



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL  
DE GEÓLOGOS



The  
Geological  
Society

*-serving science & profession*



# Geología para la Sociedad

Junio 2015

# ¿Por qué tiene importancia la Geología?

**La Geología estudia la estructura y la historia de la Tierra. Su conocimiento sustenta los recursos que la población y la industria necesitan, ofrece una amplia gama de servicios esenciales y nos ayuda a entender cómo vivir de forma más sostenible en nuestro planeta, gracias a las habilidades que nos proporciona el conocimiento y la investigación geológica.**



Imagen de La Tierra tomada por el Apollo 17. ©NASA

La Geología (a veces conocida, de forma más amplia, como Ciencias de la Tierra o Geociencias) estudia la estructura de la Tierra y los procesos que le han dado forma a lo largo de su historia y que continúan dándose. En ella se sustentan la mayoría de los recursos que la población y la industria necesitan, como son: energía, minerales, agua y alimentos. Una amplia gama de servicios vitales dependen de la geología, como son: la gestión de los residuos que producimos; el conocimiento y la obtención de materiales para la construcción de edificios, carreteras, presas, túneles y otros grandes proyectos de infraestructuras; así como la solución de una amplia gama de problemas medioambientales, entre los que se pueden citar la descontaminación de suelos afectados por la industria. El trabajo de los geólogos es esencial para entender los riesgos y los desastres naturales, y poder así estar preparados para mitigar sus efectos. La protección del agua potable y de los distintos ecosistemas está avalada por un conocimiento de la geología y sus interacciones con los procesos superficiales. La seguridad en el suministro energético a la población se basa, principalmente, en competencias geológicas, desde la obtención de energías renovables al uso del subsuelo para almacenar dióxido de carbono y residuos radiactivos.

El conocimiento de la interacción entre el cambio medioambiental y la evolución de la vida en cientos de miles de años, da al geólogo una perspectiva valiosa sobre los cambios que los seres humanos están causando con la quema de combustibles fósiles y nuestro mayor impacto hacia el medio ambiente. Los geólogos también desempeñarán un papel vital en la reducción de las emisiones de carbono a partir de la quema de combustibles fósiles, almacenando el carbono bajo tierra. Estamos empezando a comprender más plenamente el impacto que produce la actividad humana en nuestro planeta, siendo los recursos cada vez más escasos y la humanidad más numerosa. Buscamos vivir de forma más sostenible y equitativa. Los geólogos están desarrollando una visión más holística del uso de los recursos, los residuos y subproductos producidos, y de las interacciones con el subsuelo, el mar, el aire y la vida, que juntos conforman el sistema Tierra.

La comprensión y la disposición de todos estos recursos y servicios dependen de geo-científicos, altamente capacitados y entrenados en universidades, empresas e industrias. En Europa existe una base de investigación geológica excelente, que es fundamental para la comprensión de los procesos de la Tierra y futuros desafíos medioambientales. La inversión sostenida en geología estimulará el crecimiento económico y permitirá a Europa desempeñar un papel destacado en la lucha contra el desafío global.

Chimenea activa (salida de humo negro) productora de fluido con minerales (inicialmente a ~360°C) en el campo hidrotermal Rainbow, al sur de las islas Azores, con profundidad del agua 2200m - expedición Seahma. ©FCT Portugal 2002, Creminer-LARSyS imagen de archivo.



# Geología para la economía

**La geología juega un papel esencial en muchas áreas de la economía. La sostenibilidad y el crecimiento económico para el beneficio de la sociedad requieren suministros seguros de energía y recursos minerales, el abastecimiento asegurado de agua limpia y la producción sostenible de alimentos. Todo ello se sustenta en la investigación en tecnología, infraestructuras, junto con más educación y experimentación.**

La localización y extracción de los recursos geológicos son vitales para el producto interior bruto de la Unión Europea, el crecimiento económico y las rentas públicas. El uso de materias primas para la industria, productos y procesos de consumo, junto con combustibles fósiles para la energía, sostienen nuestra prosperidad y contribuyen de manera fundamental a la economía generando beneficios. La extracción de petróleo, gas, carbón y minerales para la construcción e industrias supone una parte significativa del PIB de las naciones europeas. A modo de ejemplo, el Reino Unido generó cerca de 50.000 millones de euros en 2011, lo que se corresponde con un 12% del producto interior bruto de este país, excluyendo los servicios (con las industrias dependientes de estos recursos la contribución sería superior). Sólo el petróleo y el gas del Mar del Norte suponen una importante contribución a las economías de diversos países europeos, generando miles de millones de euros que se aportan en impuestos cada año. El mercado mundial de las compañías de la industria extractiva, en lo referente al intercambio de materias primas de procedencia europea, fue en 2012 de más de 2,3 billones de euros.



Bolsa de Frankfurt.

Una exhaustiva evaluación de la demanda, abastecimiento y costes (financieros y medioambientales) de estos productos es esencial para un efectivo plan económico y toma de decisiones. Una estadística global y europea sobre los recursos minerales existentes, como la suministrada por los servicios geológicos europeos, juega un papel relevante para cubrir las necesidades de la sociedad europea. La Unión Europea ha identificado una lista de minerales estratégicos cuyo suministro puede suponer un riesgo, restringiendo el crecimiento económico. Por ejemplo, la demanda de Tierras Raras está aumentando debido a su uso en aplicaciones de alto nivel tecnológico, como es el caso de pantallas de plasma, diagnóstico médico por imágenes, y

tecnologías con baja emisión de dióxido de carbono tales como aerogeneradores y vehículos híbridos.



Ejemplo de formación con vetas de hierro en Krivoy Rog (Ucrania).

Nuestro futuro pasa por una limitación de los recursos, con impactos de la extracción y uso más reducidos, añadiendo la expectativa de aumento de la población mundial y de la calidad de vida de sus ciudadanos, con acceso a los recursos de forma equitativa y poniendo presión adicional, en particular, sobre el nexo agua - energía - alimentos. El reto de suministro seguro y sostenible de agua y energía se está viendo ya agravado por el cambio climático. El aumento del esfuerzo para su suministro tendrá significativas repercusiones, tanto en el abastecimiento doméstico como para el uso intensivo de la energía y el agua en industrias como la minería y la construcción.

Todos estos cambios pueden alterar el "status quo" económico. Pero también presentan oportunidades para la innovación, para mantener el crecimiento y la estabilidad económica futura. Con la inversión sostenida en infraestructura, investigación y desarrollo experimental, y la creación de un ámbito adecuado para fomentar la innovación, Europa puede llegar a ser un líder mundial en alta tecnología y tecnologías ambientales, y en su aplicación. La gestión de residuos radiactivos y la captura y almacenaje de dióxido de carbono, necesitarán ser desarrolladas en todo el mundo, de la misma forma que deberá promoverse la reducción de CO<sub>2</sub> en nuestro sistema energético, presentando oportunidades para el desarrollo de tecnologías, capacidades y experiencia en toda Europa de manera que puedan ser exportadas al resto del mundo. El elevado desarrollo en investigación y educación posiciona a Europa para jugar un papel de líder en la economía global del conocimiento.



**La necesidad de una transición hacia una economía baja en carbono es urgente. Sin embargo, aunque gestionemos este cambio, vamos a seguir dependiendo por muchos más años de los combustibles fósiles. Los conocimientos científicos son esenciales en cada etapa del ciclo de la energía, desde la ubicación de los recursos energéticos a través de su extracción segura y fiable, hasta su uso y la posterior eliminación o reciclado de los residuos.**

En los debates sobre sus necesidades futuras de energía, Europa se enfrenta a un triple desafío: reducir drásticamente las emisiones de CO<sub>2</sub> para evitar un cambio climático peligroso, asegurar la seguridad en el suministro, y proporcionar a la industria y consumidores una energía sostenible.

## Los combustibles fósiles

Los combustibles fósiles seguirán suponiendo una parte importante del mix energético de Europa, al menos en las próximas décadas. Algunos países han obtenido enormes beneficios procedentes del petróleo y el gas del Mar del Norte en las épocas más recientes. Los recursos off-shore siguen siendo importantes y el éxito en su explotación dependerá de que se sigan desarrollando nuestro conocimiento geológico y las tecnologías de extracción. También estamos empezando a comprender mejor el alcance de los recursos en el ámbito de los combustibles fósiles no convencionales, como el gas de esquisto, petróleo de esquisto, y metano de carbón, que tienen el potencial de contribuir significativamente a nuestra generación de energía si finalmente se opta por su extracción. Los países que no desarrollen la explotación de sus propios recursos de combustibles fósiles serán más dependientes de la importación de estas materias primas, lo cual afectará a su seguridad energética. Gran parte de la electricidad que se consume en Europa aún se genera a partir de la quema de carbón.



Residuos radiactivos de baja y media actividad en el repositorio de Olkiluoto (Finlandia). ©SKB, Suecia.

## El gas de esquisto

Los hidrocarburos (petróleo y gas) se forman a partir de materia orgánica depositada hace millones de años en niveles de rocas sedimentarias, que luego han sido sometidos a presión y temperatura. En los reservorios convencionales, el petróleo y el gas migran hacia arriba desde los niveles donde se formaron, quedando atrapados bajo una capa límite impermeable. Por el contrario, cuando el gas se forma en una arcilla impermeable, que posteriormente, tras el proceso metamórfico, pasa a ser un esquisto, no puede migrar ni fluir, y su extracción no puede hacerse por medio de las técnicas de perforación convencionales, por lo que se les denomina como recursos “no convencionales”.

Actualmente es posible extraer económicamente gas de esquisto mediante perforación horizontal y fracturación hidráulica (“fracking”), para abrir fracturas en la roca, empleándose posteriormente agua, arena y pequeñas cantidades de productos químicos añadidos, para arrastrar el fluido. El conocimiento experto geológico es vital para localizar los recursos fósiles no convencionales, y para comprender y gestionar los posibles riesgos vinculados con su extracción, como la sismicidad inducida o la contaminación de acuíferos debido a una inadecuada perforación de los pozos.

## Captura y almacenamiento de carbono

Atendiendo a la importancia que todavía van a desempeñar los combustibles fósiles en nuestra matriz energética, se requiere una acción urgente para evitar un cambio climático con consecuencias peligrosas, y que es resultado de la emisión de CO<sub>2</sub> cuando se queman dichos combustibles. La captura y almacenamiento de carbono de forma segura bajo tierra, pueden lograr su reducción, en caso de implementarse medidas a escala suficiente.

En la actualidad los geólogos están trabajando en la localización y desarrollo técnico de los emplazamientos para el almacenamiento más adecuado. Los yacimientos de petróleo y gas del Mar del Norte próximos al final de su vida útil, son los principales candidatos para el almacenamiento de CO<sub>2</sub>, representando esta potencial capacidad de almacenamiento un recurso aún más valioso para el Reino Unido y Noruega, sobre todo si las infraestructuras existentes pueden ser reutilizadas para este fin. Los geólogos también serán claves para la implementación a largo plazo, el monitoreo de fugas de CO<sub>2</sub>, y el control de la deformación del subsuelo. Actualmente están en marcha prometedoras investigaciones en nuevos emplazamientos geológicos para el almacenamiento de carbono.

## Otras fuentes de energía

Las energías renovables están llamadas a desempeñar un papel cada vez más importante en el mix energético, a medida que avanzamos hacia una economía libre de carbono.

El conocimiento detallado de la geología de la zona es importante para el emplazamiento y construcción de las diferentes formas de energía renovable; en particular, los parques eólicos, las presas, y las fuentes de energía geotérmica.

Muchas de las materias primas necesarias para las tecnologías de energías renovables, incluyendo turbinas de viento, motores híbridos y paneles solares, incluyen materiales críticos como elementos de Tierras Raras, los cuales necesitan de investigaciones geológicas y personal capacitado para localizarlos y extraerlos de forma segura.

La energía nuclear es probable que constituya una parte cada vez más importante de la futura combinación energética. Depende de que se disponga de una fuente segura de uranio, a partir de yacimientos económicamente explotables, apareciendo de nuevo la necesidad de un conocimiento y experiencia en el medio geológico. Tendremos que garantizar la seguridad frente a riesgos naturales en los emplazamientos de las propias instalaciones nucleares, y en la gestión a largo plazo de los residuos radiactivos. En la mayoría de los países europeos con energía nuclear, la política a seguir es la construcción de almacenamientos geológicos para la gestión segura a largo plazo de los residuos radiactivos.

## La energía geotérmica

Algunos países europeos tienen un excelente potencial para desarrollar fuentes de energía geotérmica de alta temperatura, tanto para generación de energía eléctrica como para suministrar calor directamente. Incluso en áreas donde las rocas en profundidad no se encuentran tan calientes, es posible aprovechar esas diferencias térmicas menores con sumideros y bombas de calor geotérmicas.

En los desarrollos modernos de construcción los sistemas de calefacción integrados, usando energía geotérmica y refrigeración, pueden conseguir reducciones en las emisiones de CO<sub>2</sub> de hasta el 10 %. El desarrollo de estos recursos requiere de la experiencia de los geólogos para localizar y probar la capacidad geotérmica potencial, y para la comprensión del subsuelo de cara al diseño y la ingeniería de la infraestructura necesaria.

## Almacenamiento geológico de residuos radiactivos

Un almacenamiento geológico consiste en aislar los residuos radioactivos en una instalación subterránea construida en una formación rocosa apropiada, por lo general a una profundidad entre 200 y 1000 m, para garantizar que no haya cantidades perjudiciales de radiactividad que alcancen la superficie. Está basado en un modelo de barreras múltiples, con los residuos empaquetados depositados en túneles perforados y rellenos posteriormente, proporcionando la geosfera una barrera adicional para mantener los radio-nucleídos atrapados durante decenas de miles de años. Varias formaciones rocosas geológicas resultan adecuadas para este fin, como el granito, las arcillas o la sal. El proceso de selección de emplazamientos con este objetivo se basa en la aceptación previa por parte de la comunidad local elegida para albergar una instalación de este tipo, al igual que dependerá de la idoneidad de los factores geológicos. Los geólogos jugarán también un papel fundamental en la caracterización de los potenciales emplazamientos así como en la construcción y puesta en marcha de la instalación.



Parque eólico de Thornton (Bélgica). ©Deme-group

**Un suministro seguro de agua dulce de alta calidad es vital para la salud humana y el bienestar. Los geólogos ayudan a satisfacer esta necesidad a través de su comprensión del movimiento y comportamiento del agua y de los acuíferos, así como la identificación y la mitigación de la potencial contaminación del agua.**

## La seguridad del agua

En la superficie de la Tierra existe agua dulce como parte de un sistema más amplio que abarca las aguas subterráneas, los océanos, el agua en la atmósfera y el agua almacenada en forma de hielo. Aproximadamente un 75% de los ciudadanos de la Unión Europea depende del agua subterránea para su suministro de agua. Se trata de un recurso importante pero frágil que necesita una gestión cuidadosa. El resto proviene de las aguas superficiales de lagos y ríos, recogidas en los embalses.

Los niveles del agua subterránea varían dependiendo de la precipitación local, de la tasa de infiltración (la velocidad a la que la tierra es capaz de absorberla) y de la cantidad de extracciones para el uso. En algunos puntos el agua subterránea es efectivamente un bien no renovable, que aporta agua dulce pero que requiere mucho tiempo para la reposición de los acuíferos. La recarga de los acuíferos puede tardar del orden de cientos o miles de años.

### ¿Qué es el agua subterránea?

El agua subterránea es el agua que se filtra hacia abajo a través del suelo aportándose a la capa freática, donde es almacenada en los poros de las rocas. Esta agua se encuentra en la "zona saturada". Fluye a través del subsuelo (a menudo muy lentamente) hasta que alcanza un punto de descarga tal como un manantial, un río o el mar.

Las formaciones geológicas que contienen agua subterránea extraíble se denominan acuíferos, y son importantes fuentes de agua potable. No obstante, no toda el agua de acuíferos es dulce, sino que puede ser altamente salina. La sobreexplotación de acuíferos puede causar intrusión de agua salina hacia los acuíferos de agua dulce. La porosidad y permeabilidad de la formación rocosa afectan al proceso de almacenamiento y a la fluencia del agua, y por tanto, a la calidad del acuífero.

## La calidad del agua y el ciclo del agua

El agua puede estar contaminada por procesos naturales, pero principalmente existe un alto riesgo de polución por actividades humanas. Mucha contaminación procede del uso de pesticidas y fertilizantes que se emplean en la agricultura. Las aguas de lluvia arrastran los productos químicos desde la superficie hacia las aguas subterráneas. También hay otros puntos desde los que se vierten contaminantes, como fugas desde industrias, alcantarillados o vertederos.

Debido a las lentas tasas de infiltración del agua subterránea en la recarga y la migración, la contaminación puede acumularse lentamente y tener largos tiempos de residencia. La remediación de la contaminación puede ser costosa, económicamente y en términos del uso de energía. Para minimizar costes y disponer de agua limpia se requiere entender la evolución del agua subterránea y los ciclos geoquímicos de los distintos elementos potencialmente contaminantes.



Ciclo del agua. ©USGS



## Relación agua-energía

El sector energético requiere grandes volúmenes de agua para muchos de sus procesos esenciales. La extracción de recursos, el transporte de combustibles, la transformación de la energía y las plantas energéticas representan alrededor del 35 % del uso del agua a nivel mundial. En 2050, el consumo de agua para generar electricidad se prevé que sea más del doble que el actual. La tendencia en la diversificación de las fuentes de energía, incluyendo el uso de combustibles alternativos, requerirá con frecuencia procesos con mayor uso intensivo de agua. La extracción de petróleo requiere hasta 20 veces más agua que la perforación convencional. Por ejemplo los biocombustibles pueden consumir miles de veces más agua que los combustibles fósiles convencionales, debido a la necesidad del riego intenso para su producción.

Al mismo tiempo, se necesita energía para producir y suministrar agua potable, lo que es esencial en todas las etapas de la cadena de suministro, incluyendo el bombeo de las aguas subterráneas, tratamiento de aguas superficiales, su transporte y para disponer de agua sanitaria caliente. El uso de energía para el tratamiento del agua se incrementa con la utilización de tecnologías de tratamiento y medidas de purificación, particularmente si se incrementa la desalinización de alto consumo energético, en respuesta a la menor disponibilidad de agua dulce. Como ejemplo, en Reino Unido, las empresas de gestión del agua han registrado un incremento del uso de electricidad en más del 60 % desde 1990, debido al tratamiento avanzado del agua y el aumento de los suministros. Estimaciones conservadoras predicen aumentos de un 60-100 % en 15 años para poder cumplir las normas de calidad del agua.

## Impacto del cambio ambiental

Los efectos del cambio climático en las aguas superficiales y subterráneas varían de un país a otro, no son fáciles de predecir, y tendrán que sumarse a los efectos derivados de otros factores en el ciclo del agua. Muchos países europeos han experimentado un descenso de los niveles de los acuíferos debido a la sequía en años recientes, y existen amenazas en el suministro de agua. A nivel mundial, esta amenaza ya es crítica. Cada vez más los patrones climáticos erráticos ponen en riesgo la recarga de acuíferos y los suministros de agua. Los bajos niveles de agua subterránea, junto con la recarga lenta, podrían llevar a un escenario catastrófico para la disponibilidad de agua. Se espera que el cambio climático tenga un efecto multiplicador, y el clima más extremo comprometa la actividad económica y las infraestructuras nacionales.

## Conocimiento experto geológico

La comprensión de la hidrogeología local y las condiciones ambientales resultan esenciales para el abastecimiento de agua y su calidad. Hidrogeólogos y otros geo-científicos investigan y reconocen, mediante la realización de mapas del subsuelo, para modelar y entender el movimiento del agua, y para cuantificar y caracterizar los recursos acuíferos.

El monitoreo de aguas subterráneas a largo plazo y de forma estacional puede ayudar a predecir y gestionar los períodos de agotamiento de los acuíferos debidos a la escasez de precipitaciones. Esta información puede entonces ser utilizada para establecer planes de previsión y diseñar estrategias ante las sequías e inundaciones potenciales.



Sistema de tratamiento de aguas residuales y presa de Kölnbrein y sistema de bombeo para almacenamiento de energía, Carinthia (Austria).

# Los recursos minerales

**La industria moderna, la tecnología y los productos de consumo demandan un amplio conjunto de minerales, algunos escasos, otros abundantes. Su extracción y comercialización son una parte importante de la economía nacional y global. Con una población y una demanda de recursos ambos en crecimiento, se precisa de tecnologías innovadoras para localizar y extraer minerales y utilizarlos más eficientemente.**

## Los Recursos

La industria minera suministra una gran variedad de recursos, como los áridos y arenas para la construcción; los fosfatos para los fertilizantes; muchos minerales con aplicaciones industriales específicas, como la fluorita (utilizada en equipos ópticos) y la barita (empleada en los fluidos de perforación de los pozos para la extracción de petróleo y gas); y los minerales de los que se extraen todo tipo de metales.

Algunos recursos minerales son relativamente abundantes y se emplean en grandes cantidades, como es el caso de los áridos y algunos metales como el cobre, el níquel, el aluminio y el hierro. Hay otros recursos que aunque se utilizan en menores cantidades, su suministro es insuficiente para satisfacer la demanda global. No obstante, algunos minerales que son muy importantes desde los puntos de vista económico o estratégico no están disponibles en las cantidades necesarias para satisfacer la demanda actual (o su suministro no está asegurado). Estos minerales se conocen como “materias primas críticas”. Aunque de ellos no hay todavía una lista definitiva, la UE ha identificado 14 recursos minerales críticos. Se incluyen 2 grupos de elementos metálicos: las denominadas Tierras Raras y el Grupo de los Metales del Platino. Y también hay que contemplar el suministro de los fosfatos y potasas de cara al futuro, puesto que se utilizan en grandes cantidades para la producción de fertilizantes agrícolas.



## Las Tierras Raras

Las denominadas “Tierras Raras” son un grupo de 17 elementos metálicos: los 15 lantánidos con un número atómico de 57 a 71, junto con el Ytrio y el Escandio. Su utilización en aplicaciones de alta tecnología, como las pantallas de plasma, electrónica, medicina, y tecnología baja en carbono (turbinas eólicas y vehículos híbridos), ha propiciado un incremento de su demanda mundial de más de un 50% en la última década, tendencia que se mantendrá en el futuro próximo. Un estudio de la Unión Europea de junio del 2010 incluyó al grupo de las Tierras Raras en su lista de los 14 recursos minerales críticos. Actualmente China domina la producción mundial de estos minerales, y la mayoría de los yacimientos importantes están localizados fuera de Europa, principalmente en China, Rusia, Kirgizstan, Kazakhsitan, Estados Unidos y Australia.

La escasez geológica de las Tierras Raras en términos absolutos no es el único problema, sino también el incremento de su precio y la inseguridad en la disponibilidad de su suministro. Todo lo anterior ha llevado a plantear grandes operaciones mineras fuera de China. Pero los desafíos técnicos, financieros, medioambientales y regulatorios que deben afrontarse convierten la apertura de nuevas minas en procesos largos y costosos. Y esto puede suponer la interrupción del suministro de estas sustancias durante la próxima década, constituyendo un obstáculo en el desarrollo e implementación de las tecnologías bajas en carbono que dependen de ellas.

Mina de Aitik, situada en las afueras de la ciudad de Gällivare en el nordeste de Suecia. Es la mina de cobre más importante de Suecia y la mina de cobre a cielo abierto más eficiente del mundo.  
©Boliden



# Los recursos minerales

## El sector minero en la Unión Europea

Durante el siglo XIX el crecimiento económico de los países europeos se basó en el uso del carbón, metales y otras materias primas. Europa no es el principal productor de la mayoría de los minerales, pero es un continente rico y variado geológicamente, lo que lleva a que algunos países sean productores y exportadores de algunos materiales, como es el caso de la plata en Polonia o el titanio en Noruega, al igual que materiales de construcción y otros minerales industriales a gran escala como la sal.

Como resultado del aumento de los precios de las materias primas y las nuevas tecnologías de extracción y procesamiento, pequeños depósitos de alto valor que antes eran poco rentables para extraer, pueden convertirse ahora en reservas económicas.

Una serie de operaciones mineras metalíferas se están poniendo en



Mina Perlite (Pálháza – nordeste de Hungría). ©Perlit-92 Kft

marcha por esta razón, como en Hemerdon - Devon (Reino Unido), donde se han reiniciado en 2014 las operaciones mineras para extracción de tungsteno. Solamente muy pequeñas cantidades de los minerales críticos utilizados en Europa son producidos dentro de la UE. La producción de recursos minerales específicos es a menudo dominada por uno o dos países en el mundo (la República Democrática del Congo en el caso de cobalto, por ejemplo), lo que puede poner en riesgo la seguridad del suministro a los países europeos.

La investigación innovadora, considerando el uso cíclico de los recursos, puede lograr la extracción económica de metales a partir de los desechos producidos por los procesos industriales, y reelaborar residuos mineros históricos para recuperar minerales que no fueron extraídos inicialmente. El diseño del producto también se puede mejorar para optimizar todo el proceso, a través del reciclaje y dispersión de los materiales reducida. La eficiencia energética y la reducción de los impactos ambientales en el uso de los recursos deben ser también objetivos a desarrollar con la investigación en este campo.

Los países que limitan con el Mar del Norte obtienen gran parte de su demanda de arena y grava mediante el dragado de estos materiales desde el fondo del mar. Entornos marinos más profundos, como los que existen junto a áreas hidrotermales, son considerados como una fuente futura potencialmente significativa de metales, incluyendo varios materiales críticos.

## Alimentando a una población en aumento

Sin geología, no habría la agricultura. Los cultivos dependen de que se disponga de suelos de buena calidad (roca erosionada junto con materia orgánica, agua y gases) como un medio de crecimiento. También requieren nutrientes geológicos. El aumento de la población está incrementando la presión sobre los recursos alimentarios. El suministro de fosfatos y potasas que se emplean en los fertilizantes agrarios está sometido a una creciente presión, al mismo tiempo que aumenta la tensión en la seguridad del suministro alimentario, de la energía y de los recursos hídricos, junto con el problema del cambio climático.

El gran incremento mundial del uso de fertilizantes ha producido una gran demanda de ellos, lo que afecta a la seguridad en el suministro de fosfatos y potasas a futuro. Sólo unos pocos países suministran la mayor parte de las rocas productoras de fosfatos, siendo China el mayor productor. El fosfato explotable es un recurso finito, y consecuentemente los expertos en geología económica están advirtiendo que su uso debe reducirse drásticamente en los años venideros si pretendemos evitar efectos devastadores en la producción de alimentos. El empleo continuado de los fosfatos (en contraste con las potasas) puede tener además efectos dañinos en el medioambiente, debido a que los fosfatos se depositan en los ríos causando su eutrofización.



Agricultura en La Rioja (España).

# Ingeniería geológica para el futuro

**Comprender las condiciones del terreno y cómo los edificios, las infraestructuras y las personas interactúan con su ambiente geológico es esencial para garantizar la seguridad pública y el bienestar social, las condiciones económicas y atendiendo a los retos de vivir con el cambio ambiental.**

## El medio ambiente construido.

La ingeniería geológica implica la aplicación de los principios de la geología y sus especialidades, junto con otras disciplinas notables de la ingeniería, en una amplia gama de contextos. El sector de la construcción emplea a un gran número de ingenieros geólogos, junto con hidrogeólogos, geólogos ambientales y otros técnicos relacionados, que estudian, en un sentido más amplio, las condiciones del terreno y las interrelaciones con los elementos del entorno construido, incluyendo los edificios, las carreteras, los ferrocarriles, presas, túneles, conducciones y cables. Una parte fundamental de este trabajo es planificar los impactos de los cambios ambientales, de cara a controlar y remediar la posible contaminación del territorio, especialmente si se han utilizado anteriormente los espacios para la actividad industrial; y evaluar y gestionar los efectos de los peligros geológicos de todo tipo, desde terremotos o inundaciones hasta la expansividad de las arcillas.

Subestimar la importancia de este tipo de trabajos en grandes proyectos, o no poder llevarlos a cabo correctamente, es a

tiempos adicionales en su construcción. La identificación y la gestión eficaz de los problemas relacionados con el terreno también es esencial para garantizar la salud y la seguridad públicas, la calidad del medio ambiente construido y la idoneidad para su uso. Altos estándares profesionales deben ser definidos y confirmados por geo-científicos, ingenieros y otras personas involucradas en el beneficio público. El riesgo geotécnico puede afectar a todos los que participan en la construcción y en su uso, incluyendo el cliente (que puede ser en muchos casos, el gobierno, en especial para los proyectos de infraestructuras nacionales), el diseñador, el constructor y el público en general.

Los geo-científicos también desempeñarán un papel esencial en el desarrollo de las infraestructuras a medida que avanzamos hacia una economía de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, sobre la ubicación de las presas mareomotrices, las turbinas de los parques eólicos, así como en el análisis previo del riesgo sísmico y de otros riesgos naturales en la planificación de nuevas instalaciones nucleares.

## Una geología de Europa

Los servicios geológicos nacionales de Europa siempre han desempeñado un papel vital en la búsqueda de recursos naturales. A medida que refinamos esta búsqueda de forma cada vez más sofisticada, resulta imprescindible entender y gestionar el impacto de los riesgos naturales, y plantear avances en el conocimiento del subsuelo, la innovación cartográfica y el modelado de la geosfera. Debido a que la geología no está limitada por las fronteras nacionales administrativas resulta esencial que los datos se puedan compartir de manera efectiva entre los países.

El portal de internet “Una geología para Europa” (One Geology Europe) es el resultado de 20 organizaciones de servicios geológicos (EuroGeoSurveys es la entidad que los agrupa), y otros colaboradores. Por primera vez, se dispone de datos aportados por cada país pudiendo consultarse de manera asequible, a través de una única plataforma online multilingüe. Los datos del mapa geológico europeo con los países participantes estarán disponibles en una escala 1:1.000.000. Este esfuerzo se continuará extendiendo el área y aumentando la resolución a escala 1: 250.000 donde se disponga de datos previos.

“Una geología para Europa” representa una contribución importante a la iniciativa global “OneGeology”, y al proyecto INSPIRE (infraestructura europea de datos ambientales espaciales). Esto será de gran valor práctico para científicos tanto del mundo académico como de la industria, al igual que para planificadores y en la toma de decisiones de gobiernos sobre necesidades a futuro, gestión de riesgos naturales, planificación urbanística y desarrollo de grandes proyectos de infraestructuras.



# Ingeniería geológica para el futuro

## Geología urbana - la ingeniería de las ciudades del mañana.

Una proporción cada vez mayor de la población mundial vive en ciudades que van siendo más grandes y complejas. El trabajo de geólogos en la gestión de los múltiples usos simultáneos de la superficie y del subsuelo (a veces entran en competencia) será particularmente importante en las zonas urbanas, si las ciudades del futuro tienen que ser sostenibles.



Construcción de infraestructura - Tottenham Court Road Crossrail.

El espacio es un bien escaso, y el subsuelo se utiliza intensivamente para el transporte, la construcción y la optimización de los recursos y servicios. El agua y el suministro de energía, junto con la eliminación de residuos, presentan desafíos particulares en las grandes ciudades, así como oportunidades para la innovación. La construcción del medio ambiente debe diseñarse para maximizar la eficiencia energética y la gestión, y hacer uso del llamado efecto "isla de calor urbano". Los Proyectos de infraestructuras de transportes subterráneos a gran escala, tales como Crossrail en Londres, son técnicamente exigentes y dependen de las capacidades de un equipo múltiple de geocientíficos, pero también traen grandes oportunidades económicas. En algunos casos, puede incluso ser viable la extracción de recursos geológicos incluyendo minerales, aguas subterráneas y energía en entornos urbanos.

La fórmula de aplicar políticas ambientales mediante lo que se podrían denominar "servicios de ecosistemas" está siendo empleada en países europeos. Es importante recordar que los ecosistemas, el medio ambiente, y las interacciones entre las diferentes partes de los sistemas naturales y humanos no se limitan única y exclusivamente a las zonas rurales. También en entornos urbanos se pone de relieve la importancia de considerar los aspectos abióticos y del subsuelo de los ecosistemas.

## Usos del subsuelo

Los geólogos están involucrados en una amplia gama de servicios relacionados con el subsuelo, ya mencionados muchos de ellos anteriormente, y que deben ser cuidadosamente planificados. Podemos destacar la extracción de energía, agua y los recursos minerales; el empleo del espacio poroso en las rocas de formaciones geológicas para inyectar CO<sub>2</sub> o gas natural; la ubicación de residuos radiactivos, de vertederos y otros depósitos de residuos; las construcciones de edificaciones y sótanos; y la adecuación de las infraestructuras del transporte, cables y conducciones.

A medida que miramos hacia la geosfera para poder proporcionar una mayor variedad de servicios a los ciudadanos, necesitamos planificar y evaluar con rigor los problemas e interacciones que puedan suceder. Cualquier espacio terrestre, independientemente de su volumen, puede ser utilizado para diferentes funciones, ya sean consecutivamente o al mismo tiempo. En ocasiones puede haber incompatibilidad en el uso de un espacio subterráneo. Los geólogos pueden asesorar a las instancias políticas y económicas sobre asuntos y decisiones acerca de cómo utilizar los espacios del subsuelo.



Glacier Express en el viaducto Landwasser (Suiza).



# La salud medioambiental

**Siglos de desarrollo industrial y urbano han dejado su huella en nuestras tierras, ríos y atmósfera. La contaminación puede propagarse e interactuar a través de la geosfera, la biosfera, la atmósfera y la hidrosfera, estando todas interconectadas.**

## Calidad de las tierras y las aguas

Grandes áreas europeas han resultado contaminadas como resultado de actividades industriales pasadas. Para que estas zonas industriales abandonadas puedan volver a tener otros usos se requieren investigación y medidas de remedio. Los terrenos pueden ser limpiados de forma voluntaria por los propietarios, a través de un sistema de planificación durante el desarrollo, o a través de la regulación en los casos de mayores contaminaciones.

En el diseño de los planes de remediación es importante tener en cuenta la forma en que los terrenos pueden verse afectados por los futuros cambios ambientales. Las técnicas de remediación in situ, tales como barreras permeables reactivas y encapsulación del contaminante, pueden no ser estables, dado el aumento de la erosión, la sequía o inundaciones, lo que puede terminar liberando contaminantes al medio ambiente.

Para el suministro seguro y sostenible de alimentos se necesitan suelos y agua de alta calidad. El suelo actúa además como un importante sumidero del carbono atmosférico, registrando los cambios pasados y presentes, constituyendo una herramienta vital para la comprensión y la búsqueda de las variaciones medioambientales. La protección y mejora de nuestras aguas (ríos, océanos y aguas subterráneas) dependen del conocimiento sobre el comportamiento y la interacción existente entre el agua, los suelos y la atmósfera en superficie, y de éstos con la geología del subsuelo.



Vertido químico en Wakefield (Reino Unido).

## Nuestro legado industrial y su efecto sobre la calidad de los terrenos

La recuperación y gestión de un terreno contaminado puede ser compleja y costosa, especialmente si se han venido realizando vertidos incontrolados de residuos y materiales contaminados. Los avances en el conocimiento geoquímico ilustran la complejidad a la hora de determinar los contaminantes en áreas industriales. Una recuperación sostenible a largo plazo de los suelos contaminados requiere de ingeniería y enfoques innovadores en la gestión, así como de la eliminación segura de los contaminantes, y para todo ello se debe disponer de un conocimiento geológico detallado de la zona.

## Recuperación de aguas subterráneas

La geología actúa como control primario sobre la calidad y los niveles de contaminación en el agua subterránea y en nuestros cursos fluviales. La recuperación de las aguas contaminadas puede realizarse de varias formas, ya sea ejecutando barreras físicas, con acciones químicas, o bien dejando actuar la atenuación natural (por lo general la forma más económica). Las soluciones ingenieriles requieren conocer el comportamiento y resistencia de los terrenos; y el uso de materiales como adsorbentes y oxidantes requieren de la comprensión de la geoquímica de los distintos componentes del terreno (rocas, suelos y agua). Los métodos de atenuación o dispersión natural requieren del conocimiento detallado de los procesos físicos, químicos y biológicos que intervienen en la movilidad de los contaminantes en el subsuelo. Su uso depende de un buen entendimiento de la hidrogeología y la geoquímica subterránea.

Limpieza de suelos contaminados en el puerto de Antwerp (Bélgica). ©Deme-group



Además, un amplio conocimiento de la geología mejora la eficiencia de las acciones de remedio frente a la descontaminación, y puede ahorrar mucho tiempo y dinero tanto en el diseño de las soluciones como en su ejecución.

# Valorando y protegiendo nuestro medioambiente

**La política y gestión ambiental basadas en un enfoque de “servicios al ecosistema” buscan tener una visión integral de los ecosistemas y del medio ambiente. La importancia de la geología y la geosfera en la protección del medio ambiente y en la provisión de esos servicios es a menudo ignorada, si bien conforman el paisaje, interactúan con la atmósfera y la hidrosfera, y sostienen los ecosistemas.**

## Los servicios para el geosistema

Muchos de los servicios al ecosistema – a través de los que se obtiene un beneficio social y económico del medio ambiente – dependen de la geosfera, y pueden denominarse en su conjunto como “servicios para el geosistema”. Estos incluyen:

- Suministro de **servicios esenciales**, tales como el aporte de energía, agua y recursos minerales, y el propio subsuelo sobre el cual está construida la infraestructura urbana y de transporte.
- **Servicios de regulación**, como la capacidad potencial de almacenamiento de residuos radiactivos o de CO<sub>2</sub>, y del proceso natural del CO<sub>2</sub> atmosférico confinado en el suelo.
- **Servicios de apoyo** que mantienen los ecosistemas, como los ciclos geoquímicos y el efecto de la geomorfología en la fragmentación del hábitat y en la multiplicidad de comunidades, aspectos básicos de la **biodiversidad**
- **Servicios culturales**, entre ellos el disfrute y apreciación del paisaje, o la gestión del patrimonio histórico.

El gran patrimonio y diversidad geológica de Europa son un recurso valioso en términos de educación, turismo y calidad de vida. Es de vital importancia que los lugares geológicamente importantes estén protegidos de manera adecuada, por ejemplo a través de la designación como “Lugares de Especial Interés Científico”.

Los mecanismos de almacenamiento de la geosfera, la hidrosfera y la atmósfera tienen un enorme valor ambiental, y sólo ahora se están empezando a comprender. La capacidad de los sistemas naturales para soportar cambios depende en parte de los niveles de contaminantes que puedan absorber. A medida que aumentan los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, la temperatura global sube y debido al CO<sub>2</sub> disuelto, los océanos se vuelven más ácidos. Los arrecifes de coral, donde se encuentran un gran número de especies y constituyen algunos de los ecosistemas biológicamente más diversos del mundo, proporcionan servicios ambientales tales como el turismo, la pesca y protección de la costa, pero son particularmente vulnerables a los cambios en la química de los océanos y se están deteriorando rápidamente.

## Las Zonas de Conservación Marina

La denominación de Zona Marina Europea provee de especial protección aquellas áreas sensibles de la costa y del océano, proporcionando un enfoque global de los ecosistemas marinos y los procesos ambientales. Pero dicho control tiende a dirigirse hacia los aspectos bióticos del ecosistema, ignorando los elementos abióticos y las interacciones de la superficie del terreno y del subsuelo con el mar y la vida que sostienen. Una aproximación holística a los ecosistemas y procesos ambientales marinos resulta necesaria si se quiere una protección efectiva de las especies vulnerables y de los distintos ambientes.

Los sedimentos son transportados dentro y fuera de las desembocaduras por las mareas y las corrientes, arrastrando contaminantes e interactuando con la química de las aguas marinas. La pesca puede causar daños en el fondo marino, alterando los ecosistemas. La construcción de estructuras de defensas costeras puede cambiar las pautas en la distribución de los sedimentos. El ciclo de nutrientes como soporte ambiental depende de las interacciones geoquímicas entre los diversos agentes que intervienen en el sistema marino y fluvial (sustrato rocoso, sedimentos superficiales, biota, columna de agua y atmósfera).



Patrimonio mundial de UNESCO - Monte Saint-Michel y su bahía en Normandía (Francia), catalogados por su herencia cultural junto con su belleza natural.

# Riesgos geológicos

**Los riesgos geológicos, como son los terremotos, las inundaciones, las erupciones volcánicas, los deslizamientos del terreno o los tsunamis, pueden tener efectos devastadores en la población, la economía y el territorio. Entender y explicar la peligrosidad de estos riesgos, sus efectos, y la forma de preverlos y reducirlos, resulta esencial para mitigar su impacto y reducir los daños directos a las personas afectadas.**

## Terremotos

Los terremotos suponen un riesgo importante, particularmente en el sur y este de Europa, generando pérdidas de vidas, daño a infraestructuras y economías, y crisis sociales. El impacto de los terremotos depende no solo de su magnitud y profundidad, sino que influyen las condiciones humanas (densidad de población, nivel de desarrollo, preparación y educación). El terremoto de Haití de 2010 causó, con diferencia, muchas más muertes que otros terremotos de intensidad mayor. Grandes terremotos en la proximidad de megaciudades de países poco desarrollados podrían tener consecuencias todavía más devastadoras. La vía más efectiva para reducir su impacto en las personas consiste en: reducir la pobreza; mejorar la educación y la protección civil; mejorar las infraestructuras, junto con el diseño y construcción de los nuevos edificios para que soporten sus efectos. Reeducar viejos edificios, puede hacerse pero resulta mucho más costoso.

La predicción probabilística de los terremotos, tomando una zona y un determinado periodo de tiempo, ha mejorado enormemente en las últimas décadas como resultado de la investigación geológica. No obstante, actualmente no es posible hacer predicciones deterministas sobre cuándo y dónde exactamente puede ocurrir un terremoto, y la mayoría de los geólogos no consideran que eso llegue a ser una posibilidad realista. La cartografía del riesgo sísmico y la modelización de sus efectos son esenciales en la mejora de la preparación y aumentan la resiliencia. El proyecto SHARE (Seismic Hazard Harmonization in Europe) ha establecido estándares de datos comunes y metodologías de análisis, y supondrá el desarrollo de bases comunes para mitigar los efectos de los terremotos.



Presidente Barack Obama visitando la zona dañada de L'Aquila (Italia) tras el terremoto de 2009.

## Otros riesgos geológicos

Al igual que los volcanes, los tsunamis pueden tener serios efectos en puntos alejados donde impactan. El registro geológico muestra que grandes áreas de las costas europeas han sufrido tsunamis relevantes en el pasado reciente, y este fenómeno puede volver a ocurrir.



Dolina Kárstica en el distrito Biržai (Lituania).

Otros riesgos menos dramáticos incluyen la expansión y contracción de terrenos con arcillas, que pueden causar daños en edificios e infraestructuras; formaciones salinas o con rocas que se pueden disolver, o la presencia de terrenos débiles y compresibles, generando subsidencias, con efectos en las estructuras. Aunque se trate de riesgos no tan perturbadores ni causen habitualmente víctimas, pueden en cambio producir un impacto económico significativo.

Hay también riesgos geológicos antropogénicos, causados por actividades humanas, como la extracción mineral o el almacenamiento de residuos, o la contaminación del terreno. También las actividades humanas pueden aumentar los efectos de riesgos como las inundaciones, incluyendo las inundaciones subterráneas. Los geólogos tienen que jugar un papel esencial en el asesoramiento para la construcción de barreras de defensa frente a inundaciones, entendiendo y gestionando las defensas naturales, y asegurando que el uso del suelo es planificado de manera efectiva.



# Riesgos geológicos

## Deslizamientos

Los deslizamientos son relativamente frecuentes a lo largo de toda Europa. Las causas son muy variables, como es el caso de fuertes lluvias, erosión, junto con otros riesgos geológicos como los terremotos; y por otra parte están las actividades humanas como la minería, deforestación y cambios en el uso del suelo. Los deslizamientos pueden tener un impacto significativo en las infraestructuras y en las economías, pudiendo a veces concluir fatalmente. Son responsables de aproximadamente un 15% de los tsunamis a nivel mundial.

El cambio climático producirá previsiblemente un aumento del número de deslizamientos, al igual que las condiciones climáticas serán más extremas, y hay evidencias de que esto ya está sucediendo.

## Volcanes

Se estima que 500 millones de personas en todo el mundo viven lo suficientemente cerca de volcanes activos como para ser afectados por sus erupciones.

Numerosas ciudades se han desarrollado en el fértil territorio que a menudo existe próximo a los volcanes. Importantes volcanes activos tienen a su alcance grandes poblaciones, como es el caso del Vesuvio cercano a Nápoles o del Popocatepetl junto a Ciudad de Méjico.



Volcán Vesuvio, Nápoles (Italia).

Se han realizado esfuerzos para minimizar los efectos de las erupciones, pero éstas han sido relativamente modestas (alrededor de 300.000 en los últimos 200 años), en comparación con otros riesgos naturales. Sin embargo las pérdidas económicas, daños a infraestructuras y perturbaciones sociales pueden llegar a ser considerables.

Los volcanes pueden también tener efectos sobre otras comunidades alejadas del foco, donde la percepción del riesgo es nula y fuera de toda consideración. El actual mundo globalizado es vulnerable a eventos volcánicos importantes, por lo que el estudio de sus períodos de retorno e impacto medioambiental es un objetivo importante de investigación en vulcanología.

## Cenizas volcánicas

La erupción en 2010 del volcán Eyjafjallajökull en Islandia causó una gran perturbación en la aviación civil en todo el norte y oeste de Europa. Gobiernos y autoridades de aviación tuvieron que dar prioridad a la protección de la seguridad pública, si bien solo indicaron que se restablecería el servicio lo antes posible, generándose por todo ello un gran impacto económico. Los geólogos trabajaron junto con los meteorólogos para comprender la interacción de la nube de cenizas y los sistemas climáticos, y aportaron información y avisos para ayudar en la toma de decisiones referentes a la gestión del espacio aéreo.

Otros volcanes, tanto en Islandia como en otros lugares, tienen el potencial de causar similares problemas, y posiblemente a mucha mayor escala. Las rutas aéreas principales, especialmente las que cruzan las regiones polares, están bien cartografiadas en lo relativo a la distribución de los volcanes activos y los recientemente dormidos. Ello es particularmente valioso, por ejemplo, en la valoración del riesgo potencial por volcanes en la costa oeste de Norte América y Alaska, especialmente en la cadena de volcanes de las islas Aleutianas.

Volcanes como el Monte Santa Helena (Estados Unidos) y el Vesuvio (Italia) disponen de un importante y extenso dispositivo de instrumentación que proporciona avisos con antelación en caso de posibles eventos eruptivos. Sin embargo, globalmente, muchos volcanes no disponen de dispositivos de alerta y pueden entrar en erupción sin apenas ningún tipo de aviso.

# El Cambio climático

**El registro geológico contiene abundantes evidencias de los cambios climáticos en la Tierra en tiempos pasados. Estas pruebas son muy significativas para comprender los cambios que se pueden producir en un futuro en el clima, y los posibles efectos de las emisiones de gases antropogénicos como el CO<sub>2</sub>.**

## La evidencia geológica del cambio climático en el pasado.

Durante, al menos, los últimos 200 millones de años, el registro fósil y sedimentario muestra que la Tierra ha sufrido muchas fluctuaciones en el clima, desde más cálido que el actual a mucho más frío, en las diferentes escalas de tiempo. Las variaciones cíclicas causadas por factores tales como los cambios en la órbita terrestre y en la actividad solar, han sido acompañadas por cambios climáticos rápidos asociados a incrementos del carbono atmosférico, como el máximo térmico que se produjo en el Paleoceno – Eoceno, hace 55 millones de años. La evidencia del cambio climático en el pasado se conserva en una amplia gama de formas geológicas, incluyendo los sedimentos lacustres y marinos, las capas de hielo, los corales fósiles, las estalagmitas y los anillos de árboles fosilizados. Los avances en las observaciones de campo, las técnicas de laboratorio y la modelización numérica permiten a los geo-científicos mostrar, con total confianza, cómo y por qué ha cambiado el clima en tiempos pasados. Estas bases en el conocimiento sobre el pasado resultan esenciales para estimar los probables cambios en el futuro.

## Lecciones para el futuro.

Basados en los registros de los cambios climáticos del pasado, los geólogos están cada vez más convencidos de que el CO<sub>2</sub>



Hielo fundiéndose en el perímetro de un glaciar en Groenlandia.

atmosférico es el principal agente modificador del sistema climático. La evidencia confirma el principio físico básico de que, emitir grandes cantidades de gases de efecto invernadero como el CO<sub>2</sub> a la atmósfera, provoca un aumento de las temperaturas en todo el planeta. También se muestran como posibles consecuencias un aumento del nivel del mar, un incremento de la acidez de los océanos, una disminución de los niveles de oxígeno en el agua del mar, y cambios significativos en los patrones climáticos.

La vida en la Tierra ha sobrevivido a importantes cambios del clima en el pasado, pero éstos han causado extinciones masivas y una redistribución significativa de las especies. El impacto en la sociedad moderna de aumentos térmicos globales relativamente pequeños, de unos cuantos grados, se prevé que sean muy elevados.

Las causas exactas de los rápidos cambios climáticos en el pasado son objeto de continuas investigaciones, pero es probable que el detonante de este tipo de eventos haya tenido un origen geológico – por ejemplo, un periodo de intensa actividad volcánica. Los rápidos aumentos de CO<sub>2</sub> atmosférico en las últimas décadas no se pueden atribuir a ninguna causa geológica. Más de 500 billones de toneladas de carbono (por lo tanto más de 1.850 billones de toneladas de CO<sub>2</sub>) se han añadido a la atmósfera como consecuencia de las actividades humanas desde 1750. Un 65% por la quema de combustibles fósiles y, al ritmo actual de crecimiento, el CO<sub>2</sub> atmosférico puede alcanzar las 600 partes por millón (ppm) a finales de este siglo. Se trata de un valor que parece no haber sido registrado durante al menos 24 millones de años.

Los geólogos tienen un papel importante que desempeñar, no sólo para ayudar a mejorar nuestra comprensión del cambio climático, si no en la reducción de las emisiones de CO<sub>2</sub> futuras, ya sea a través del desarrollo de sistemas de captura y almacenamiento de carbono; a través de fuentes alternativas de energía; y en la adaptación a las consecuencias del propio cambio climático.

# El Antropoceno

**La actividad humana ha causado impactos dramáticos en el paisaje, el subsuelo y en los sistemas terrestres, provocando cambios atmosféricos, químicos, físicos y biológicos significativos. ¿Son estos cambios suficientemente importantes y permanentes como para marcar el comienzo de una nueva época geológica: el Antropoceno?**

## El cambio antropogénico

La Comisión Internacional de Estratigrafía (ICS en sus siglas en inglés), que define la Tabla Internacional de Tiempos Geológicos y establece los estándares mundiales para la clasificación de los tiempos geológicos, está considerando actualmente la definición de una nueva época geológica - la "época humana" o Antropoceno - para reconocer el alcance del impacto que nosotros hemos causado en nuestro planeta. Algunos estratígrafos postulan la Revolución Industrial como el inicio del Antropoceno, en base a los efectos de los 1.850 billones de toneladas de CO<sub>2</sub> que la humanidad ha liberado a la atmósfera desde entonces, y que pueden ser apreciables en la escala de tiempo geológico. Otros argumentan que los impactos humanos duraderos sobre nuestro planeta pudieran ser más antiguos, de hace unos 8.000 años, a causa del desarrollo de las culturas cultivadoras y sedentarias. Cualquiera que sea la fecha que se establezca, el desarrollo de la sociedad humana ha sido el responsable de modificaciones significativas en el territorio y el paisaje mediante una amplia variedad de procesos que incluyen a la agricultura, la construcción, el encauzamiento de los ríos y la deforestación.

También hemos dejado una huella potencialmente indeleble de contaminación y polución en la atmósfera, en la superficie terrestre, en los océanos y cursos fluviales, y en el subsuelo. Son huellas importantes que incluyen la polución por plomo, que se produjo inicialmente por las fundiciones, el procesamiento y fusión de los metales, y que ahora se aprecia que han afectado a lugares remotos como las capas de hielos polares, y las turberas que datan de los tiempos greco-romanos. Además de la profusión de la quema de combustibles fósiles, la Revolución Industrial supuso considerables niveles de contaminación procedente de la minería y la metalurgia, junto con la difusión de sustancias contaminantes como resultado de otras actividades industriales y del almacenamiento de residuos.

Muchos investigadores trabajan actualmente en conocer el alcance, tipo, escala y magnitud de las influencias antrópicas



Contaminación atmosférica: salida de humo de una torre.

en el uso del territorio y los procesos del sistema terrestre, sus impactos y su efecto geológico. La combinación de estos cambios y sus impactos en la química, la biología y la geomorfología de la superficie, el subsuelo, los océanos y la atmósfera podrían ayudar a acotar el Antropoceno y su sello medioambiental único.

## ¿Es esto importante?

Independientemente de lo que la ICS concluya sobre si el Antropoceno satisface la definición de una nueva época geológica, este término ha ganado difusión con rapidez dentro y fuera de la comunidad geológica. El término expresa la idea de que los impactos combinados y acumulativos de la humanidad sobre nuestro planeta, incluyendo pero no limitándose al cambio climático, pueden persistir a escala geológica, y ello puede servir para encuadrar nuestra respuesta a estos cambios.

## El futuro

Con una estimación de crecimiento de la población mundial hasta los 9.000 millones en el año 2045, se incrementará la presión sobre los recursos naturales, el medioambiente y el subsuelo somero, especialmente en las áreas edificables donde el subsuelo está muy demandado y la infraestructura resulta más compleja. La vida en el Antropoceno planteará retos sin precedentes a las sociedades y gobiernos de todo el mundo.



# La comunicación en geología: tiempo, incertidumbre y riesgo

La importancia de las cuestiones geológicas en la vida cotidiana de la gente en Europa está aumentando, y los geólogos profesionales deben aprender a comunicar mejor su ciencia para permitir que la mayoría de la población pueda participar en un debate con la debida información.

Tras las decisiones de extraer del subsuelo gas y otros hidrocarburos, inyectar agua para obtener energía geotérmica, y almacenar en profundidad dióxido de carbono y residuos radiactivos, la geología está detrás de algunas de las cuestiones principales para muchas de las comunidades que forman Europa. Se trata de abordar problemas como encontrar los recursos necesarios, el crecimiento de la economía, el conocimiento de los riesgos y su impacto social, y garantizar que la normativa gubernamental protege la salud y el bienestar público. La implantación de estas tecnologías supone complejos retos científicos y técnicos, si bien para la mayoría de la gente el subsuelo geológico es algo desconocido. Mientras el público debe participar en la toma de decisiones estando debidamente informado acerca de estas tecnologías, para los geólogos profesionales es importante desarrollar estrategias para comunicar con eficacia sus conocimientos y lo que hacen, así como comprender cuales son las preocupaciones del público en esta materia.

Algunas ideas y conocimiento básico de los geólogos no resultan nada familiares a la mayoría de la gente. Los geólogos

pueden valorar periodos de tiempo enormemente largos permitiéndoles comprender el planeta y los procesos que han ocurrido. Pero esto tiene un punto de vista muy diferente para los no geólogos. Para la mayoría de la gente, por ejemplo, 100.000 años pueden parecer mucho tiempo para confiar a la geosfera los residuos radiactivos, pero para un geólogo esto es un período de tiempo muy corto. Esto puede reducir, en lugar de aumentar, la confianza del público en la experiencia y criterio profesional de los geólogos que asesoran sobre la eliminación de residuos radiactivos, a menos que trabajen duramente para comprender las preocupaciones de la gente.

De la misma forma, los geólogos frecuentemente se encuentran cómodos tratando con datos inciertos e incompletos, siendo núcleo central de su profesión su capacidad para trabajar de esta forma. La comunicación abierta y efectiva sobre la manera en la que los geólogos realizan su trabajo, partiendo de datos incompletos, buscando restringir incertidumbres y haciendo evaluaciones probabilísticas, por ejemplo de recursos y de riesgos naturales, resulta esencial para que estos atributos sean reconocidos como un valor verdadero en vez de meras expresiones de ignorancia.

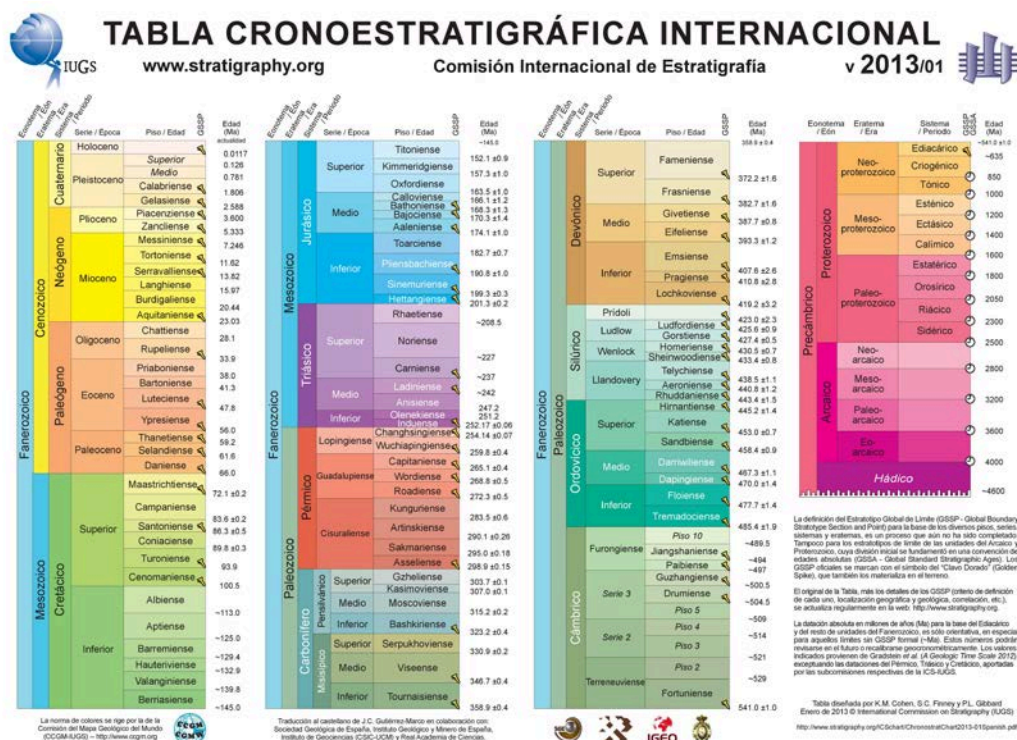


Tabla Crono-estratigráfica Internacional. ©International Commission on Stratigraphy

# Geología para el futuro

**La sociedad del siglo XXI se enfrenta a desafíos sin precedentes en la satisfacción de las necesidades de recursos de un mundo que ve cómo se incrementa su población y que aspira a mejores niveles de vida, mientras aprende a vivir de manera más sostenible en nuestro planeta. Disponer de una fuerza laboral cualificada en ciencias de la Tierra, con una sólida base de investigación, nos ayudará a hacer frente a estos desafíos, y resulta vital si Europa quiere ser competitiva a nivel global.**

## Educación

La geología es imprescindible para la vida de las personas. En la mayoría de las naciones europeas la geología no es una asignatura relevante en el plan de estudios escolar. Resulta esencial que los jóvenes conozcan los conceptos y procesos fundamentales de las Geo-ciencias en el marco de las asignaturas de ciencias, como la química, física, biología y geografía, para preparar ciudadanos bien formados en el siglo XXI, capaces de participar seriamente en el debate sobre los grandes desafíos con los que se enfrenta la humanidad. Los planes de estudios a lo largo de toda Europa deberían atender a ello asegurando que todos los estudiantes tengan un nivel básico en ciencias de la Tierra. Ello estimulará igualmente a la nueva generación de geólogos, que tendrá un papel fundamental en la consecución de estos retos. Una orientación de calidad durante el periodo escolar también es vital para que los estudiantes sean conscientes de la amplia gama de posibles carreras relacionadas con las Ciencias de la Tierra, y que en función de las opciones que elijan en cada etapa de su educación escolar, estarán condicionados a los posibles programas de estudios universitarios, y por tanto las opciones de carrera disponibles.

Los programas de estudios de licenciatura en geología y otras áreas ligadas a las ciencias de la Tierra proporcionan una importante base científica, y son la primera etapa para la formación de los geólogos del futuro. En algunos países europeos se emplean geólogos en diversos sectores de la industria, buscando en su contratación a geólogos con estudios de postgrado como un Master en alguna de las especialidades como geología del petróleo, ingeniería geológica, hidrogeología o geofísica. Esos programas a menudo tienen un enfoque con intensa vocación. Los programas de doctorado también juegan un papel relevante, tanto preparando a los que quieren hacer carrera como investigadores, como en la preparación de especialistas a nivel superior para ciertos sectores de la industria. Es esencial que los países europeos aseguren unos fundamentos adecuados en la educación relativa a las geo-ciencias en todos los niveles, si se quiere ser económicamente competitivos, desarrollar y mantener las capacidades necesarias para atender esos retos del futuro.

## Investigación

La competitividad económica y nuestra capacidad para enfrentarnos a los desafíos futuros dependerá también de sostener una red europea de investigación en geo-ciencias de gran prestigio. Es esencial que se

## Asegurando la calidad profesional para el beneficio público

La Federación Europea de Geólogos (FEG), conjuntamente con las asociaciones nacionales profesionales (Colegio Oficial de Geólogos en España), reconoce la designación profesional de Geólogo Europeo (EurGeol) a aquellos profesionales con nivel académico universitario y competencia profesional en su campo; y significa un compromiso con la ética profesional y con el Desarrollo Profesional Continuo (DPC). Muchas de las asociaciones nacionales también reconocen a sus propios profesionales la capacitación necesaria para el ejercicio profesional. De la misma forma que son validados por sus empleadores y otras personas, esas titulaciones aportan garantía a otros usuarios de que los trabajos solicitados, en los que es importante la seguridad y buenas prácticas, son realizados con profesionalidad, competencia y ética.

La acreditación de programas para nivel de licenciatura y Máster de especialización certifica que los estudiantes adquieren las habilidades fundamentales y el conocimiento principal, para beneficio de los empleadores y del público. El sistema de acreditación varía entre países y puede ser supervisado por una entidad profesional de ámbito nacional, un departamento gubernamental o una agencia de calidad externa. El proyecto Euro-Ages, subvencionado por la Comisión Europea, desarrolló un marco común con contenidos y criterios de acreditación para el grado o licenciatura en geología, al objeto de facilitar la comparación entre los distintos sistemas existentes dentro de la Unión Europea.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS

continúe apoyando la investigación excelente impulsada por la curiosidad, así como la investigación impulsada por las necesidades, y no menos importante es que la sociedad esté tan preparada como sea posible para responder a los nuevos riesgos aún desconocidos, y a las emergencias futuras que aún no se hayan previsto. Mantener y desarrollar nuestra base de investigación nos obliga a cuidar de todas las etapas del proceso e invertir en fondos de investigación sostenida que permitan a los jóvenes investigadores desarrollar carreras profesionales estables.



FÉDÉRATION EUROPÉENNE DES GÉOLOGUES  
EUROPEAN FEDERATION OF GEOLOGISTS  
FEDERACIÓN EUROPEA DE GEÓLOGOS



ILUSTRE COLEGIO OFICIAL  
DE GEÓLOGOS



The  
Geological  
Society

*servicing science & profession*

Este documento ha sido desarrollado por la Sociedad Geológica de Londres, conjuntamente con la Federación Europea de Geólogos y el Ilustre Colegio Oficial de Geólogos.

Para más información, ver los siguientes links:

Federación Europea de Geólogos

<http://eurogeologists.eu/>

Ilustre Colegio Oficial de GEÓLOGOS

<http://icog.web.e-visado.net/Inicio.aspx>

Instituto Geológico y Minero de España

<http://www.igme.es/>

También se pueden consultar documentos, artículos y recursos audiovisuales en inglés, con mayor grado de detalle, en el portal online "Geology for Society" de la Geological Society of London [www.geolsoc.org.uk/geology-for-society](http://www.geolsoc.org.uk/geology-for-society).

- Bolsa de Frankfurt - Frankfurt Stock Exchange" by Pythagomath - Own work. Licensed under CC BY-SA 4.0 via Wikimedia Commons
- Ejemplo de formación con vetas de hierro en Krivoy Rog (Ucrania) - Banded iron formation". Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Sistema de tratamiento de aguas residuales - Fine Bubble Retrievable Grid" by C Tharp - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Presa de Kölnbrein y sistema de bombeo para almacenamiento de energía, Carinthia (Austria)- Verbund malta" by Verbund. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Agricultura en La Rioja (España)- Tractor, La Rioja, Spain" by Raúl Hernández González. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Construcción de infraestructura - Tottenham Court Road Crossrail - London Astoria site September 2009 CB" by carlbob. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Glaciar Express en el viaducto Landwasser (Suiza)- CH Landwasser 2" by Daniel Schwen - Own work. Licensed under CC BY-SA 2.5 via Wikimedia Commons
- Vertido químico en Wakefield (Reino Unido - A big job - geograph.org.uk - 663806" by David Pickersgill. Licensed under CC BY-SA 2.0 via Wikimedia Commons
- Patrimonio mundial de UNESCO - Monte Saint-Michel y su bahía en Normandía (Francia), catalogados por su herencia cultural junto con su belleza natural - MtStMichel avion". Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Presidente Barack Obama visitando la zona dañada de L'Aquila (Italia) tras el terremoto de 2009 - President Barack Obama tour earthquake damage in L'Aquila, Italy - Wednesday, July 8, 2009" by The Official White House Photostream - P070809CK-0208. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons
- Dolina Kárstica en el distrito Biržai (Lituania) - Geology duobė" by Vilensija - Own work. Licensed under CC BY-SA 3.0 via Wikimedia Commons
- Hielo fundiéndose en el perímetro de un glaciar en Groenlandia - Greenland melt pond 2 (7637755560)" by NASA ICE - Greenland melt pond 2Uploaded by russavia. Licensed under CC BY 2.0 via Wikimedia Commons
- Contaminación atmosférica: salida de humo de una torre - Air pollution smoke rising from plant tower" by U.S. Fish and Wildlife Service. Licensed under Public Domain via Wikimedia Commons

Cover image: Europe lights. © NPA Satellite Mapping: CGG. All rights reserved. No reproduction, copy or transmission of these images may be made without written permission. NPA are Corporate Affiliates of the Geological Society and have specialised in the use of satellite imagery, exploration of the Earth's resources, environment and hazards since 1972. Please visit [npa.cgg.com](http://npa.cgg.com).