348 págs. url: <https://snia.mop.gob.cl/repositoriodga/handle/20.500.13000/6961>.
- Dowling, R.K. (2011). "Geotourism's Global Growth". En: *Geoheritage* 3, págs. 1-13. doi: <https://doi.org/10.1007/s12371-010-0024-7>.
- Duarte, R. (1993). *Glosario minero. Colección de términos técnicos y vocablos propios de los trabajadores que laboran en la Mina El Teniente*. url: <https://www.memoriachilena.gob.cl/archivos2/pdfs/MC0047730.pdf>.
- Farnsworth, K.D., O. Lyashevskaya y T. Fung (2012). "Functional complexity: the source of value in biodiversity". En: *Ecol. Complex.* 11, págs. 46-52. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2012.02.001>.
- Fraume, N.J. (2007). *Diccionario Ambiental*. Ecoe Ediciones. 465 págs. url: <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1232/1/Fraume-Diccionario%20ambiental.pdf>.
- Freeze, R. A. y J. A. Cherry (1979). *Groundwater*. Prentice Hall. 604 págs.
- Fuentealba, B. (2019). *Bofedales: características y su importancia frente al cambio climático*. url: <https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2019/03/Bofedales-caracter%20ADsticicas-y-su-importancia-frente-al-cambio-clim%C3%A1tico.pdf>.
- Fundación Terram (2014). *Unión de Comunas de Zonas de Sacrificio: Pliego de peticiones (29 y 30 de mayo de 2014) – Carbón – Fundación Terram*. Fundación Terram. url: <https://www.terram.cl/carbon/wp-content/uploads/sites/2/2015/10/PLIEGO-PETICIONES.pdf> (visitado 08-05-2020).
- Gallopín, G.C. (2006). "Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity". En: *Global Environmental Change* 16.3, págs. 293-303. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>.
- Gallopín, G.C. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. Inf. téc. 64. CEPAL. url: <https://emapspublic.ihmc.us/rid=1L16P93FL-F37B29-1JZ/lcl1864p.pdf>.
- Gałuszka, A., Z. M. Migaszewski y J. Zalasiewicz (2014). "Assessing the Anthropocene with geochemical methods". En: *Geological Society, London, Special Publications* 395.1. Publisher: Geological Society of London Section: Geochemical signatures and catastrophic events,

- págs. 221-238. doi: [10.1144/SP395.5](https://doi.org/10.1144/SP395.5).
- Garcés, I. y col. (1996). "Características geoquímicas generales del sistema salino del Salar de Llamara (Chile)". En: *Estudios Geológicos* 52.1-2, págs. 23-35. doi: <https://doi.org/10.3989/egeol.96521-2251>.
- Garrett, R. (1991). "Paper 9. The management, analysis and display of exploration geochemical data". En: *Exploration Geochemistry Workshop*. Geological Survey of Canada. Open file 2390, págs. 1-41. url: [https://geochem.nrcan.gc.ca/cdogs/content/pub/pub00225\\_e.htm](https://geochem.nrcan.gc.ca/cdogs/content/pub/pub00225_e.htm).
- Gaspari, F., G. Senisterra y R. Marlats (2007). "Relación precipitación - escorrentía y número de curva bajo diferentes condiciones de uso del suelo. Cuenca modal del sistema serrano de La Ventana, Argentina". En: *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias* XXXIX.1, págs. 21-28. url: <https://www.redalyc.org/pdf/3828/382837653003.pdf>.
- Gobierno de Chile (1994). *Ley 19.300: Sobre Bases Generales del Medio Ambiente*. url: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=30667>.
- Gobierno de Chile (2017a). *Aprueba reglamento que regula la entrega de información de carácter general obtenida de los trabajos de exploración geológica básica*. url: <https://www.sernageomin.cl/gobiernotransparente/marconormativo/96306.DTO-104.25-MAY-2017.pdf>.
- Gobierno de Chile (2017b). *Humedales: Definiciones, Funciones y Amenazas*. url: <https://biblioteca.cehum.org/bitstream/123456789/935/1/BCN.%20Humedales%20Definiciones%2C%20Funciones%20y%20amenazas.pdf>.
- Gobierno de Chile (2020). *Ley 18.415: Ley orgánica constitucional de los estados de excepción*. url: <https://bcn.cl/2rsu9>.
- Gobierno de Chile (2021a). *Ley 21.364: Establece el Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, sustituye la Oficina Nacional de Emergencia por el Servicio Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres, y adecúa normas que indica*. url: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1163423>.
- Gobierno de Chile (2021b). *Recursos hídricos: principios para una gestión integral, regulación e institucionalidad en Chile, y referencia a las aguas transfronterizas y el caso del Silala*. url: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32548/1/N\\_15\\_21\\_Recursos\\_hidricos\\_Principios\\_y\\_gestion\\_integral.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/32548/1/N_15_21_Recursos_hidricos_Principios_y_gestion_integral.pdf).
- Gobierno de Chile (2022). *Zonas de sacrificio en Chile: Quintero-Puchuncaví, Coronel, Mejillones, Tocopilla y Huasco. Componente industrial y salud de la población*.

- url: [https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33401/1/BCN\\_Zonas\\_de\\_sacrificio\\_en\\_Chile\\_2022\\_FINAL.pdf](https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/33401/1/BCN_Zonas_de_sacrificio_en_Chile_2022_FINAL.pdf).
- Gobierno de Chile (2023). *Sistema Nacional de Prevención y Respuesta ante Desastres (SENAPRED)*. url: <https://www.bcn.cl/portal/leyfacil/recurso/sistema-nacional-de-prevencion-y-respuesta-ante-desastres>.
- Gómez, Fernando Javier (2007). *La Tierra primitiva y su transformación en un planeta amigable: evidencias del registro geológico (rocas y minerales)*. Agencia Córdoba Ciencia.
- González, G. y col. (2022). *Guía Metodológica para la Caracterización de la Multiamenaza de la Cuenca del Río Maipo*. Inf. téc. Proyecto FONDEF 19i10021. url: <https://biblioserver.sernageomin.cl/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=320786>.
- Gray, M. (2019). "Geodiversity, geoheritage and geoconservation for society". En: *International Journal of Geoheritage and Parks* 7.4, págs. 226-236. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijgeop.2019.11.001>.
- Hauser, Arturo (1997). *Los aluviones del 18 de Junio de 1991 en Antofagasta: un análisis crítico, a 5 años del desastre*. Santiago: SERNAGEOMIN.
- Hawkes, H y J. Webb (1962). *Geochemistry in Mineral Exploration*. Harper's Geoscience Series. Harper & Row. 415 págs.
- Herrera, J. (2017). *Introducción a la Minería. Conceptos, tecnologías y procesos*. Inf. téc. Universidad Politécnica de Madrid. url: [https://oa.upm.es/63396/1/INTRODUCCION\\_MINERIA-Edicion2\\_LM1B1T2\\_R2-20180110.pdf](https://oa.upm.es/63396/1/INTRODUCCION_MINERIA-Edicion2_LM1B1T2_R2-20180110.pdf).
- IGN (2004). *Atlas Nacional de España*. Instituto Geográfico Nacional.
- INDH (2017). *Conflictos medioambientales INDH*. Mapa de conflictos. Library Catalog: [mapaconFLICTOS.indh.cl](http://mapaconFLICTOS.indh.cl/#/conflicto/12440). url: <https://mapaconFLICTOS.indh.cl/#/conflicto/12440> (visitado 08-05-2020).
- Infante, P. (2016). "(In)justicia ambiental en Chile y principales mecanismos para mitigar la inequidad: planificación territorial y derechos de comunidades vulnerables". En: *Revista de Derecho Ambiental* 6, págs. 143-163. url: <https://revistas.uchile.cl/index.php/RDA/article/view/43319>.
- IPCC (2014). *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II*. Inf. téc. Intergovernmental Panel on Climate Change. url: [https://reliefweb.int/attachments/a347341e-634c-3330-ac23-de803d939ca5/WG2AR5\\_SPM\\_FINAL.pdf](https://reliefweb.int/attachments/a347341e-634c-3330-ac23-de803d939ca5/WG2AR5_SPM_FINAL.pdf).
- IPCC (2019). *Calentamiento global de 1,5 °C*. OMM, PNUMA. 94 págs. url:



- [https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15\\_Summary\\_Volume\\_spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/2/2019/09/SR15_Summary_Volume_spanish.pdf).
- IPCC (2021). *Cambio climático 2021: un resumen para todo el mundo*. Inf. téc. IPCC. url: [https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC\\_AR6\\_WGI\\_SummaryForAll\\_Spanish.pdf](https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/outreach/IPCC_AR6_WGI_SummaryForAll_Spanish.pdf).
- Juhasz, A.L. y R. Naidu (2000). "Bioremediation of high molecular weight polycyclic aromatic hydrocarbons: a review of the microbial degradation of benzo[a]pyrene." En: *Inter. Biodeter. Biodegrad* 45, págs. 57-88. url: [https://doi.org/10.1016/S0964-8305\(00\)00052-4](https://doi.org/10.1016/S0964-8305(00)00052-4).
- Keller, E. (2010). *Environmental Geology*. 9th Edition. Prentice Hall. isbn: 978-0-13-022466-8.
- Leff, E. (1998). *Saber Ambiental: sustentabilidad, racionalidad, complejidad, poder*. Siglo XXI Eds., Colombia.
- Machay-Chi, R. (2014). *Desastres socionaturales. Conceptualización*. url: <http://www.wikiestudiantes.org/desastres-socionaturales-conceptualizacion/>.
- Maksaev, V. (2001). *Depósitos Minerales: Algunas Definiciones Básicas*. Inf. téc. Departamento de Geología, Universidad de Chile. url: <https://www.academia.edu/6822357/Metalogenesis>.
- Marazuela, M.A. y col. (2019). "Hydrodynamics of salt flat basins: The Salar de Atacama example". En: *Science of The Total Environment* 651, págs. 668-683. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.190>.
- McKeever, P., N.C. Zouros y M. Patzak (2010). "The UNESCO global network of national geoparks". En: *Geoparks: Think Outside of the Park*. Ed. por Heidi Bailey y Wesley Hill. Vol. 27. 1. The George Wright Forum, págs. 14-18. url: <https://www.jstor.org/stable/43598130>.
- Mukherjee, A. y col. (2024). "Arsenic and other geogenic contaminants in global groundwater". En: *Nature Reviews Earth & Environment*. doi: <https://doi.org/10.1038/s43017-024-00519-z>.
- Müller, G. (1979). "Schwermetalle in den Sedimenten des Rheins - Veränderungen seit". En: *Umschau* 79, págs. 778-783.
- Naidu, R. y col. (2008). "Bioavailability: definition, assessment and implications for risk assessment". En: *Developments in soil science* 32, págs. 39-51. doi: [https://doi.org/10.1016/S0166-2481\(07\)32003-5](https://doi.org/10.1016/S0166-2481(07)32003-5).
- NASA (2010). *Esferas de la Tierra*. url: <https://myasadata.larc.nasa.gov/lesson-plans/spheres-earth-introduction-making-observations-earth-using-earth-system-science>.
- National Geographic (2018). *Glossary: Earth*. url: <https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/earth/>.

- National Geographic (2023). *Atmósfera terrestre: así funciona el manto vital que permite la vida como la conocemos en la Tierra*. url: <https://www.ngenespanol.com/el-espacio/que-es-la-atmosfera-de-que-se-compone-y-cual-es-su-funcion/>.
- Newman, M.C. y C.H. Jagoe (1992). "Bioavailability: physical, chemical and biological interactions, Session 3, Chapter 1. Ligands and Bioavailability of metals in aquatic environments". En: Lewis Publishers.
- Nordstrom, D.K. y C. Alpers (1999). "Negative pH, efflorescent mineralogy, and consequences for environmental restoration at the Iron Mountain Superfund site, California". En: *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 96.7, págs. 3455-3462. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.96.7.3455>.
- Nowrouzi, M. y A. Pourkhabbaz (2014). "Application of geoaccumulation index and enrichment factor for assessing metal contamination in the sediments of Hara Biosphere Reserve, Iran". En: *Chem Speciat Bioavailab* 26.7, págs. 99-105. doi: <https://doi.org/10.3184/095422914X13951584546986>.
- Olcina, J. y F. Ayala-Carcedo (2002). "Riesgos naturales, conceptos fundamentales y clasificación." En: Editores Ariel España. Cap. Capítulo 1.
- Oliveras, J. y O. Saladié (2018). *Cátedra DOW/URV de Desenvolupament Sostenible (MOUDS)*. url: <https://desenvolupamentsostenible.org/es/recursos-naturals-i-fonts-denergia/1-presentacion>.
- ONEMI (2013). *Recomendaciones "Antes, durante y después" de sismos y terremotos*. url: <https://bibliogr.d.senapred.gob.cl/web/bitstream/handle/2012/1577/ManualSismosONEMI2013v.2.pdf?sequence=5&isAllowed=y>.
- ONU (2009). *Día Internacional de la Madre Tierra. Resolución aprobada por la Asamblea General el 22 de abril de 2009*. url: <https://news.un.org/es/story/2009/04/1162081>.
- Ordoñez, J. (2011). *Cartilla Técnica: ¿Qué es cuenca hidrológica?* Sociedad Geográfica de Lima. url: [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam\\_files/publicaciones/varios/cuenca\\_hidrologica.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-sam_files/publicaciones/varios/cuenca_hidrologica.pdf).
- OVACEN (2016). *Ecosistemas: Qué son, tipos y 101 ejemplos*. url: <https://ecosistemas.ovacen.com/> (visitado 20-01-2024).
- Palacio-Prieto, J.L., E.M. Rosado-González y G.M. Martínez-Miranda (2018). *Geoparques: Guía para la formulación de proyectos*. Inf. téc. Universidad Autónoma de México. url: <https://www2.sgc.gov.co/ComitedeGeoparques/Bibliografia%20sobre%20Geoparques%20Mundiales%20de%20la%20Unesco/Geoparques%20guia%20para%20la%20formulacion%20de%20proyectos%20UNAM.pdf>.

- Pérez de Arce, G. (2019). *Pasivos ambientales mineros en Chile: Lineamientos para priorización y remediación*. url: [https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/11\\_grecia\\_perez\\_caso\\_pams\\_chile.pdf](https://www.cepal.org/sites/default/files/events/files/11_grecia_perez_caso_pams_chile.pdf).
- PGS (2015). *Muestreo de suelos para las comunas de Quintero y Puchuncaví, Región de Valparaíso*.
- Purvis, A. y A. Hector (2000). "Getting the measure of biodiversity". En: *Nature* 405.6783, págs. 212-219. doi: <https://doi.org/10.1038/35012221>.
- Redford, K. y B. Richter (1999). "Conservation of biodiversity in a world of use". En: *Conservation Biology* 13, págs. 1246-1256. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1523-1739.1999.97463.x>.
- Reimann, C., P. Filzmoser y R. Garrett (2005). "Background and threshold: critical comparison of methods of determination". En: *Science of The Total Environment* 346.1, págs. 1-16. issn: 0048-9697. doi: [10.1016/j.scitotenv.2004.11.023](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2004.11.023).
- Reimann, C. y R. Garrett (2005). "Geochemical background—concept and reality". En: *Science of The Total Environment* 350.1, págs. 12-27. issn: 0048-9697. doi: [10.1016/j.scitotenv.2005.01.047](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.01.047).
- Revista Muy Interesante (2016).
- Roake, J. (2010). "Think Globally, Act Locally: Steve Lerner, 'Sacrifice Zones,' at Politics and Prose". En: *Washington Post*. url: <https://www.washingtonpost.com/express/wp/2010/09/23/steve-lerner-book-sacrifice-zones/>.
- Ruiz, E. y Martínez M. (2015a). *Hidrología aplicada. Tema 3. Evaporación y transpiración*. Inf. téc. Universidad del País Vasco. url: [https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/47723/mod\\_resource/content/1/Material\\_Docente/Tema\\_3-DEF.pdf](https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/47723/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_3-DEF.pdf).
- Ruiz, E. y Martínez M. (2015b). *Hidrología aplicada. Tema 5. Escorrentía*. Inf. téc. Universidad del País Vasco. url: [https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/47725/mod\\_resource/content/1/Material\\_Docente/Tema\\_5.pdf](https://ocw.ehu.es/pluginfile.php/47725/mod_resource/content/1/Material_Docente/Tema_5.pdf).
- Sabogal, J. y E. Hurtado (2009). "La historia se repite: una visión del desarrollo y del desarrollo sostenible". En: *Rev. Fac. Cienc. Econ.* 17.1, págs. 195-216. url: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90913041011>.
- Salminen, R. y V. Gregorauskiene (2000). "Considerations regarding the definition of a geochemical baseline of elements in the surficial materials in areas differing in basic geology". En: *Applied Geochemistry* 15.5, págs. 647-653. doi: [10.1016/S0883-2927\(99\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(99)00077-3).
- Salminen, R. y T. Tarvainen (1997). "The problem of defining geochemical baselines. A case study of selected elements and geological materials in Finland". En: *Journal of Geochemical Exploration*. Environmen-

- tal Geochemical Baseline Mapping in Europe 60.1, págs. 91-98. doi: [10.1016/S0375-6742\(97\)00028-9](https://doi.org/10.1016/S0375-6742(97)00028-9).
- Salvarredy-Aranguren, M. y col. (2008). "Contamination of surface waters by mining wastes in the Milluni Valley (Cordillera Real, Bolivia): Mineralogical and hydrological influences". En: *Applied Geochemistry* 23.5, págs. 1299-1324. doi: [10.1016/j.apgeochem.2007.11.019](https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2007.11.019).
- Sánchez, R. (2016). "Desastre socio-natural en Chile: Una oportunidad". En: *Revista de geografía Norte Grande* 64, págs. 5-7. doi: <https://doi.org/10.4067/S0718-34022016000200001>.
- Sánchez-San Román, F.J. (2013). *Fundamentos de los modelos de flujo de agua subterránea*. Inf. téc. Universidad de Salamanca, España.
- Sánchez-San Román, F.J. (2022). *Conceptos Fundamentales de Hidrogeología*. Inf. téc. Universidad de Salamanca. url: [https://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos\\_Hidrogeol.pdf](https://hidrologia.usal.es/temas/Conceptos_Hidrogeol.pdf).
- Sanders, L. (1998). *Manual of Field Hydrogeology, A First Edition*. Prentice Hall. 381 págs.
- Sciortino, J. y R. Ravikumar (1999). *Chapter 1: Potential Pollutants, their Sources and their Impacts*. url: <https://www.fao.org/4/x5624e/x5624e04.htm>.
- SEA (2018). *Norma*. url: <https://sea.gob.cl/normas-de-calidad-y-valores-referenciales>.
- SEA (2024). *Estudio de Impacto Ambiental (EIA) y Declaración de Impacto Ambiental (DIA)*. url: <https://www.chileatiende.gob.cl/fichas/2638-estudio-de-impacto-ambiental-eia-y-declaracion-de-impacto-ambiental-dia>.
- Sequeros, A. (2020). *Tema I: Metales*. Inf. téc. Generalitat Valenciana. url: <https://portal.edu.gva.es/wp-content/uploads/sites/607/2020/09/2%20C2%BA-TEMA-1-METALES.pdf>.
- SERNAGEOMIN (2018). *Preguntas frecuentes sobre relaves*. Inf. téc. Servicio Nacional de Geología y Minería. url: <https://www.sernageomin.cl/wp-content/uploads/2018/01/Preguntas-frecuentes-sobre-relaves.pdf>.
- SINIA (2021). *Informe del Estado del Medio Ambiente. Capítulo 16: Capa de Ozono*. Inf. téc. Gobierno de Chile. url: <https://sinia.mma.gob.cl/wp-content/uploads/2021/04/16-capade-ozono.pdf>.
- Sokolov, A. y T. Chapman (1982). *Métodos de Cálculo del Balance Hídrico. Guía Internacional de investigación y métodos*. Instituto de Hidrología de España - UNESCO. 130 págs. url: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000137771>.
- SQM (2024). *¿Cuál es la diferencia entre salmuera y agua?* <https://www.sqmsenlinea.com/faq>. (Visitado 24-01-2020).

- Tapia, J. (2015). *Clases de Geología General, Universidad de Antofagasta*.
- Tapia, J. (2021). *Apuntes de Geoquímica Ambiental, Universidad Católica del Norte*.
- Tapia, J. (2023). *Apuntes de Geoquímica II, Universidad Católica del Norte*.
- Tarback, E.J. y F.K. Lutgens (2014). *Earth: An Introduction to Physical Geology*. Pearson/Prentice Hall. 711 págs.
- Todd, D.K. y L.W. Mays (2005). *Groundwater Hydrology*. Wiley.
- Tornero, V. y M. Ribera d'Alcalà (2014). "Contamination by hazardous substances in the Gulf of Naples and nearby coastal areas: A review of sources, environmental levels and potential impacts in the MSFD perspective". En: *Science of The Total Environment* 466-467, págs. 820-840. doi: [10.1016/j.scitotenv.2013.06.106](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.106).
- Turner, B.L. y col. (2003). "A framework for vulnerability analysis in sustainability science". En: *PNAS* 100.14, págs. 8074-8079. doi: <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>.
- UNESCO (2024). *El mandato y la misión de la UNESCO en resumen*. url: <https://www.unesco.org/es/brief>.
- UNISDR (2007). *Terminología sobre reducción de riesgo de desastres*. url: [https://www.unisdr.org/files/7817\\_UNISDRTerminologySpanish.pdf](https://www.unisdr.org/files/7817_UNISDRTerminologySpanish.pdf).
- Universidad de Murcia (2017). *Tema 4 Bachillerato. La Hidrósfera*. url: [https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema\\_4.pdf](https://www.um.es/sabio/docs-cmsweb/materias-pau-bachillerato/tema_4.pdf).
- US EPA (1997). *Engineering Bulletin: Technology Alternatives for the Remediation of Soils Contaminated with As, Cd, Cr, Hg, and Pb*. url: <https://www.frtr.gov/matrix/documents/Landfill-and-Soil-Capping/1997-Technology-Alternatives-for-the-Remediation-of-Soils-Contaminated-with-As-Cd-Cr-Hg-and-Pb.PDF>.
- US EPA (2014). *Definition of Contaminant*. Overviews and Factsheets. url: <https://www.epa.gov/ccl/definition-contaminant> (visitado 14-05-2020).
- USGS (1997). *Impacts of Volcanic Gases on Climate, the Environment, and People*. url: <https://pubs.usgs.gov/of/1997/of97-262/of97-262.html>.
- USGS (1999). *Inside the Earth (This Dynamic Earth, USGS)*. url: <https://pubs.usgs.gov/gip/dynamic/inside.html>.
- USGS (2020). *Tsunami and Earthquake Research*. url: <https://www.usgs.gov/centers/pemsc/science/tsunami-and-earthquake-research>.
- USGS (2023). *Lahars – The Most Threatening Volcanic Hazard in the Cascades*. url: <https://www.usgs.gov/observatories/cvo/science/lahars->

- most-threatening-volcanic-hazard-cascades.
- Vargas, G., L. Ortlieb y J. Rutllant (2000). "Aluviones históricos en Antofagasta y su relación con eventos El Niño/Oscilación del Sur". En: *Revista Geológica de Chile* 27.2, págs. 157-176. url: [https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0716-02082000000200002](https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0716-02082000000200002).
- Vásconez, M. y col. (2019). *Cuencas Hidrográficas*. Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. 134 págs. url: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19038/1/Cuencas%20hidrogr%C3%A1ficas.pdf>.
- Voosen, P. (2024). *The Anthropocene is dead. Long live the Anthropocene*. url: <https://www.science.org/content/article/anthropocene-dead-long-live-anthropocene>.
- Waggoner, B.M. (1996). *The Holocene Epoch*. url: <https://ucmp.berkeley.edu/quaternary/holocene.php#:~:text=The%20Holocene%20is%20the%20name,the%20Holocene%20has%20been%20a>.
- Waidyanatha, N. (2010). "Towards a typology of integrated functional early warning systems". En: *Int. J. Critical Infrastructures* 6.1. url: <http://www.inderscience.com/link.php?id=29575>.
- Woessner, W. y E. Poeter (2020). *Hydrogeologic Properties of Earth Materials and Principles of Groundwater Flow*. The Groundwater Project. 130 págs. url: <https://books.gw-project.org/hydrogeologic-properties-of-earth-materials-and-principles-of-groundwater-flow/>.
- Worms, I. y col. (2006). "Bioavailability of trace metals to aquatic microorganisms: importance of chemical, biological and physical processes on biouptake". En: *Biochimie* 88.11, págs. 1721-1731. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.09.008>.
- Zoller, W. H., E.S. Gladney y R.A. Duce (1974). "Atmospheric Concentrations and Sources of Trace Metals at the South Pole". En: *Science* 183.4121, págs. 198-200. doi: [10.1126/science.183.4121.198](https://doi.org/10.1126/science.183.4121.198).