

## GEM

### MODELO GLOBAL DE AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO



**Fenómenos solares**  
y sus repercusiones  
en la Tierra

**Descargas eléctricas atmosféricas**  
Origen, impactos y sistemas  
de protección

**Volcanes**  
Una ventana de tiempo  
hacia el pasado

## CONTENIDO

	<b>GEM</b> MODELO GLOBAL DE AMENAZA Y RIESGO SÍSMICO
04	<b>INCENDIOS FORESTALES</b> ORIGEN E IMPACTOS EN LOS ECOSISTEMAS
12	
20	<b>DESCARGAS ELÉCTRICAS ATMOSFÉRICAS</b> ORIGEN, IMPACTOS Y SISTEMAS DE PROTECCIÓN
30	
36	<b>VOLCANES</b> UNA VENTANA DE TIEMPO HACIA EL PASADO
	<b>FENÓMENOS SOLARES</b> Y SUS REPERCUSIONES EN LA TIERRA



## COMITÉ EDITORIAL

**Gonzalo Alberto Pérez Rojas**  
Presidente Suramericana S. A.

**Adelaida Del Corral Suescún**  
Dirección. Taller de Edición S. A.

**Juana Francisca Llano Cadavid**  
Vicepresidente de Seguros Suramericana S. A.

**Gloria María Estrada**  
Vicepresidente de Riesgos Suramericana S. A.

En SURA estamos convencidos que el conocimiento aplicado a la gestión de riesgos incide positivamente en el desarrollo sostenible de un país. Y, en ese sentido, reconocemos la importancia de la gestión de los riesgos naturales como un indicador de competitividad.

Esta realidad no es ajena a nuestra estrategia como compañía, razón por la cual, en el marco del modelo de Gestión de Tendencias y Riesgos –GTR– de SURA, venimos ampliando sistemáticamente el alcance de nuestras redes aliadas conformadas por entidades académicas y de investigación, organismos públicos y estatales, y empresa privada, con las cuales trabajamos iterativamente, entregando y recibiendo conocimiento e información que nos permite al final del día, brindar competitividad y capacidad de resiliencia a personas y empresas.

En este contexto, SURA tomó la decisión desde el 2013 de vincularse a la iniciativa Global Earthquake Model (GEM), una asociación público-privada sin ánimo de lucro, cuyo principal objetivo es evaluar y comunicar el riesgo sísmico en el mundo a través de la investigación y la transferencia del conocimiento con el fin de preservar vidas y mitigar pérdidas económicas. De esta manera, la iniciativa GEM crea un puente entre el rigor científico y las comunidades expuestas a este tipo de fenómenos por medio de la democratización del conocimiento, todo esto fundamentado en unos principios de credibilidad, apertura, transparencia y trabajo colaborativo, pilares plenamente alineados con nuestra filosofía.

Queremos aprovechar esta quinta edición de la revista Geociencias SURA como un instrumento más de divulgación acerca del valor de esta iniciativa mundial, que permita a nuestros lectores tener un contexto más profundo respecto a la forma como se ha venido gestionando la resiliencia sísmica en el mundo, los principales resultados del modelo, los beneficios de esta iniciativa y su mirada prospectiva hacia los años futuros respecto al estudio de otro tipo de amenazas naturales.

Adicionalmente, esta quinta entrega de la revista aborda la descripción de ciertos fenómenos naturales con los que, de una u otra forma, hemos aprendido a convivir: incendios forestales, que de forma natural ayudan a equilibrar ciertos ecosistemas, pero que debido a su uso no controlado para otros fines generan cada año la pérdida de grandes extensiones de biomasa en el mundo; volcanes, cuya estrecha relación entre su localización geográfica con el Cinturón del Fuego del Pacífico, inciden en que muchas poblaciones de nuestra región estén asentadas muy cerca de estos; descargas eléctricas atmosféricas, las cuales hacen parte de nuestra cotidianidad pero cuya ocurrencia deja pérdidas importantes año a año; y fenómenos solares, ligados con la continuidad de telecomunicaciones y sistemas tecnológicos en la Tierra.

Es un hecho que no debemos subestimar los potenciales impactos para el medio ambiente, nuestra seguridad y la continuidad en las operaciones de nuestros negocios a causa de la materialización de estas amenazas, por lo que, mediante el contenido de esta quinta edición queremos profundizar en el entendimiento sus orígenes, sus impactos y las medidas de mitigación de estos fenómenos naturales.

Esperamos que nuestros lectores encuentren en esta nueva edición de la revista Geociencias SURA información relevante que les permita contar con elementos de juicio para evaluar la vulnerabilidad a diferentes escalas e implementar las medidas necesarias para ser resilientes ante su eventual materialización.

**GONZALO ALBERTO PÉREZ ROJAS**  
Presidente Suramericana S.A.

# GEM: modelo global de amenaza y riesgo sísmico

**SURA tiene la firme convicción de la importancia que tiene la naturaleza como fuente de tendencias y riesgos. Por esto, conocer y entender su dinámica abre un mundo de posibilidades de gestión para el bienestar y el desarrollo sostenible de la sociedad, las personas y las empresas.**

## Ana María Cortés Zapata

La Fundación Global Earthquake Model (GEM) —Modelo Global de Terremotos en español— es una asociación sin ánimo de lucro establecida en 2009 con el propósito de crear un mundo más resiliente a los sismos. La misión de GEM es convertirse en una de las más completas fuentes de conocimiento sobre riesgo sísmico globalmente aceptada, y garantizar que sus productos sean aplicados en la gestión del riesgo sísmico en todo el mundo.

El desarrollo de la sociedad y el intercambio de conocimiento son parte integral de los principios de GEM (abierto, colaborativo, creíble y de bien público), principios con los cuales SURA se conecta.

La alianza de SURA con GEM nace en el marco de ese gran desafío de conocer y entender la naturaleza y su dinámica, como un medio de observación en torno a la amenaza y el riesgo sísmico. SURA se encuentra trabajando en colaboración con GEM en aprovechar la ciencia y los datos para poner todo este conocimiento a disposición de las personas y las empresas, con el fin de aportar a la construcción de ciudades resilientes.



*Patrocinar este tipo de iniciativas está alineado con nuestra estrategia corporativa porque estamos convencidos de que el conocimiento debe ser la base para la gestión de tendencias y riesgos”.*

Juana F. Llano, Vicepresidenta de Seguros Corporativos de Suramericana S. A.

## ↓ GESTIÓN DE LA RESILIENCIA SÍSMICA EN EL MUNDO

GEM tiene como objetivo aumentar la resiliencia de las comunidades ante eventos sísmicos. Para lograr este objetivo, la fundación ha enfocado sus esfuerzos, no solo

en calcular la amenaza, el riesgo sísmico y en estimar los factores sociales y económicos que pueden incrementar el daño físico, sino, también en desarrollar herramientas e intercambio de conocimientos que permitan a los gobiernos y a los tomadores de decisiones de las empresas trabajar en prevención, recuperación y potencialización de nuevas capacidades, proteger a las personas y salvar vidas.

En consonancia con lo anterior, el 5 de diciembre de 2018 GEM presentó el “modelo global de amenaza y riesgo sísmico”, el cual proporciona un punto de referencia para evaluar el riesgo sísmico. Este modelo, comparable a escala mundial y de dominio público, cuenta con los siguientes componentes:

**Amenaza:** permite observar qué zonas del mundo cuentan con mayor o menor probabilidad de ocurrencia de eventos sísmicos.

**Exposición:** clasifica la cantidad de personas y el número de edificaciones a nivel global según su uso (residencial, industrial y comercial) y sus características físicas (material de construcción y número de pisos).

**Vulnerabilidad:** caracteriza el comportamiento de las edificaciones ante la posible ocurrencia de terremotos, de acuerdo con las propiedades físicas de cada estructura.

Los sismos no conocen fronteras. Por esta razón, expertos de cada país (científicos e ingenieros), liderados por la fundación GEM, unieron esfuerzos para construir un modelo común. En palabras del Ph. D. John Schneider: “La inclusión de expertos locales es de vital importancia para lograr la aceptación de los modelos desarrollados a nivel local, nacional y regional. Esta participación promueve un sentido de propiedad del riesgo por parte de la comunidad y es fundamental para lograr que las comunidades sensibilicen al público y mitiguen o reduzcan el riesgo”.

La colaboración entre los sectores público, privado y la academia fue clave para el desarrollo del modelo global de amenaza y riesgo sísmico, en el cual estuvieron involucrados centros de investigación, organizaciones de prevención de desastres y patrocinadores privados, como SURA. Gracias a esta multiplicidad de actores profesionales, se realizaron diferentes investigaciones que sirvieron de insumo en el desarrollo del modelo global.

De acuerdo con el Ph. D. Marco Pagani, coordinador de Amenaza de la fundación, “el mapa de riesgo sísmico, desarrollado por GEM, constituye el primer gran esfuerzo global desde 1999, cuando se realizó la primera iniciativa de amenaza sísmica por parte del Programa de Evaluación de amenaza sísmica global” (GSHAP, por sus siglas en inglés).

Para el desarrollo del modelo se utilizaron:

- Datos estandarizados de más de 20.000 grandes sismos ocurridos en los últimos 110 años en todo el mundo.
- Información de 70.000 estaciones de GPS.
- Información específica sobre fallas activas importantes.
- Datos sobre edificios e infraestructura de todo el mundo y sobre la vulnerabilidad de las personas ante los sismos.

Con toda esta información, las personas y empresas pueden tomar mejores decisiones para la gestión del riesgo sísmico y estar mejor preparadas para evitar consecuencias desfavorables que impacten el desarrollo y la continuidad de sus operaciones. Los mapas serán cargados a la plataforma GeoSURA, plataforma que SURA tiene a disposición de sus clientes. Allí, además de visualizar estos mapas, los usuarios podrán combinar información de su ubicación con los demás datos que la plataforma contiene. De esta manera, podrán tomar decisiones acertadas con una visión más integral.

## ↓ Cómo acceder a la información

### ↓ PLATAFORMA OPENQUAKE

La fundación ha puesto a disposición pública la plataforma OpenQuake, que ofrece un entorno interactivo por medio del cual los usuarios pueden acceder a la información, compartir datos y explorar los modelos y herramientas desarrolladas por GEM para la evaluación integrada del riesgo sísmico. SURA, con el área de Geociencias, maneja la plataforma y apoya a los clientes en el análisis de riesgo sísmico, facilitando la interacción y el análisis de la información.

**Calcular:** permite a los usuarios acceder a las diferentes herramientas desarrolladas por GEM para realizar modelaciones y cálculos de amenaza y riesgo sísmico.

**Compartir:** por medio de este módulo, los usuarios pueden compartir información y complementar los conjuntos de datos existentes.

**Explorar:** permite a los usuarios consultar, explorar y acceder a la información, y ofrece herramientas disponibles para la evaluación integral de riesgo sísmico.

## Modelo global de amenaza sísmica

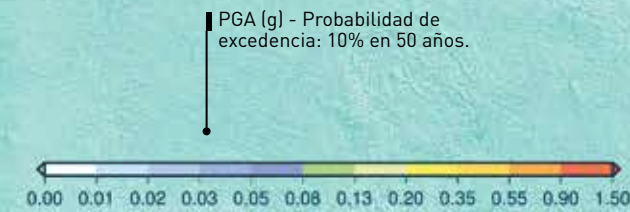
El mapa global de amenaza sísmica de GEM permite observar la probabilidad de que un evento sísmico acontezca en cualquier lugar del mundo. Presenta la distribución geográfica de la aceleración pico del terreno (PGA) con una probabilidad del 10% de ser excedida en 50 años.

En GeoSURA se podrá visualizar el mapa de amenaza sísmica desarrollado en el marco del modelo global de amenaza y riesgo sísmico.

El cálculo de los valores de la amenaza sísmica se realizó mediante el uso del software libre y de código abierto "Open-Quake", desarrollado por la fundación GEM. Los modelos son abiertos y se encuentran disponibles en la página web de GEM.

El modelo de amenaza logró una cobertura global con un total de 30 modelos nacionales y regionales probabilistas de amenaza sísmica. Estos modelos fueron desarrollados por diferentes instituciones y por científicos de la fundación GEM.

El mapa y las bases de datos subyacentes de los modelos son abiertos, es decir, es posible descargar, modificar e incorporar fácilmente nuevos modelos o actualizaciones de los modelos existentes. La fundación GEM planea lanzar actualizaciones de este mapa de manera regular, a medida que se disponga de nueva información.



El modelo de amenaza logró una cobertura global con un total de 30 modelos nacionales y regionales probabilistas de amenaza sísmica.



*SURA patrocina estos esfuerzos científicos que tienen impacto mundial y ayudan a comprender mejor el fenómeno del sismo. Esto permite tomar decisiones con un menor nivel de incertidumbre y, a la vez, estar mejor preparados para realizar una adecuada mitigación del riesgo”.*

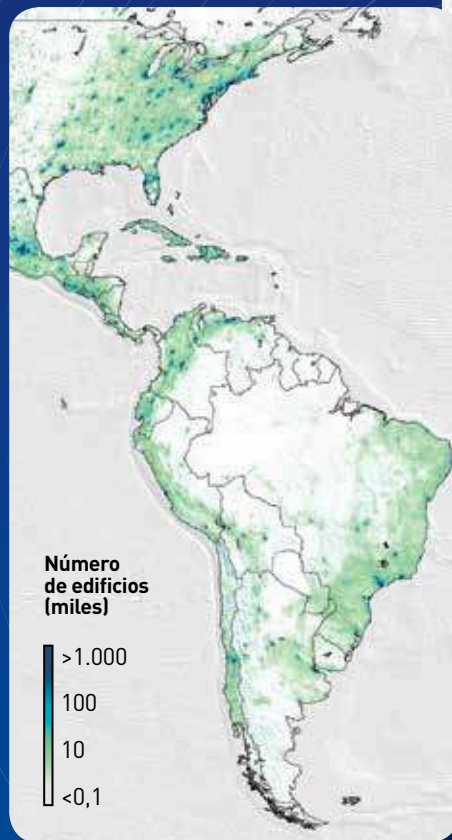
Gloria María Estrada, Vicepresidente de Riesgos Corporativos de Suramericana S. A.

## Mapa global de riesgo sísmico

**Mapa global de exposición:** muestra la distribución geográfica de edificios residenciales, comerciales e industriales de cada país. Para su elaboración se tuvo en cuenta información sobre el tipo de material de las edificaciones, el número de pisos y las prácticas locales de construcción (como el porcentaje de uso de las normas sismo-resistentes locales).

**Mapa global de pérdida de vidas por sismo:** muestra una estimación del promedio anual de pérdidas humanas debido al daño excesivo o colapso estructural de edificios provocado por un sismo.

**Mapa global de riesgo sísmico:** presenta la distribución geográfica de las pérdidas anuales promedio en dólares USD. Con el fin de obtener un mapa global donde los valores de cada país sean comparables, estos valores fueron estandarizados en relación con los costos de construcción promedio de cada país.



El mapa de riesgo de GEM está pensado para ser un producto dinámico que pueda actualizarse cuando estén disponibles nuevos conjuntos de datos y modelos. Los detalles técnicos sobre la compilación de los mapas de amenaza y riesgo y los modelos subyacentes están disponibles en [www.globalquakemodel.org/gem](http://www.globalquakemodel.org/gem)

## BENEFICIOS DEL MODELO

Estos son algunos beneficios del modelo que permiten la prevención del riesgo sísmico y se convierten en insumos para la toma de decisiones estratégicas:

- Brinda mayor conocimiento y comprensión del riesgo sísmico en todas sus dimensiones: características de la amenaza a nivel local y regional, exposición de las personas y bienes, vulnerabilidad física y social. Con esta información, los entes reguladores pueden plantear mejores estrategias para mitigar los efectos de los sismos.
- Permite a los organismos de prevención y atención de desastres construir planes de acción y preparación para la atención de emergencias.
- Estimula la inversión para la creación de ciudades y comunidades resilientes a los efectos sísmicos.
- Facilita un mayor conocimiento de la vulnerabilidad física de las estructuras en cada región, dando la oportunidad de priorizar esfuerzos e incentivar programas de mejoramiento y rehabilitación estructural.
- Permite la creación de mapas de riesgo regionales y locales, útiles para gestionar la adopción de medidas de mitigación.
- Promueve estrategias que permiten educar y sensibilizar a las comunidades acerca de la importancia de reducir el riesgo.
- Apoya el desarrollo o estructuración urbana en los planes de ordenamiento territorial.

## FUENTES

**Ana María Cortés Zapata.** Ingeniera Matemática y M. Sc. en Matemáticas Aplicadas de la Universidad EAFIT. Desde el 2014 se desempeña como profesional en modelación matemática en el área de Geociencias apoyando en temas relacionados con modelación de riesgo sísmico.

**John Schneider.** Geofísico de la Universidad de California (San Diego, Estados Unidos), Ph. D. en Geofísica de la Universidad de Wisconsin. Dirigió el desarrollo del programa australiano para la evaluación de riesgos y el desarrollo de capacidades para la reducción del riesgo de desastres naturales en ese país. Formó el equipo de la cooperación de Australia en el sudeste de Asia y el Pacífico. Fue representante del gobierno australiano ante la junta de gobierno de GEM de 2009 a 2015 y actualmente es el secretario general de esa entidad. Es asesor de la Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres.

**Marco Pagani.** M. Sc. en Ciencias Geológicas y Ph. D. en Ciencias de la Tierra de la Universidad de Milán. Cuenta con más de 20 años de experiencia en análisis probabilista de amenaza sísmica, microzonificación sísmica y análisis de datos. Actualmente es el coordinador del equipo de Amenaza Sísmica en la fundación GEM.

**Vitor Silva.** M. Sc. en Ingeniería Estructural y Ph. D. en Ingeniería de Riesgo de la Universidad de Aveiro (Portugal). Ha participado en estudios de vulnerabilidad estructural y evaluación probabilística de riesgo sísmico en docenas de países. Vitor es editor asociado de "Earthquake Spectra" y es miembro del comité ejecutivo de la "World Housing Encyclopedia". Actualmente es el coordinador del equipo de Riesgo Sísmico en la Fundación GEM.

GEM ha realizado más de 50 talleres de formación y capacitaciones con expertos de cada región alrededor del mundo. SURA ha participado en más de 5 talleres realizados en América Latina, uno de los cuales se llevó a cabo en sus instalaciones, en Medellín, en 2013.

## GEM DESPUÉS DEL MODELO GLOBAL

La fundación seguirá promoviendo fuertemente el desarrollo y el mejoramiento de los modelos y herramientas para la evaluación del riesgo sísmico en el ámbito global, incorporando actualizaciones anuales de los modelos. Para diciembre de 2019 realizará el lanzamiento del "mapa de vulnerabilidad social global y riesgo integrado" (SVIR por sus siglas en inglés). Además, trabajará en torno a otros fenómenos de la naturaleza, como inundaciones, volcanes, tsunamis y deslizamientos, con el fin de hacer de OpenQuake una herramienta aplicable a la evaluación de riesgos múltiples.

Desde 2013, SURA ha patrocinado a la Fundación GEM. En la actualidad se adelantan trabajos en conjunto para profundizar la caracterización de la amenaza y la vulnerabilidad sísmica de América Latina.



ESCANEA este código con tu *smartphone* y conoce las referencias de este artículo.  
[bit.ly/2Gr1css](https://bit.ly/2Gr1css)

# Incendios forestales

## Origen e impactos en los ecosistemas

El fuego es un elemento que ha estado presente desde los inicios de la humanidad y ha sido fundamental en el desarrollo de la vida en el planeta Tierra. Su rol ha sido predominante en la evolución del ser humano y en la dinámica de muchos de los ecosistemas más relevantes de la naturaleza.

Esteban Herrera Estrada

### ¿QUÉ ES UN INCENDIO FORESTAL?

Los incendios forestales son fuegos incontrolables alimentados por condiciones climáticas como la humedad del ambiente y la velocidad de los vientos. Se presentan en todos los continentes del planeta tierra, impactan con mucha fuerza las zonas boscosas y las grandes planicies y hacen parte de los desastres naturales más críticos y frecuentes.

Estos fenómenos se originan por agentes naturales como las descargas eléctricas atmosféricas o las erupciones volcánicas. Sin embargo, en la mayoría de los casos,

son ocasionados por la actividad humana. Entre las causas más frecuentes están los residuos en zonas boscosas que ocasionan chispas o puntos de ignición al contacto con el sol, por ejemplo: botellas de vidrio, colillas de cigarrillos, fogatas, fuegos artificiales, líneas de transmisión de energía o catenarias de vías férreas que generan puntos de contacto directo con la naturaleza a su alrededor; incluso, las quemaduras controladas para la fertilización de suelos con fines productivos pueden salirse de control y causar incendios.

### DETONANTES ANTRÓPICOS



FOGATAS



BOTELLAS DE VIDRIO



CIGARRILLOS



LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



CATENARIAS DE TREN



QUEMADAS CONTROLADAS

### DETONANTES NATURALES



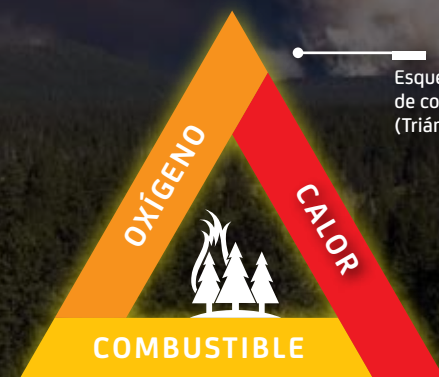
DESCARGAS ELÉCTRICAS



ERUPCIONES VOLCÁNICAS



SEQUÍAS



Esquema del proceso de combustión (Triángulo de fuego).

Hay tres condiciones fundamentales que deben presentarse al mismo tiempo para que un incendio forestal inicie: oxígeno, fuente de calor y material combustible. Estas condiciones integran lo que se conoce como el triángulo de fuego.

### TIPOS DE INCENDIOS FORESTALES

Existen tres clases de incendios forestales que varían según la ubicación de los fuegos, la severidad del fenómeno y su velocidad de propagación:



**Subterráneos:** el material combustible de este tipo de incendios está compuesto por residuos forestales compactados en el suelo, como hojas o madera en descomposición. El fuego se propaga lentamente debido a la ausencia de viento en el subsuelo de los bosques. Es difícil extinguir la llamas debido a la profundidad en la que se encuentran y a los estratos de materia orgánica presente en los suelos.



**Fuego de superficie:** sus llamas se extienden únicamente por la superficie del terreno. Es el incendio que genera menores daños en los bosques y es más fácil de controlar.



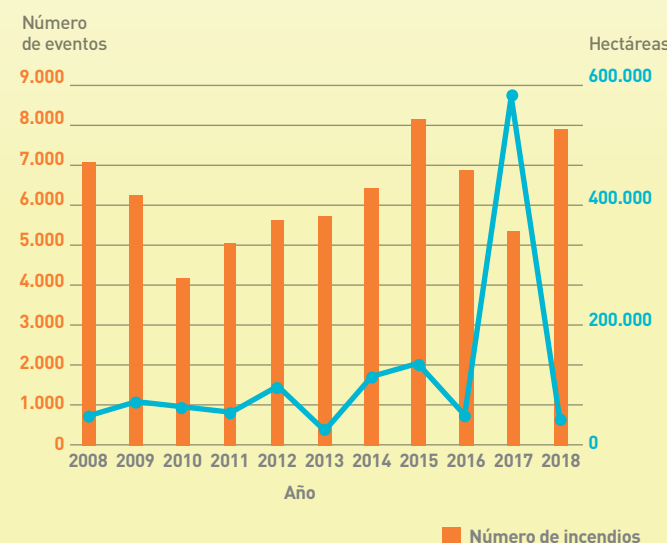
**Fuego de corona o copa:** se propaga por la parte alta de los árboles con mayor rapidez que los fuegos de superficie. La velocidad del viento es clave en el nivel de afectación del área.

### ESTADÍSTICAS ANUALES DE INCENDIOS FORESTALES PARA CHILE Y USA

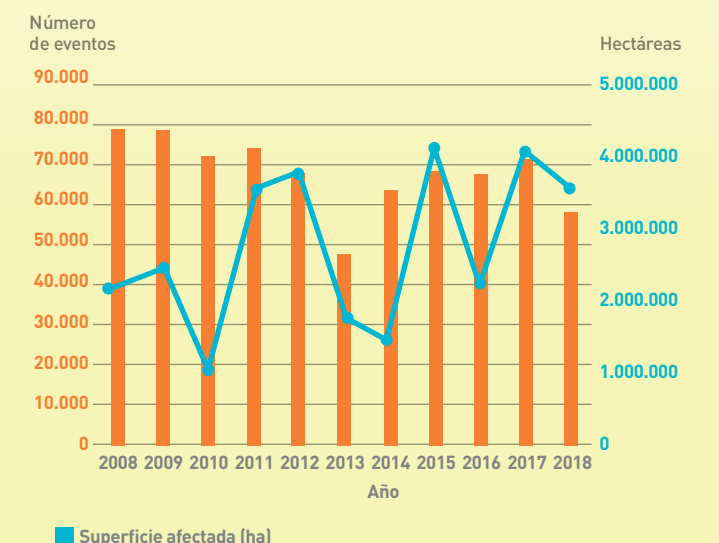
Los daños causados por incendios forestales tienen impacto en todo el planeta. En promedio, anualmente, entre 300 y 600 millones de hectáreas vegetales sufren los efectos de los incendios en el mundo. En el continente americano, por ejemplo, países como Estados Unidos y Chile son afectados considerablemente por las temporadas de fuego. A continuación se muestran las estadísticas anuales de estos fenómenos, según el número de eventos y las áreas totales afectadas en la última década.

En 2018, la Tierra emitió un total estimado de 33,1 billones de toneladas de CO<sup>2</sup> a la atmósfera, de acuerdo con la Agencia Internacional de Energía (IEA), incluyendo todas las posibles fuentes de emisión.

#### Estadísticas anuales de incendios forestales para Chile



#### Estadísticas anuales de incendios forestales para USA



## ⬇ MITIGACIÓN Y CONTROL

Luego de entender cómo es la formación de los incendios forestales y los elementos indispensables para la creación del fuego, la estrategia básica para controlarlos es interrumpir alguno de los tres elementos que forman parte del triángulo de fuego (oxígeno, calor o combustible). Esta interrupción se realiza mediante diferentes métodos, dependiendo de cuál sea el objetivo

o elemento que se quiera suspender. Estos métodos de intervención pueden ser directos o indirectos, dependiendo del frente de acción.

Los métodos de control y mitigación pueden ser complementarios entre sí. Al aplicarlos es posible tener el dominio total de la zona afectada y detener el avance de las llamas en los alrededores.

### Calor

El uso de agua en el combate de incendios forestales es el método más efectivo para la reducción del calor generado en la combustión. El agua y su capacidad para absorber el calor mediante la evaporación constituyen un factor clave en el control de las llamas. Cuando se cuenta con la disponibilidad del recurso se considera como un método directo de control de incendios. Pero, en condiciones donde se presentan dificultades topográficas para acceder al recurso, el uso del agua o retardantes químicos es indirecto y se logra mediante la construcción de cortafuegos de agua o con retardantes que impidan la ignición vegetal en franjas cercanas al evento.



### Combustible

Las grandes dificultades para eliminar por completo el oxígeno en el aire y la poca disponibilidad del agua como recurso para el control de los incendios hacen que los mayores esfuerzos se centren en la eliminación del material combustible de la zona potencialmente afectada. Para esto, existen varias labores que se realizan de manera previa, como la elaboración de cortafuegos en grandes plantaciones forestales y zonas boscosas naturales que interrumpen la vegetación y eliminan en una franja de varios metros de ancho todo el material que pueda servir de combustible; de este modo se impide que el fuego se propague. Otra alternativa para la eliminación del material combustible son las quemas controladas o "franjas de fuego", que consisten en fajas de terreno en la trayectoria del incendio donde se elimina, con fuego controlado, todo agente combustible que pueda potenciar el incendio. Con estas acciones se pretende eliminar el combustible al establecer un cerco al incendio, para evitar así la propagación del mismo hacia áreas más grandes.



### Oxígeno

Para eliminar este elemento lo que se hace, comúnmente, es cubrir con una capa de tierra el material combustible que se encuentra en llamas. También se puede reemplazar el oxígeno presente con vapor de agua. Este es un método de intervención directo; se puede aplicar en caso de incendios forestales de material vegetal de poca altura, en la etapa inicial de los incendios o para el control de focos aislados en situaciones de mayor magnitud.



## ↓ EQUIPO E INSTRUMENTACIÓN PARA EL CONTROL

Los gobiernos y los departamentos encargados de la conservación y la preservación de los ecosistemas en los países deberían estar preparados para combatir las temporadas de incendios forestales que se den en sus territorios. También deben hacer lo propio las

empresas y las personas que tengan grandes extensiones de tierra. Para ello, es indispensable contar con equipamiento e infraestructura que posibiliten una adecuada atención del evento en el menor tiempo posible para disminuir el área afectada.

### DetECCIÓN AÉREA

Se utilizan aeronaves pequeñas que permiten tener una visual amplia de la zona. Junto al piloto va un observador que se encarga de tomar los datos de todos los focos de incendios que se detecten desde la aeronave. La ventaja de este método es la gran área que se puede observar; su mayor dificultad son los costos operativos que genera.



### TERRESTRE FIJA

Son torres de vigilancia construidas en madera, que están ubicadas a gran altura, en cerros que permiten tener una visual extensa de plantaciones y reservas. El ejercicio de monitoreo es constante y, una vez se generan focos de incendio, los guardabosques pueden identificar, rápidamente, el lugar exacto del evento y comunicarse con los entes encargados de la atención de los incendios.



### SISTEMAS TELEVISIVOS

Son circuitos cerrados de televisión que se pueden instalar en los alrededores de las zonas críticas más vulnerables a los incendios forestales. Pueden estar instalados en torres de vigilancia, postes, aeronaves y tener una visual de 360 grados. Requieren, además, un centro alterno de control donde el personal pueda observar todas las cámaras instaladas y dar aviso a las autoridades sobre posibles eventos.



### MAQUINARIA PESADA Y VEHÍCULOS

Helicópteros y aeronaves pequeñas para el transporte de personal, equipo, agua y productos químicos retardantes. Por su gran versatilidad en terrenos remotos, los helicópteros son uno de los principales vehículos utilizados durante una emergencia de incendios forestales.



### HERRAMIENTAS DE MANO PARA SUPRESIÓN TERRESTRE

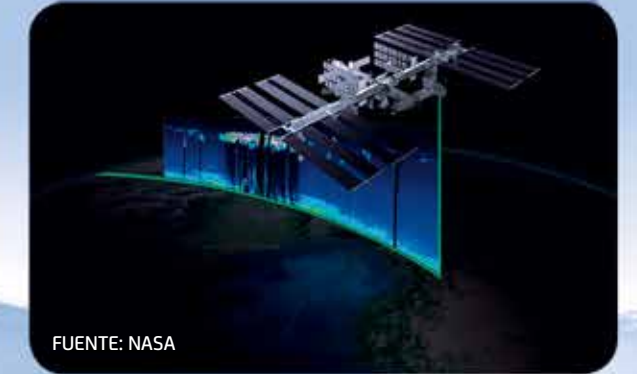
Hachas, palas, rastrillos, motosierras, bombas de agua portátil, lanzallamas y antorchas.

### TERRESTRES MÓVIL

Son cuadrillas establecidas con personal de vigilancia dentro de plantaciones forestales o reservas naturales, que realizan un recorrido determinado a pie o en algún medio de transporte adecuado. La observación no es continua, pues la cuadrilla pasará cada cierto tiempo por un mismo lugar.

### DETECCIÓN SATELITAL

En zonas remotas o en poblaciones que no cuentan con la disponibilidad ni los recursos para desplegar mecanismos de detección, las imágenes satelitales son la fuente más confiable para determinar y observar cómo se desarrollan los incendios forestales. Las imágenes generadas por los satélites de misiones internacionales son fuente de información valiosa para la atención de eventos y, también, para la comunidad académica e investigativa. El seguimiento de eventos a través de imágenes satelitales es un proceso más lento que todos los anteriores, debido a los tiempos de paso de los satélites por una misma zona, las condiciones de nubosidad en la atmósfera y el procesamiento de la información obtenida. Sin embargo, los satélites pueden brindar información de variables físicas relevantes para el control preventivo de incendios forestales, como el contenido de humedad en la vegetación o los cambios en las condiciones de la vegetación. Además, después de un evento, pueden monitorear cómo es la recuperación de una zona y precisar, exactamente, el territorio afectado.



FUENTE: NASA

Las acciones para detectar focos de incendios forestales son el primer paso para culminar la extinción de los fuegos. Cuanto más rápido se detecten, más eficaces serán las operaciones de extinción y se presentarán menos afectaciones.



Cuando los incendios son de gran magnitud y abarcan grandes superficies, es necesario usar aeronaves de mayor capacidad como los tanques aéreos. Son aeronaves de uso militar con una gran capacidad de transporte de agua y autonomía de desplazamiento que se adaptan para el combate de grandes eventos. Incluso, brindan un apoyo a nivel internacional en zonas que no cuentan con aeronaves de este tipo.

## IMPACTO

Los perjuicios que causan los incendios forestales en los ecosistemas y en el medio ambiente están relacionadas con la recurrencia, severidad, intensidad y duración del incendio. La **intensidad** del fuego se asocia con la energía liberada en el incendio forestal y se expresa en términos de calor (calorías) o poder (watts); la **severidad**, por su parte, con los efectos que este genera en el ambiente y en los ecosistemas.

Los impactos de los incendios forestales pueden ser:

**Directos:** mortalidad de animales, vegetación y degradación del suelo.

**Indirectos:** modificación de hábitats, migración de especies, disminución de poblaciones, erosión del suelo, contaminación del agua, deslizamientos de tierra, entre otros.

La disponibilidad de agua potable para las poblaciones y la conservación de la fauna y la flora de una región se afectan por la aparición de fuegos en grandes áreas de un ecosistema.



### En el suelo

Las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos pueden afectarse durante un incendio forestal y esto podría traer consecuencias en el desarrollo de los ecosistemas. El nivel de intensidad del fuego liberado durante el proceso de combustión, el espesor del terreno y la temperatura a la

cual cambian sus propiedades determinarán las afectaciones en los suelos.

La estructura del suelo es el factor físico más relevante que resulta afectado con los incendios forestales, puesto que se puede generar un aumento en la densidad del terreno y una reducción de la porosidad (espacios vacíos ocupados por partículas de aire o agua). Esto deriva en la disminución de la productividad del suelo, debido a la interrupción de la capacidad de infiltración de agua y a los daños irreversibles en la materia orgánica.

Otras propiedades físicas y químicas que pueden sufrir los suelos debido a un incendio forestal son:

- > Capacidad de retención de humedad.
- > Cambio en los contenidos de nutrientes.
- > Expulsión de elementos a la atmósfera de elementos a la atmósfera (emisión de gases).
- > Erosión del terreno afectado.
- > Pérdida del suelo de los bosques por combustión.
- > Reducción o pérdida de la capa orgánica.
- > Aumento de escorrentía (agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno).
- > Alteración (o pérdida) de los microorganismos y su dinámica en la composición del suelo.
- > Eliminación o degradación parcial o total de las raíces de las plantas.
- > Grado de acidez o basicidad (pH).
- > Conductividad eléctrica.
- > Textura.
- > Porosidad.



### En el aire y en la atmósfera

Por su naturaleza intensa y destructiva, los incendios forestales pueden liberar grandes cantidades de gases de efecto invernadero a la atmósfera en poco tiempo, en comparación con otras fuentes emisoras de estos gases.

El humo es una consecuencia de la combustión de bosques y ecosistemas que trae implicaciones en la calidad del aire a escala local y en las condiciones climáticas. La emisión de compuestos orgánicos a la atmósfera y de gases de efecto invernadero en un incendio forestal contribuye con el calentamiento global y, a su vez, con la destrucción de bosques y ambientes forestales, puesto que altera directamente los mecanismos para remover el CO<sub>2</sub> del ambiente. Así mismo, disminuye la visibilidad, lo que influye negativamente en el tráfico aéreo y terrestre.



### En el agua

Los incendios forestales afectan todos los procesos del ciclo hidrológico: interceptación, infiltración, evapotranspiración, retención de humedad del suelo y los flujos naturales del agua. Además, contribuyen con la pérdida de material vegetal y la degradación de las propiedades físicas y químicas de los suelos, que determinan, en gran proporción, cómo se impactará el ciclo natural del agua. Los cambios en el material orgánico y las coberturas de los suelos en las cuencas hídricas a causa de los incendios forestales también tienen implicaciones en este ciclo.

El incendio forestal que ocurrió en California (Estados Unidos) en 2017 muestra el impacto que puede tener este tipo de eventos en el cambio climático. En una semana, este suceso liberó el equivalente a todos los gases que emanarían los carros y camiones de California en un periodo de un año.

## CASO DE ESTUDIO: TORMENTA DE FUEGO EN CHILE (2017)

### Así ocurrió el evento

Entre enero y febrero de 2017, en las regiones chilenas de Coquimbo, Valparaíso, O'Higgins, Maule, Biobío y Araucanía se presentó un fenómeno particular durante la temporada de incendios forestales.

Entre el 1 de enero y el 10 de febrero se consumieron cerca de 520.000 hectáreas, de las cuales un 75% del área estaba conformada por ecosistemas de bosques, incluyendo reservas naturales y plantaciones comerciales.

### Las regiones más afectadas

Maule fue la zona más afectada por los incendios forestales, con una participación del 54% sobre el área total consumida, seguida por Biobío y O'Higgins, con 19% y 17%, respectivamente.

La zona más afectada, denominada "Complejo de incendios de Las Máquinas", cubrió un área de 187.000 hectáreas. Durante 14 horas, en este sector se consumieron alrededor de 115.000 hectáreas, lo que indica un avance de 8.142 hectáreas por hora. Este fenómeno, denominado "Tormenta de fuego", se desarrolló entre la tarde del 25 y la madrugada del 26 de enero de 2017. En esa ventana de tiempo, los incendios en toda la región superaron intensidades del orden de 60.000 kW/m<sup>2</sup> y velocidades de propagación máximas superiores a los 6 km/h. Este fenómeno particular se presentó durante el verano del hemisferio sur del continente americano y registró temperaturas máximas récord en la región central de Chile y largos periodos de tiempo seco.

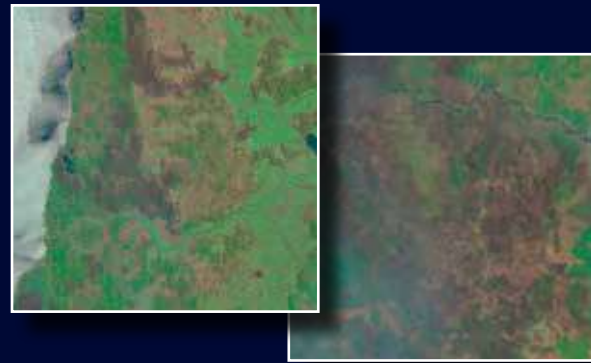
### Anticiclón del Pacífico Sur

La presencia de una tormenta anticiclónica\* (que aumentó la presión entre el océano Pacífico y los Andes), la acumulación de aire caliente y la sequedad de la atmósfera debido a los incendios convergieron en el "Complejo de incendios de Las Máquinas", que ocasionó un ambiente de fuego convectivo. Durante la noche del 25 de enero y la madrugada del 26 de enero, dicho complejo provocó vientos con intensidades cercanas a los 100 Km/h, según el análisis del Mecanismo de Protección Civil de la Unión Europea. Este evento alteró el comportamiento atmosférico de la región y potenció los demás focos de incendios que se desarrollaban en las regiones.



Imágenes Satelitales obtenidas el 18 de febrero de 2017 - Satélite SENTINEL-2

Los fenómenos denominados "Tormentas de fuego" están asociados con fuertes rachas de viento que influyen, drásticamente, en la propagación de las llamas sobre extensas superficies de terreno.



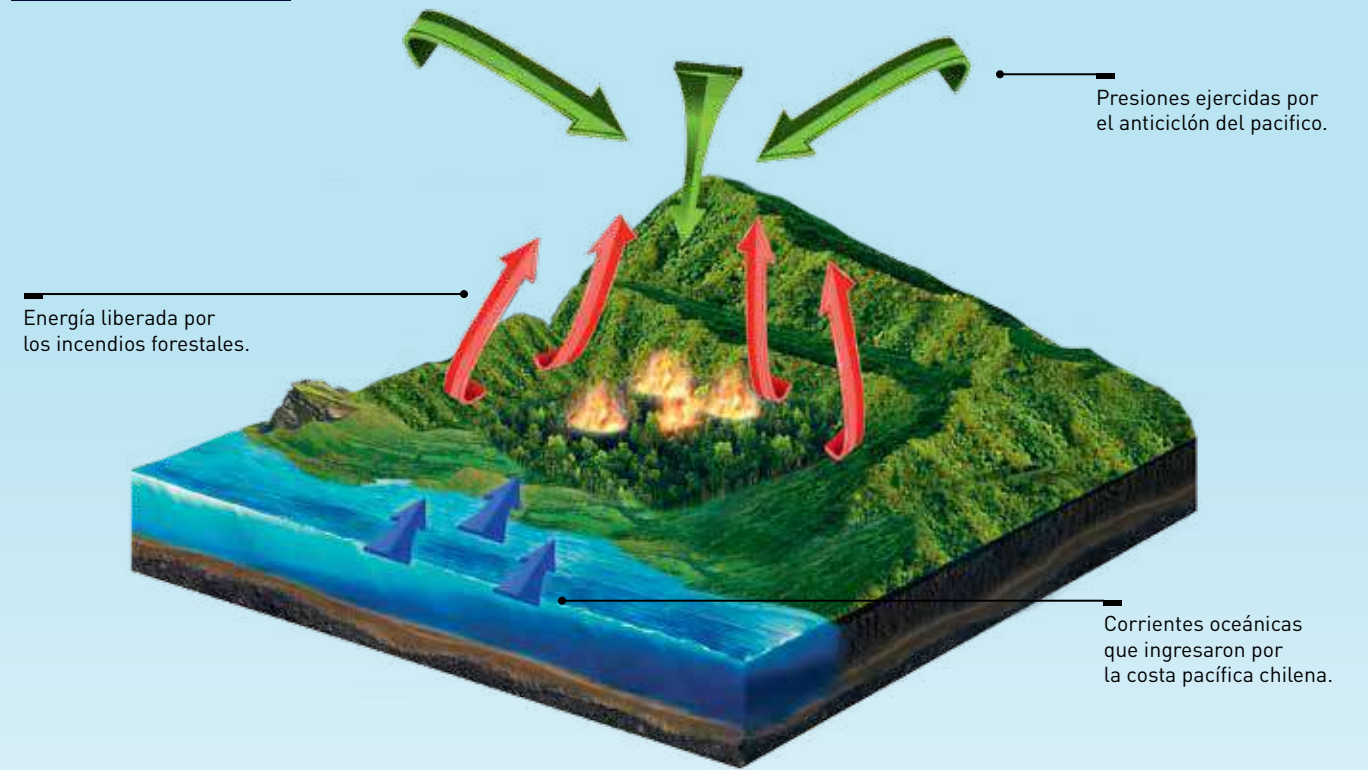
(Procesamiento de imágenes satelitales realizado por Geociencias para identificación de zonas afectadas)

### El fenómeno en cifras

- **25.021 viviendas** resultaron amenazadas durante la emergencia. En total, se afectaron 2.288 hogares.
- **78,2 millones de toneladas** de CO<sub>2</sub> fueron las emisiones de gases de efecto invernadero que se liberaron a la atmósfera durante el evento, una cifra equivalente a 3,5 veces las emisiones del parque automotor de todo Chile.
- **1.300 millones de dólares** es el costo que tuvo que asumir el Estado chileno para cubrir la emergencia, reconstrucción, restauración y recuperación de la zona impactada.

\* Una tormenta anticiclónica es una zona atmosférica caracterizada por altas presiones y masas de aire frío que descienden.

## Fenómeno Tormenta de fuego



### Medidas de mitigación



**64 aeronaves**, nacionales e internacionales, usó el sector público durante la atención de los eventos.



**589 kilómetros** de cortafuegos se construyeron durante el evento.



**3.297 brigadistas** fueron movilizados por la Corporación Nacional Forestal.



**42 millones de litros** de agua se lanzaron desde las aeronaves para el combate de la emergencia forestal.



**76 maquinarias pesadas**, 39 aeronaves y 2.500 brigadistas para la creación de cortafuegos fueron aportadas por el sector privado.

### FUENTES

#### Esteban Herrera Estrada

Ingeniero civil de la Universidad de Medellín y estudiante de especialización en Ingeniería Sismo Resistente de la Universidad Eafit. Desde 2015 trabaja para Suramericana como Analista en el área de Geociencias, trabajando en temas relacionados con riesgos geofísicos.

#### Víctor Hugo Ángel Marulanda

Ingeniero de Sistemas e Informática de la Universidad Nacional de Colombia, y especialista en gerencia de proyectos de la Escuela de Ingeniería de Antioquia. Trabaja en Suramericana desde 2010 y desde entonces se ha desempeñado en diferentes áreas de la compañía. Actualmente es el Director de Sistemas de Información Geográfica del área de Geociencias.



ESCANEA este código con tu *smartphone* y conoce las referencias de este artículo.  
[bit.ly/2Oht167](https://bit.ly/2Oht167)

# Descargas eléctricas atmosféricas

## Origen, impactos y sistemas de protección

Las descargas atmosféricas son uno de los fenómenos más imponentes de la naturaleza, por lo cual, desde épocas muy antiguas nuestros ancestros, maravillados con este fenómeno, asociaron su origen a una expresión del poder de las deidades. Miles de años más tarde, el hombre ha podido desentrañar los procesos físicos que originan este fenómeno natural, lo cual ha permitido diseñar sistemas que mitiguen sus impactos.

**Juan Pablo Restrepo Saldarriaga**

A lo largo de la historia de la humanidad, diferentes culturas han atribuido las descargas eléctricas atmosféricas a manifestaciones de ira o poder de sus respectivas deidades. Este es el caso, por ejemplo, de los antiguos griegos, vikingos, budistas y de algunas comunidades indígenas ancestrales, quienes asociaron este tipo de fenómenos a castigos divinos enviados por Zeus, Thor, Buda o ciertas figuras míticas.

No fue sino hasta la segunda mitad del siglo XVIII que, gracias al trabajo de Benjamin Franklin, se pudo dar una explicación física a este fenómeno, que tiene el potencial de afectar bienes materiales y ocasionar la pérdida de vidas humanas.

### ORIGEN DE LAS DESCARGAS ELÉCTRICAS

Las descargas eléctricas generadas en la atmósfera terrestre pueden ser causadas a partir de erupciones volcánicas, incendios forestales extremadamente intensos, tormentas de nieve o, incluso, tormentas de polvo. Sin embargo, la mayoría de estos fenómenos se producen en las nubes cumulonimbus, conocidas también como nubes de tormenta.

Este tipo de nubes son las causantes de muchos de los fenómenos naturales de tipo atmosférico que representan una amenaza para bienes materiales y para la vida de personas y animales. Huracanes, tornados, lluvias torrenciales, granizadas y descargas eléctricas tienen su origen en las nubes de tormenta, que se caracterizan por tener un gran desarrollo vertical.

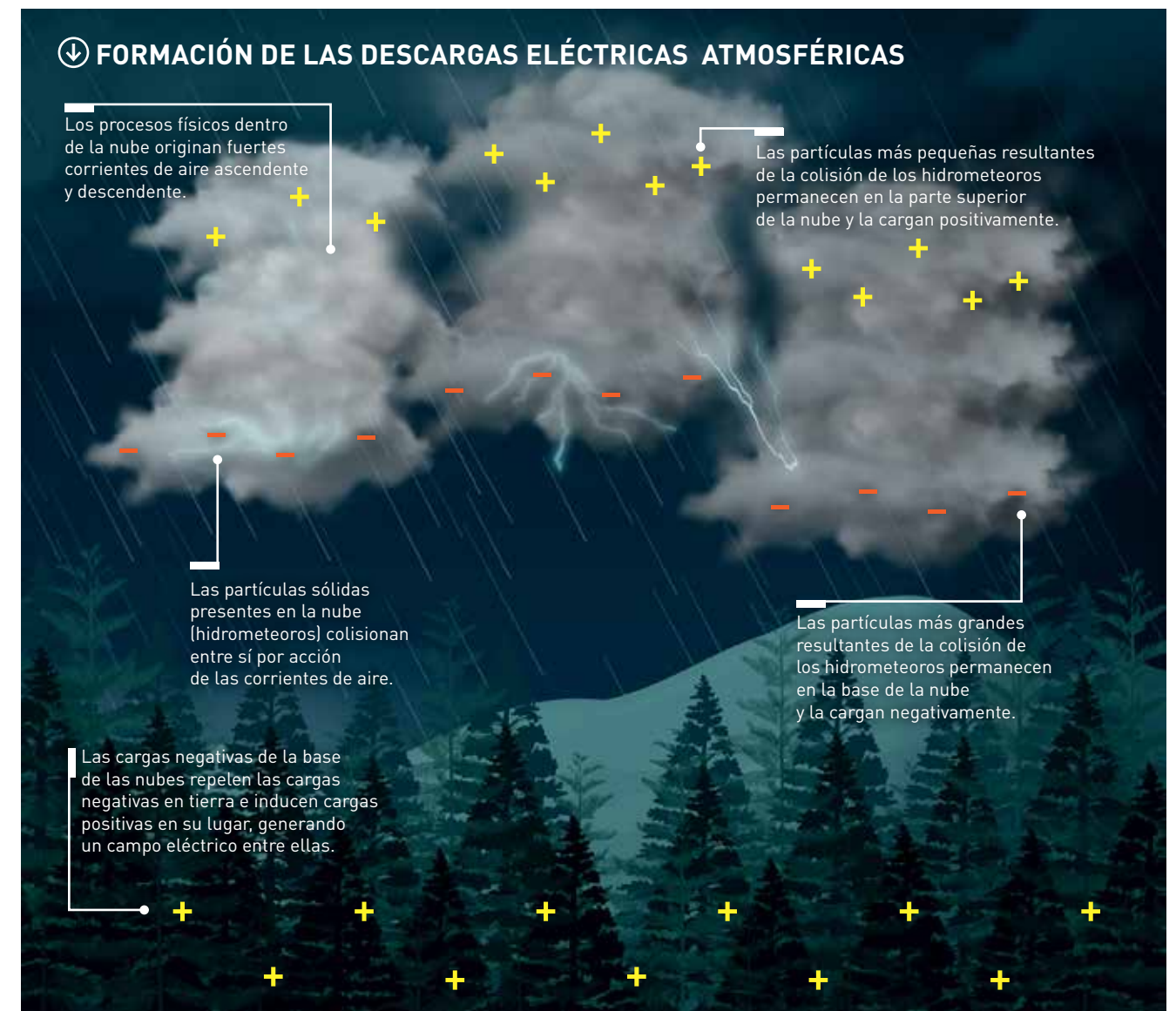
Las nubes cumulonimbus presentan fuertes corrientes de vientos ascendentes y descendentes en su interior, originados por las diferencias de temperatura entre la superficie terrestre y la alta atmósfera. Estas corrientes tienen la capacidad de mover a gran velocidad las partículas de hielo, nieve y gotas de agua contenidas dentro de la estructura de la nube, conocidas también como hidrometeoros.

Los hidrometeoros se mueven caóticamente al interior de la nube, colisionando entre sí, lo que hace que se carguen eléctricamente, como explica el Ph. D. Silverio Visacro, profesor y jefe del Centro de Investigaciones de Descargas Atmosféricas de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG) de Brasil. Durante estas colisiones, las partículas más grandes se cargan negativamente y, por su tamaño, permanecen en la base de la nube debido a la fuerza de gravedad, mientras que las partículas más pequeñas se cargan positivamente y permanecen en las capas más altas de la nube. Esta distribución de cargas

hace que la parte inferior de la nube quede cargada negativamente y, la parte superior, positivamente.

Por otra parte, la superficie de la Tierra cuenta con una carga ligeramente negativa. Sin embargo, cuando una nube de tormenta se forma, la carga negativa en la base de la nube es lo suficientemente grande para repeler las cargas negativas que se encuentran en el suelo. Por lo tanto, el suelo y cualquier objeto que esté debajo o cerca de la tormenta se carga positivamente, generando un campo eléctrico que es el principio para que se genere la descarga.

Dadas las condiciones descritas, el siguiente paso necesario para generar una descarga eléctrica es establecer un canal de conexión entre las cargas opuestas, pues el aire es un mal conductor eléctrico. Sin embargo, cuando la diferencia entre las cargas opuestas es muy grande, este potencial vence la resistencia del aire que comienza a cargarse eléctricamente mediante un proceso conocido como ionización.



Durante el proceso de ionización, las cargas negativas, buscando establecer un canal de conexión con las cargas positivas, rompen la capacidad aislante del aire y comienzan a fluir libremente, formando ramificaciones y generando una ruta principal de paso en un proceso conocido como *stepped leader*, en inglés. Cuando la ruta principal de paso se encuentra a unos 50 metros de establecer conexión con las cargas positivas, estas últimas son atraídas y vencen, igualmente, la resistencia del aire, estableciendo el canal

de conexión y dando lugar a la descarga eléctrica, la cual es también conocida como corriente de retorno.

Puede ocurrir que después de la descarga eléctrica principal o corriente de retorno queden excesos de cargas negativas en la nube, las cuales fluyen por el mismo canal establecido inicialmente, generando una segunda, tercera o cuarta descarga consecutiva, dependiendo del exceso de cargas en la nube. En estos casos no se observan ramificaciones durante el proceso.

### PROCESO DE DESCARGA NUBE - TIERRA



Se estima que tanto la ruta principal de paso como la descarga eléctrica principal se mueven aproximadamente a 320.000 km/h.

- (a)** Ramificación de la ruta principal de paso mientras se vence la resistencia del aire.
- (b)** Instante previo a la conexión de la ruta principal de paso, con las cargas positivas en tierra.
- (c)** Conexión de la ruta principal de paso con las cargas positivas y descarga eléctrica.

#### Conceptos claves para entender el fenómeno

**Rayo:** nombre comúnmente asignado a las descargas eléctricas atmosféricas.

**Relámpago:** se refiere a la energía visible asociada a la descarga eléctrica atmosférica.

**Nivel cerámico o nivel ceráuneo:** hace referencia al número de días con tormentas al año en

determinada región geográfica. Es utilizado donde no hay disponibilidad de mediciones directas de las descargas directas a tierra.

**Trueno:** es el sonido causado por la descarga eléctrica atmosférica. Se da como consecuencia del calentamiento del aire circundante al canal de descarga.

### PRINCIPALES TIPOS DE DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

#### Nube-ionosfera

Estudios realizados en las décadas de los ochenta y noventa permitieron identificar que existe un rango de descargas atmosféricas que ocurren desde la parte superior de las nubes cumulonimbus hacia la ionosfera. Esta es una capa de la atmósfera terrestre que se extiende entre los 80 y los 500 kilómetros de altitud y se caracteriza por tener grandes procesos de ionización que permiten la concentración de electrones libres.

#### Intranubes

Son el tipo de descargas eléctricas más comunes en la atmósfera. Ocurren entre dos cargas opuestas en la misma nube. Aunque generalmente se presentan dentro de los límites físicos de esta, también es posible que algunas veces se salgan de su entorno; es ahí cuando se puede apreciar la ramificación del rayo, tal y como se observa en las descargas nube-atmósfera.

#### Nube-nube

Se presenta cuando hay descarga eléctrica entre dos cargas eléctricas opuestas, presentes en dos nubes que se encuentran a una determinada distancia.

#### Nube-tierra

Se presentan cuando hay unas transferencias de cargas eléctricas entre la atmósfera y la tierra. La mayoría de estas descargas se presentan desde las nubes hacia la tierra (descargas descendentes), pero también es posible que se presenten desde la tierra hacia las nubes (descargas ascendentes). Aunque las descargas nube-tierra no son las más comunes, sí representan un mayor peligro para las personas y los bienes materiales, respecto a los demás tipos de descargas.



*La distribución geográfica de las descargas nube - tierra está muy ligada a la orografía y a la dinámica local de tempestades; sin embargo, las regiones tropicales se caracterizan por una mayor frecuencia de descargas descendentes, mientras que en la zonas extratropicales con menores temperaturas se presentan más descargas ascendentes que en el trópico”.*

Ph. D. Silverio Visacro, experto en descargas eléctricas atmosféricas y profesor investigador de la Universidad Federal de Minas Gerais, Brasil.

## ↓ DISTRIBUCIÓN GLOBAL

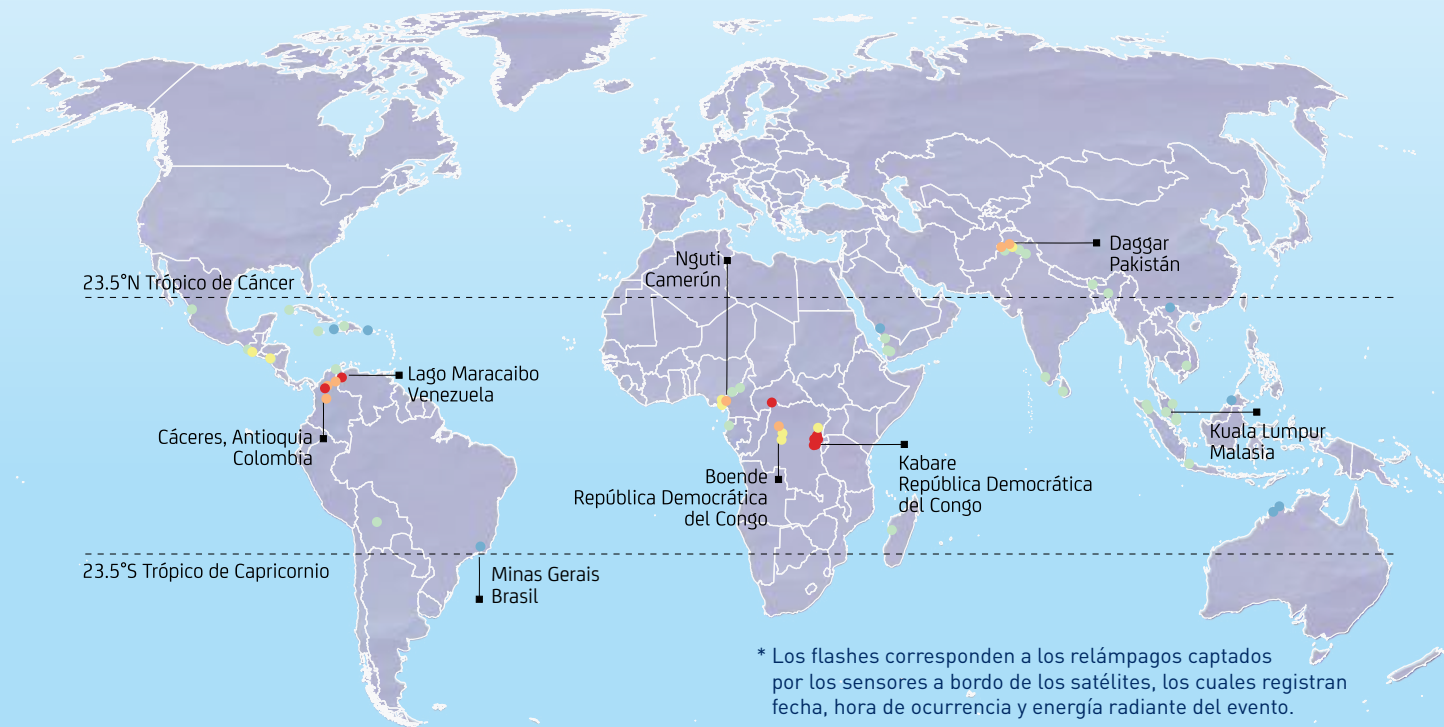
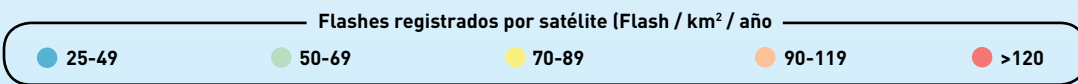
Si bien existen varios instrumentos de medición para determinar la localización de una descarga eléctrica atmosférica, los avances recientes en sensores remotos como los satélites han ampliado el espectro para determinar mejor la distribución global de este fenómeno. Los sensores satelitales detectan la actividad eléctrica en la parte superior de la nube a partir de sensores ópticos o de temperatura, los cuales miden las descargas internas de las nubes; sin embargo, tienen la desventaja de no detectar las descargas tipo nube-tierra.

Para este último tipo de descargas existen otros instrumentos más precisos como dispositivos electromecánicos, como explica el Ph.D Silverio Visacro.

A partir de los registros de los sensores satelitales, es posible concluir que las descargas eléctricas se presentan en cualquier lugar de la Tierra. Sin embargo, las zonas donde se concentra la mayor densidad de descargas se localizan en la región tropical, comprendida entre los trópicos de Cáncer y Capricornio.

Esta región presenta una mayor exposición a la radiación solar respecto al resto del globo terrestre, por lo cual su temperatura superficial es mayor. Esto marca una alta diferencia de temperaturas con la alta atmósfera que favorece los procesos convectivos que dan origen a las tormentas eléctricas.

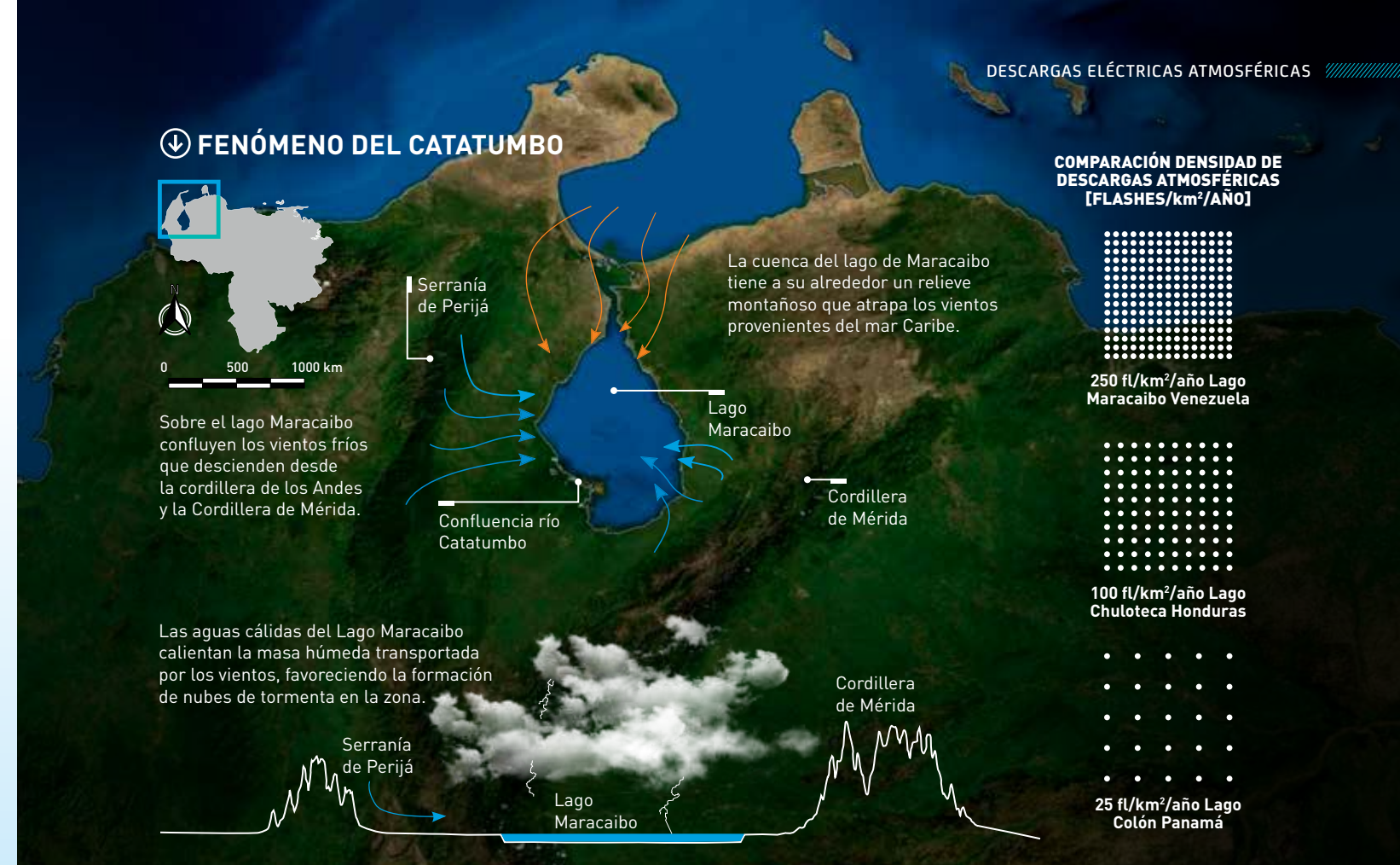
## ↓ Lugares del mundo con mayor actividad de descargas según sensores satelitales



\* Los flashes corresponden a los relámpagos captados por los sensores a bordo de los satélites, los cuales registran fecha, hora de ocurrencia y energía radiante del evento.

A pesar de que las zonas ubicadas en el trópico presentan una mayor cantidad de descargas eléctricas atmosféricas respecto a la distribución global, existen otros factores adicionales —como la topografía regional, la forma y la extensión del litoral o las líneas costeras y la dinámica de las lluvias locales— que inciden en que dentro de las zonas ubicadas en el trópico haya regiones con mayor densidad de descargas que otras.

Un ejemplo de los efectos locales sobre la densidad de descargas eléctricas se presenta en la confluencia del río Catatumbo con el lago de Maracaibo, en Venezuela, el cual es conocido como uno de los puntos geográficos donde se registra más actividad, con aproximadamente 250 relámpagos por kilómetro cuadrado cada año, razón por la cual este fenómeno es ampliamente conocido en Venezuela como el “Relámpago del Catatumbo”.



## ↓ IMPACTOS

Las descargas eléctricas atmosféricas pueden tener impactos significativos, tanto para la seguridad de las personas como para los bienes materiales. Aunque es difícil establecer una cifra confiable debido a la falta de información y de reportes, se estima que este fenómeno causa en promedio la muerte de 2000 personas cada año, según un informe de la National Geographic.

En cuanto a los costos materiales asociados a este fenómeno, se estima que solo en Estados Unidos las pérdidas económicas pueden exceder los ocho millones de dólares por año, según cifras reportadas por el Instituto Nacional de Seguridad contra Rayos de los Estados Unidos.

Existen muchas formas de clasificar los daños materiales que puede generar una descarga eléctrica. Sin embargo, es posible agrupar las mayores afectaciones en tres categorías principales:

**Daños por incendios:** representan quizá la mayor amenaza debido a su severidad, ya que, además de causar pérdidas materiales, pueden comprometer la vida y la seguridad de las

personas. Los incendios asociados a las descargas eléctricas pueden presentarse tras el impacto de un rayo sobre instalaciones de madera u otro tipo de materiales inflamables y, por lo general, son iniciados por lo que se conoce como “rayos calientes”.

Este tipo de descargas eléctricas presenta una corriente continua, en la cual la electricidad fluye por un periodo de tiempo mayor a una descarga eléctrica normal, generando el calor necesario para iniciar el incendio.

Otra fuente de incendios asociada a las descargas eléctricas atmosféricas se presenta cuando los rayos impactan cerca o directamente sobre estructuras que contienen materiales inflamables.

Este tipo de eventos, en los que se presentan explosiones o liberación de sustancias peligrosas al medio ambiente como consecuencia de un fenómeno natural, son conocidos como Natech (Natural Hazard Triggering Technological Disasters). Según investigaciones realizadas, cerca del 61% de estos eventos son detonados por descargas eléctricas atmosféricas, siendo la industria petroquímica y la aceitera las más afectadas.

**Natech son los fenómenos de origen natural provocados por la combustión de materiales inflamables o la liberación de sustancias peligrosas al medioambiente que causan pérdidas fatales y económicas, así como contaminación. Según investigaciones realizadas, cerca del 61% de este tipo de eventos son detonados por impactos de descargas eléctricas atmosféricas.**

**Daños por sobrecargas de energía:** las descargas atmosféricas rara vez impactan, de manera directa, dispositivos eléctricos o electrónicos. Este tipo de daños, causados generalmente por impactos en líneas de energía, causan un incremento en el voltaje de las líneas de transmisión. También pueden ser causados por sobretensiones inducidas, las cuales producen una caída en el voltaje. En ambos casos, los dispositivos que se encuentren conectados a una fuente de energía en el momento del impacto pueden dañarse.

Los daños en dispositivos electrónicos pueden generar otro tipo de perjuicios que repercuten en pérdidas económicas mucho mayores cuando hay procesos industriales que dependen de la continua operación de estos equipos, tales

como sistemas de monitoreo, ventilación, telecomunicaciones, entre otros. Por esta razón, es importante contar con sistemas de protección adecuados y equipos auxiliares que garanticen la continuidad en las operaciones.

**Daños asociados a ondas de choque:** las descargas eléctricas atmosféricas generan ondas de choque al calentar el aire. Dichas ondas las percibimos como truenos. Cuando se presentan a una distancia muy cercana de una estructura, pueden llegar a ser destructivas; son capaces de fracturar concreto, ladrillos, bloques de hormigón y paredes de yeso. Además, estas ondas pueden romper vidrios y crear grietas y zanjas en el suelo.

### ⬇ SISTEMAS DE PROTECCIÓN

Las descargas eléctricas atmosféricas pueden impactar estructuras e instalaciones y causar daños en zonas cercanas y en servicios conectados.

Al respecto, el Ph. D. Silverio Visacro resalta que, a pesar de que estos fenómenos pueden afectar la operación y continuidad de los negocios, existen sistemas de protección, externos e internos, que permiten mitigar su impacto sobre estructuras, instalaciones y equipos:

**Sistemas de protección externa:** este tipo de sistemas busca disipar o canalizar la energía de un rayo de manera segura, minimizando el daño en las personas, los equipos y las estructuras.

**Sistemas de protección interna:** son usados para mitigar los riesgos que podrían presentarse como consecuencia de la energía del rayo. Se componen de dispositivos que regulan las sobretensiones, los cuales desvían la energía que puede entrar a la estructura a través de los elementos conductores que abastecen de servicios, como comunicaciones o tuberías metálicas.

Los pararrayos son los tipos de protección más conocidos. Su función es atraer las descargas eléctricas y canalizar su energía hacia tierra por medio de un conjunto de elementos como puntas captadoras, bajantes y sistema de puesta a tierra. De esta forma se evita que las descargas impacten directamente la estructura causando daños a las mismas o a sus contenidos.



Los árboles aislados y altos funcionan como pararrayos naturales. Esto, sumado a un fenómeno llamado "descarga lateral" en el cual el rayo "rebota" e impacta objetos cercanos, es la razón por la cual no se debe buscar refugio bajo estos elementos durante una tormenta, como explica el Ph. D. Silverio Visacro.

Los rayos pueden impactar eventualmente sobre redes cableadas de servicios, induciendo sobrevoltajes que pueden ocasionar daños en dispositivos eléctricos y electrónicos si no se tienen los correspondientes sistemas de protección interna.

### ⬇ RECOMENDACIONES DURANTE UNA TORMENTA ELÉCTRICA



Las descargas eléctricas atmosféricas pueden representar un peligro latente para las personas cuando se ven sorprendidas por una tormenta mientras realizan actividades a campo abierto. Las actividades comúnmente asociadas al impacto de descargas atmosféricas en personas son:

- > **Actividades en aguas abiertas:** navegación en pequeñas embarcaciones, pesca, natación.
- > **Trabajos realizados en campo abierto:** con maquinaria agrícola, en carreteras, entre otros.
- > **Hablar por teléfono.**
- > **Reparación o uso de dispositivos eléctricos.**

- > **Práctica de deportes en campo abierto:** fútbol, golf, montañismo, bicicleta, camping, entre otros.

Existe una serie de recomendaciones que se deben tener en cuenta antes y durante una tormenta eléctrica para reducir el riesgo de afectación por las descargas producidas:



Postergar las actividades a campo abierto, como las prácticas deportivas.



Remover ramas flojas o secas de árboles que puedan caer durante la tormenta y causar daños.



Buscar resguardo al interior de casas, edificios o autos, en caso de estar en medio de un campo abierto.



Evitar tomar duchas durante una tormenta eléctrica, ya que la plomería y algunos accesorios del baño pueden conducir la electricidad.



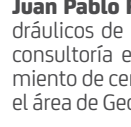
Evitar el uso de teléfonos alámbricos.



Desconectar dispositivos eléctricos y electrónicos, como computadores.



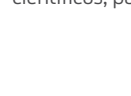
Evitar acercarse a pararrayos naturales, como árboles altos y aislados en un área abierta.



No transitar por colinas, puntos altos, campos abiertos y playas.



Eludir cobertizos o pequeñas estructuras aisladas en áreas abiertas.



No operar o conducir tractores, maquinaria agrícola, motocicletas, carros de golf y bicicletas.



En caso de estar cerca de bosques, se recomienda buscar refugio en áreas donde haya pequeños arbustos.



En áreas abiertas, es recomendable desplazarse hacia lugares bajos del terreno, como pequeños valles.



En caso de estar en aguas abiertas, es recomendable ir a tierra firme y buscar refugio inmediatamente.

#### FUENTES

**Juan Pablo Restrepo.** Ingeniero civil y especialista en Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia. Ha trabajado en consultoría en estudios hidrológicos para el diseño y dimensionamiento de centrales hidroeléctricas, y actualmente se desempeña en el área de Geociencias, realizando estudios hidrológicos e hidráulicos.

**Silverio Visacro Filho.** Ingeniero eléctrico, M. Sc. de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, y Ph. D de la Universidad de Río de Janeiro. Actualmente es profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica y jefe del Centro de Investigación de Descargas Atmosféricas de la UFMG. Ha desarrollado un gran número de proyectos de investigación y es autor y coautor de más de 280 artículos científicos, publicados en revistas y conferencias internacionales.



**ESCANEA** este código con tu *smartphone* y conoce las referencias de este artículo.  
[bit.ly/32Sj714](https://bit.ly/32Sj714)

# Volcanes una ventana de tiempo hacia el pasado

Los volcanes hacen parte de la caracterización geográfica de algunos países y dan un toque paisajístico que atrae a miles de turistas. Además, esconden historias, culturas y economías que describen e identifican las regiones donde se ubican. ¿Cuál es su propósito en la Tierra y cuánto nos pueden afectar o beneficiar?

Victoria Luz González Pérez

A lo largo de la historia, los volcanes han sido fuente de inspiración para diversas culturas debido a su imponencia y majestuosidad. La palabra "volcán" proviene del latín *Vulcano*, dios del fuego en la mitología romana, encargado de forjar el hierro y de crear las armas que portaban los dioses y héroes de Roma. Sin embargo, existieron otras culturas, como la Maya y la Azteca, que eran fervientes practicantes del culto a los volcanes. Creían que los dioses vivían en sus profundidades y eran los responsables de la formación de fenómenos meteorológicos necesarios para garantizar la producción agrícola.

Los volcanes forman parte del ciclo geológico de la Tierra, que es el conjunto de fenómenos o eventos naturales que transforman la corteza y manto superficial. Allí se produce una mezcla de roca fundida, gases y otros componentes, denominada magma, que asciende desde la parte interna y se acumula en la superficie, dando lugar a diversos relieves, cuyas formas dependen de complejos procesos supeditados a la presencia o ausencia de gases y a la formación, ascenso, composición química y emisión de magma.

## Composición de los volcanes y sus fenómenos

### Columna eruptiva

parte vertical ascendente conformada por el material eruptivo y por gases, que se eleva directamente sobre el cráter del volcán.

### Cono volcánico

parte visible del volcán formada por la acumulación de material expulsado por la chimenea durante una erupción.

### Chimenea

conducto por donde asciende el magma.

### Cámara magmática

lugar donde se acumula magma en estado líquido debido a las altas presiones y temperaturas.

### Conducto secundario

Conductos formados a diferentes alturas del volcán por donde se expulsa magma.

### Solfataras

Emisiones de vapor de agua y ácido sulfhídrico.

### Géiseres

Emisiones de agua caliente y vapor de agua.

### Cráter

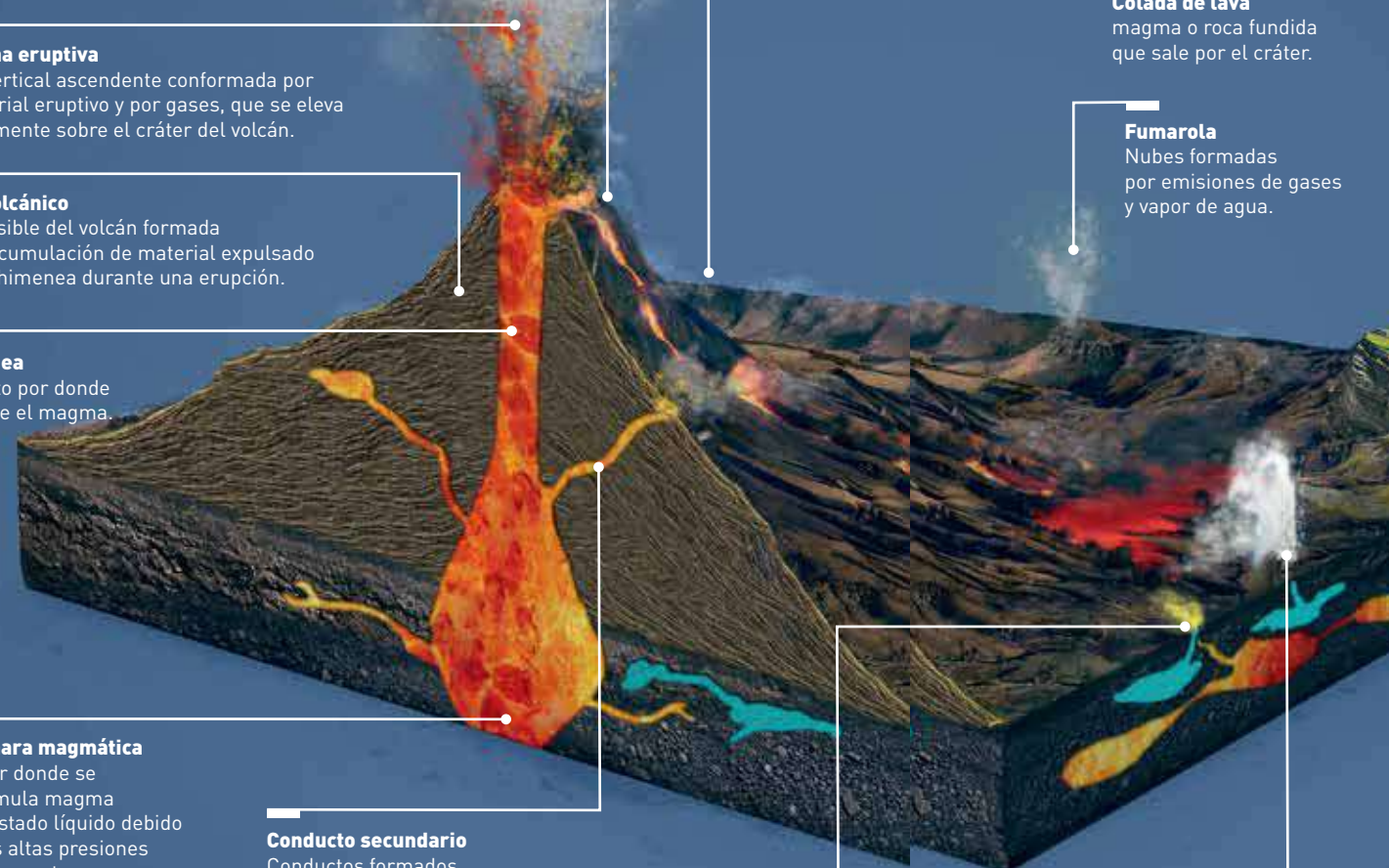
abertura originada por la explosión de materiales volcánicos durante una erupción.

### Colada de lava

magma o roca fundida que sale por el cráter.

### Fumarola

Nubes formadas por emisiones de gases y vapor de agua.



## Localización geográfica

Aproximadamente, el 95% de los volcanes en el mundo se localizan en los límites de las placas tectónicas, en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico. Sin embargo, existen otras zonas, comúnmente llamadas puntos calientes, donde se presentan acumulación y afloramiento de magma, que se abre paso a través de la corteza terrestre para llegar a la superficie de la Tierra.

## UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LOS VOLCANES

**ZONAS DE LÍMITES DE PLACAS CONVERGENTES**

El movimiento relativo entre dos placas tectónicas que convergen (oceánica-continental, oceánica-oceánica o continental-continental), provoca que una de las placas colisione contra la otra, formando un plegamiento en la corteza terrestre que genera altas temperaturas en el manto de la Tierra, las cuales pueden provocar actividad sísmica y dar origen a los volcanes.

**Convergencia oceánica - continental**

**ZONAS DE LÍMITES DE PLACAS DIVERGENTES (DORSALES OCEÁNICAS Y FOSAS CONTINENTALES)**

El movimiento relativo entre dos placas que se separan provoca una zona débil en la corteza que facilita el ascenso de magma proveniente del manto de la Tierra. Cuando el límite se presenta entre dos placas oceánicas, se forman las llamadas dorsales oceánicas, donde la expansión del fondo marino crea nueva corteza que permite formar volcanes lo suficientemente altos como para crear islas (por ejemplo, Islandia). Si el movimiento se presenta entre placas continentales denominadas fosas continentales, la separación de las placas hace que la corteza se hunda y se fracture, permitiendo el ascenso del magma y la formación de volcanes (como es el caso del volcán Kilimanjaro sobre la fosa de África oriental).

**ZONAS DE INTRAPLACA (PUNTOS CALIENTES)**

Los puntos calientes son áreas alejadas de los bordes de las placas tectónicas, cuyo origen ha motivado el desarrollo de teorías científicas, tales como la de plumas, que asocia su formación al calentamiento del manto inferior por conducción de calor desde el núcleo terrestre, y la teoría de extensión, que relaciona la formación de estos puntos con zonas de movimiento divergente de la litósfera que facilitan el ascenso del magma. Muchos volcanes submarinos e islas volcánicas, como las de Hawái, se han creado a partir de la actividad de puntos calientes (por ejemplo, el volcán Kilauea en Hawái).

## ERUPCIONES VOLCÁNICAS

La erupción es un fenómeno natural que consiste en la expulsión de diferentes gases y materiales provenientes del interior de la Tierra, cuya magnitud e intensidad depende, en gran medida, de la composición química del magma y su viscosidad, la cual se encuentra directamente relacionada con el contenido de sílice. Es decir, a mayor contenido de sílice, el magma será más viscoso, y provocará erupciones mucho más explosivas que las causadas por magma con menores contenidos de sílice.



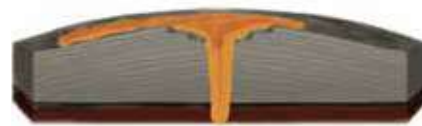
## Clasificación de las erupciones volcánicas

Todos los volcanes hacen erupción de diferente forma. El tipo de erupción se clasifica según el nombre de un volcán que haya tenido un comportamiento similar en la

historia. No obstante, existen volcanes que presentan uno o diferentes tipos de erupción registrada, por lo cual estos últimos no pueden clasificarse en un tipo específico.



**Islándicas:** erupciones poco violentas originadas por una fisura de la corteza terrestre, por donde la lava fluye y recorre grandes distancias. Ejemplo: meseta del Decán, India.



**Hawaianas:** erupciones poco violentas con expulsión abundante de lava muy fluida o líquida. Ejemplo: Mauna Loa, Hawái.



**Estrombolianas:** explosiones moderadas o esporádicas de lava fluida, gases abundantes y violentos y fragmentos de roca fundida, llamados piroclastos. Ejemplo: Stromboli, en Lípari, Italia.

**Vulcanianas:** explosiones entre moderadas y violentas de bloques de lava y ceniza, acompañadas de otros materiales fragmentados que se solidifican con rapidez. Se caracterizan por generar una nube de ceniza en forma de hongo. Ejemplo: Vulcano, Italia.



**Peleanas:** explosiones violentas de lava muy viscosa que se consolida rápidamente y genera taponamiento del cráter. Como los gases no tienen salida, se crea gran presión dentro del volcán, por lo que sus paredes llegan a ceder y la lava es expulsada por los costados. Ejemplo: Monte Pelée, Martinica.



**Subplinianas, plinianas y ultraplinianas:** expulsiones extremadamente violentas de ceniza, a gran altura y con forma de hongo. Se caracterizan por alternar con erupciones de piroclastos y coladas de lava y por crear nubes ardientes que al enfriarse producen precipitación de cenizas. Este tipo de erupciones volcánicas reciben este nombre en honor a Plinio el Viejo, quien falleció en la erupción ocurrida en el monte Vesubio en el año 79 d. C. Ejemplo: Vesubio, Italia, y Monte Pinatubo, Filipinas.



## ACTIVIDAD VOLCÁNICA

La actividad volcánica está asociada a diferentes tipos de manifestaciones, entre ellas, al ciclo de vida de los volcanes, que depende del tiempo transcurrido desde la última erupción. Esto permite clasificar los volcanes en activos, inactivos y extintos.

Aunque este tiempo geológico no está claramente definido, algunos geólogos consideran que los volcanes activos son los que han presentado erupciones, liberación de gases y sismos, entre otros fenómenos, durante los últimos 10.000 años. Tal es el caso del Monte Kilauea en Hawái, considerado uno de los volcanes más activos del mundo por sus constantes erupciones de lava.

Los volcanes inactivos son aquellos que no han hecho

erupción desde hace más de 10.000 años, pero que tienen características geológicas con el potencial de generar erupciones en algún momento. El Monte Pinatubo, en Filipinas, era considerado inactivo porque permaneció sin manifestar fenómenos durante varios siglos; sin embargo, en junio de 1991 provocó la segunda mayor erupción volcánica del siglo XX, inyectando de 25 a 30 millones de toneladas de dióxido de azufre en la estratósfera y provocando, durante los dos años siguientes, una disminución de la temperatura media del planeta en 0,5 °C.

Los volcanes extintos son aquellos que ya no tienen capacidad de hacer erupción porque su fuente de magma ha desaparecido o las condiciones geológicas cercanas al

volcán han cambiado. El Monte Kulal, en Kenia, es considerado un volcán extinto.

Aunque los volcanes son formadores de paisajes que contribuyen a la identidad de las regiones, también son una muestra de las fuerzas increíbles de la naturaleza, hasta el punto de que grandes erupciones volcánicas han cambiado el curso de la historia de algunas ciudades.

Tal es el caso de Pompeya y Herculano, que fueron devastadas por la erupción del volcán Vesubio de Italia en el año 79 d. C.

Diecisiete siglos después, aproximadamente, Pompeya fue parcialmente excavada por arqueólogos, quienes

descubrieron rasgos de la vida y de los lujos del antiguo Imperio Romano. De acuerdo con registros históricos y estudios científicos de la región, se cree que la erupción del Vesubio inició con descargas de vapor y la formación de una nube eruptiva conformada por ceniza y fragmentos de pumita (roca ígnea llamada también piedra pómez) que fue acumulándose sobre las ciudades. Sin embargo, el mayor efecto provocado por el volcán fue la formación de nubes ardientes —llamadas también coladas piroclásticas o flujos piroclásticos— que son avalanchas o corrientes de gases, ceniza y fragmentos rocosos incandescentes (piroclastos), que descendieron a grandes velocidades por las laderas del volcán.

## Volcanes representativos y erupciones volcánicas ocurridas entre 1960 y 2017



La mayoría de las personas creen que los volcanes activos son los que tienen erupciones únicamente de lava, pero esta es una característica típica de volcanes cuyos componentes magmáticos son muy fluidos. Dependiendo del tipo de volcán (composición del magma, temperatura y cantidad de gases disueltos), los fenómenos que ocurren durante una erupción volcánica cambian. Por ejemplo, existen volcanes explosivos que no expiden lava, pero son capaces de formar columnas eruptivas de hasta 30 km de altura con un volumen importante de material”.

Ph. D. Marta Lucía Calvache Velasco, directora técnica de geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

### Tamaño, magnitud e intensidad de las erupciones volcánicas

Las erupciones volcánicas pueden medirse en términos de su magnitud, que corresponde a la masa total de materia que entra en erupción (kg), e intensidad, que es la tasa de erupción o velocidad de descarga del magma (kg/s o m<sup>3</sup>/s), la cual puede estimarse a partir de la altura y forma de la columna eruptiva y del área sobre la cual se distribuye el material eruptivo.

Para determinar el tamaño de una erupción volcánica, los vulcanólogos Christopher Newjall y Stephen Self (Newhall

& Self, 1982) desarrollaron una escala de magnitud llamada Índice de Explosividad Volcánica (Volcanic Explosivity Index - VEI) que varía de 0 a 8, basada principalmente en el volumen de material que entra en erupción durante una explosión y la altura de la columna eruptiva. Dicha escala inicia en 0 para erupciones que producen menos de 0,0001 km<sup>3</sup> de material. Por encima del índice VEI 1, la escala se vuelve logarítmica, es decir, que cada incremento en la escala aumenta 10 veces la cantidad del material expulsado.



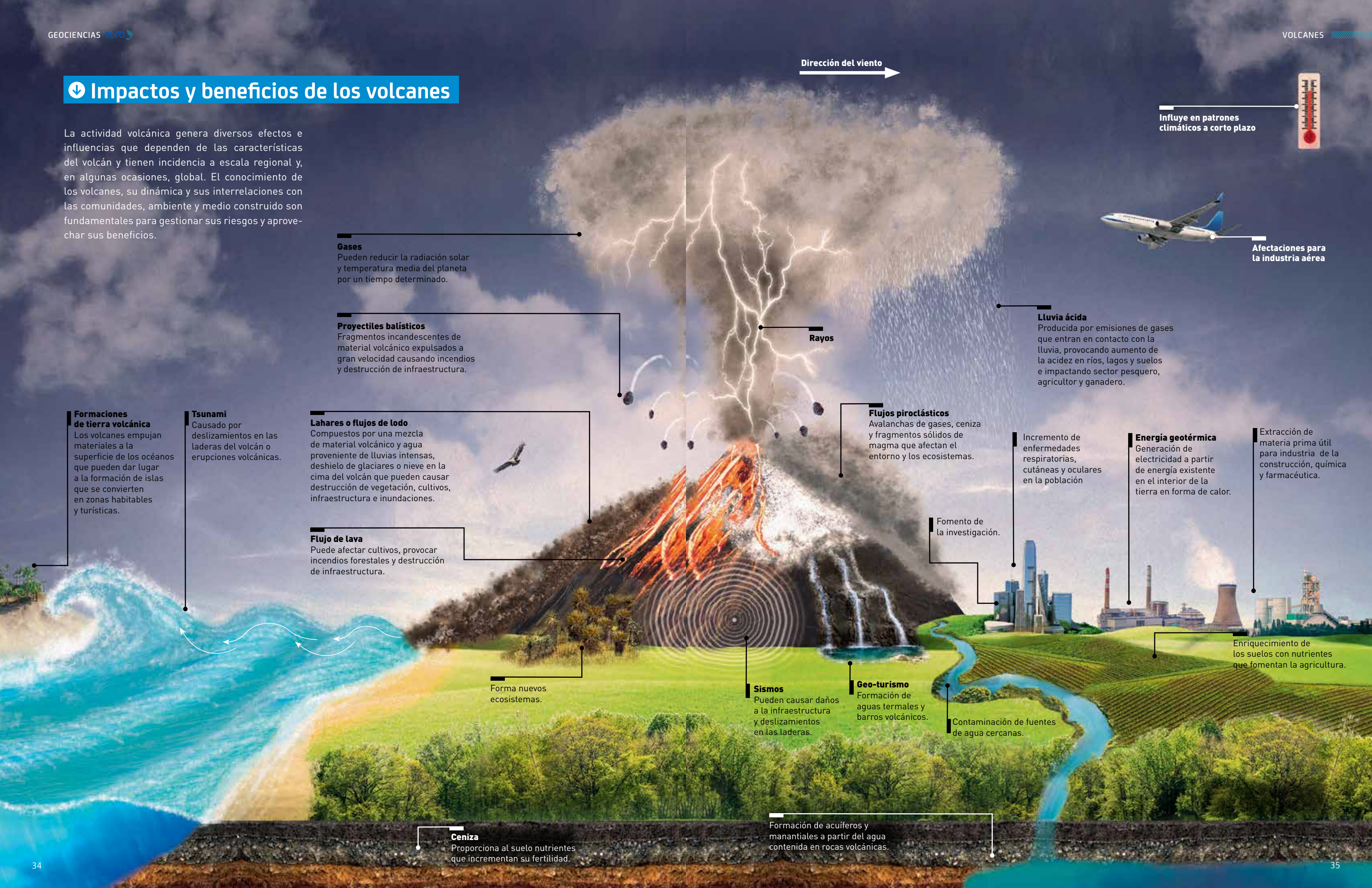
Magnitud de las erupciones según la escala VEI

Volcán	Kilauea (Hawái)	Stromboli (Italia)	Galeras (Colombia)	Nevado del Ruiz (Colombia)	Monte Pelée (Isla Martinica)	Vesubio (Italia)	Pinatubo (Filipinas)	Tambora (Indonesia)	Yellowstone Caldera (EE. UU.)	
Fecha	2018	2014	1993	1985	1902	79 d. C.	1991	1815	Hace 600.000 años	
Altura columna eruptiva (km)	< 0,1	0,1-1	1-5	3-15	10-25	> 25	> 25	> 25	> 25	
Volumen material (km <sup>3</sup> )	< 0,0001	0,0001 < V < 0,001	0,001 < V < 0,01	0,01 < V < 0,1	0,1 < V < 1	1 < V < 10	10 < V < 100	100 < V < 1000	> 1000	
VEI	0	1	2	3	4	5	6	7	8	
Tipo de erupción	Hawaianas		Estrombolianas			Vulcanianas		Pliniana		Ultrapliniana

FUENTE  
Global Volcanism Program.  
(s.f.). <https://volcano.si.edu/>

## Impactos y beneficios de los volcanes

La actividad volcánica genera diversos efectos e influencias que dependen de las características del volcán y tienen incidencia a escala regional y, en algunas ocasiones, global. El conocimiento de los volcanes, su dinámica y sus interrelaciones con las comunidades, ambiente y medio construido son fundamentales para gestionar sus riesgos y aprovechar sus beneficios.



Dirección del viento →

Influye en patrones climáticos a corto plazo



Afectaciones para la industria aérea



**Lluvia ácida**  
Producida por emisiones de gases que entran en contacto con la lluvia, provocando aumento de la acidez en ríos, lagos y suelos e impactando sector pesquero, agrícola y ganadero.

Rayos

**Flujos piroclásticos**  
Avalanchas de gases, ceniza y fragmentos sólidos de magma que afectan el entorno y los ecosistemas.

Incremento de enfermedades respiratorias, cutáneas y oculares en la población

**Energía geotérmica**  
Generación de electricidad a partir de energía existente en el interior de la tierra en forma de calor.

Extracción de materia prima útil para industria de la construcción, química y farmacéutica.

Fomento de la investigación.

Enriquecimiento de los suelos con nutrientes que fomentan la agricultura.

**Gases**  
Pueden reducir la radiación solar y temperatura media del planeta por un tiempo determinado.

**Proyectiles balísticos**  
Fragmentos incandescentes de material volcánico expulsados a gran velocidad causando incendios y destrucción de infraestructura.

**Lahares o flujos de lodo**  
Compuestos por una mezcla de material volcánico y agua proveniente de lluvias intensas, deshielo de glaciares o nieve en la cima del volcán que pueden causar destrucción de vegetación, cultivos, infraestructura e inundaciones.

**Flujo de lava**  
Puede afectar cultivos, provocar incendios forestales y destrucción de infraestructura.

Forma nuevos ecosistemas.

**Sismos**  
Pueden causar daños a la infraestructura y deslizamientos en las laderas.

**Geo-turismo**  
Formación de aguas termales y barros volcánicos.

Contaminación de fuentes de agua cercanas.

**Ceniza**  
Proporciona al suelo nutrientes que incrementan su fertilidad.

Formación de acuíferos y manantiales a partir del agua contenida en rocas volcánicas.

**Formaciones de tierra volcánica**  
Los volcanes empujan materiales a la superficie de los océanos que pueden dar lugar a la formación de islas que se convierten en zonas habitables y turísticas.

**Tsunami**  
Causado por deslizamientos en las laderas del volcán o erupciones volcánicas.

## MAPAS DE AMENAZAS, SISTEMAS DE MONITOREO Y ALERTAS TEMPRANAS

Las erupciones volcánicas, a diferencia de otros fenómenos geofísicos como el sismo, suelen tener asociada una actividad precursora, que varía desde días hasta meses. Dicha actividad puede permitir detectar a tiempo señales de advertencia y generar mecanismos de anticipación, planificación y mitigación del riesgo. El análisis del monitoreo de este tipo de señales permite generar alertas tempranas, permitiendo detectar deformaciones en la superficie del suelo, cambios de temperatura, emisiones de gases, ceniza y actividad sísmica, entre otros parámetros que ayudan en la estimación de la probabilidad de ocurrencia de una erupción.

Los observatorios volcánicos son las organizaciones encargadas de monitorear los volcanes activos y proporcionar información sobre el estado y nivel de actividad del volcán, para que las autoridades municipales emitan alertas tempranas sobre una posible erupción. Por tanto, desempeñan un papel fundamental en la gestión y reducción del

riesgo. Estos observatorios tienen protocolos de niveles de alerta de riesgo volcánico, pero difieren en cada país porque dependen del tipo de volcán y de las necesidades de la población. Además, no existe un sistema internacional unificado para tal fin.

La Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), organismo especializado de las Naciones Unidas, desarrolló un sistema de alerta universal que utiliza cuatro colores (verde, amarillo, naranja y rojo) que representan las condiciones del volcán y ayuda a los aviones a evitar las nubes de ceniza que pueden llegar a ser potencialmente peligrosas.

Otro mecanismo de gestión del riesgo son los mapas de amenaza volcánica que permiten representar, por zonas, las posibles áreas afectadas por distintos fenómenos que pueden ocurrir durante una erupción, proporcionando información detallada para toma de decisiones de ordenamiento territorial, desarrollo de planes de contingencia, preparación de la población y mitigación del riesgo.

El volcán Popocatepetel, actualmente activo y con una altura de 5.426 metros sobre el nivel del mar, se encuentra localizado en México a 43 kilómetros de la ciudad de Puebla. Su nombre, proveniente del náhuatl, significa “Montaña que humea”. Geográficamente, este volcán se encuentra unido por el norte con el volcán Iztaccíhuatl, que significa “Mujer dormida”, cuya forma contiene varios picos que se asemejan a la silueta de una mujer recostada mirando hacia el cielo y con el cabello extendido hacia el lado opuesto de su cuerpo, lo cual ha sido fuente de inspiración para la creación de leyendas mitológicas que se han ido transmitiendo de generación en generación.

Volcanes  
Popocatepetel  
e Iztaccíhuatl

El 13 de noviembre de 1985, el volcán nevado del Ruiz en Colombia hizo una erupción de magnitud 3 en la escala VEI. Aunque esta magnitud puede considerarse moderada, fue suficiente para provocar que flujos piroclásticos emitidos por la erupción provocaran derretimiento de hielo y nieve que originó lahares que se canalizaron por 6 ríos causando afectaciones en varios municipios, específicamente en el municipio de Armero ubicado en el departamento del

Tolima. Este evento marcó el inicio formal del programa de monitoreo volcánico en Colombia, del Servicio Geológico Colombiano, que a través de investigación científica y tecnología permite obtener modelos de comportamiento de los volcanes más activos y proporcionar información oportuna que permita una gestión integral del riesgo y aprovechamiento de los recursos naturales en pro del bienestar de la población.

“

*Actualmente, desde el Servicio Geológico Colombiano se está promoviendo la necesidad de que la población conozca la historia y aprenda sobre el proceso de formación del territorio del país, pues, de lo contrario, estaremos condenando a las futuras generaciones a situaciones similares a la destrucción de Armero. La naturaleza hace lo que tiene que hacer y los volcanes están para hacer erupción. Son las personas las responsables de entender a la naturaleza y tomar las decisiones correctas”.*

Ph. D. Marta Lucía Calvache Velasco,  
Servicio Geológico Colombiano

Nevado del Ruiz, foto del Servicio Geológico Colombiano

### FUENTES

**Catalina Bedoya.** Ingeniera Civil y Sanitaria de la Universidad de Antioquia, actualmente se desempeña como profesional en ingeniería civil de la gerencia de geociencias.

**Marta Lucía Calvache Velasco.** Geóloga de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Geotermia de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda. M. Sc. de la Universidad Estatal de Luisiana, Estados Unidos, y Ph. D. de la Universidad Estatal de Arizona, Estados Unidos. Actualmente es la directora técnica de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y ha trabajado en diferentes cargos en esta institución durante más de 30 años, apoyando al Gobierno

Nacional mediante la investigación y el análisis de fenómenos geológicos generadores de amenazas para el territorio nacional y sus comunidades, así como la generación de metodologías de evaluación de amenazas.

**Victoria Luz González Pérez.** Ingeniera Civil de la Universidad de Medellín. Especialista y M. Sc. en Ingeniería Sismo-Resistente de la Universidad Eafit. Trabajó como directora de diseño estructural en una firma de consultoría durante doce años. Desde 2015 trabaja para Suramericana S. A. Actualmente se desempeña como directora de riesgos geofísicos de la Gerencia de Geociencias.



**ESCANEA**  
este código  
con tu *smartphone*  
y conoce las referencias  
de este artículo.  
[bit.ly/2GrZQQA](https://bit.ly/2GrZQQA)

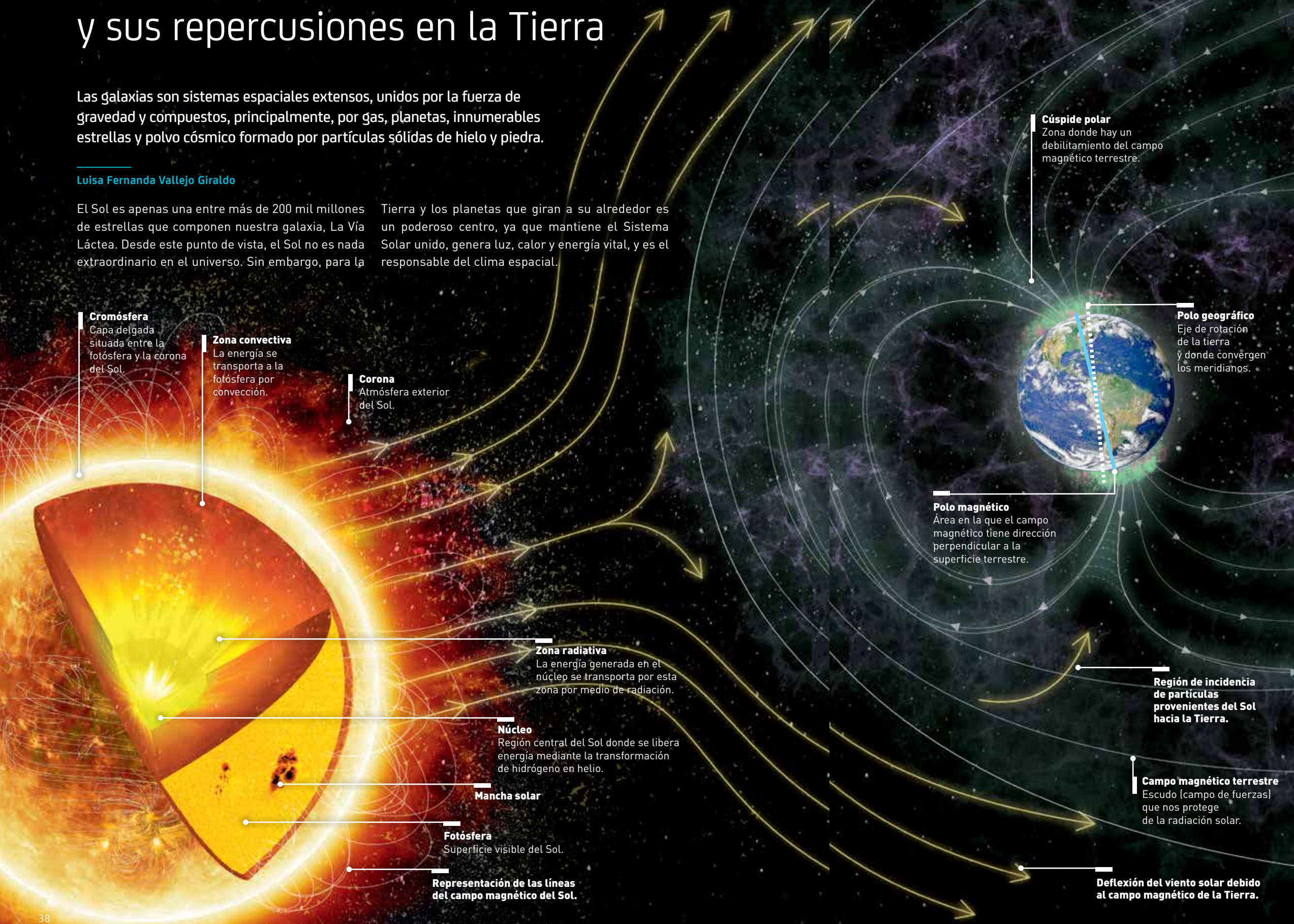
# Fenómenos solares y sus repercusiones en la Tierra

Las galaxias son sistemas espaciales extensos, unidos por la fuerza de gravedad y compuestos, principalmente, por gas, planetas, innumerables estrellas y polvo cósmico formado por partículas sólidas de hielo y piedra.

Luisa Fernanda Vallejo Giraldo

El Sol es apenas una entre más de 200 mil millones de estrellas que componen nuestra galaxia, La Vía Láctea. Desde este punto de vista, el Sol no es nada extraordinario en el universo. Sin embargo, para la

Tierra y los planetas que giran a su alrededor es un poderoso centro, ya que mantiene el Sistema Solar unido, genera luz, calor y energía vital, y es el responsable del clima espacial.



La actividad asociada a la dinámica solar, conjugada con los avances tecnológicos de la humanidad, ha despertado el interés de la comunidad científica por entender en detalle la física del Sol y las repercusiones que este puede tener sobre la cotidianidad de la vida en la Tierra, teniendo en cuenta nuestra alta dependencia de los sistemas tecnológicos y su potencial afectación ante algunos fenómenos que se presentan en esta gran estrella.

## ⬇️ DINÁMICA DEL SOL

Podemos describir el clima espacial como aquel sistema que regula las condiciones del ambiente que existe entre el Sol y la Tierra. El clima espacial hace referencia a los fenómenos energéticos ocurridos en el Sol que afectan sistemas y tecnologías en la órbita terrestre y su superficie.

Antes de describir sus impactos en la Tierra, es necesario dar un contexto general del Sol y de su dinámica, con el fin de entender mejor los fenómenos que dan origen a las posibles afectaciones en nuestro planeta.

## Estructura del ciclo solar

Existen muchos tipos de estrellas. Entre ellas está el Sol, una estrella enana amarilla de tamaño medio que se formó hace miles de millones de años. Que el Sol se vea de color amarillo es un efecto óptico dado por la atmósfera terrestre, ya que los gases que la componen hacen que se perciban solo los tonos cálidos en la superficie de la Tierra, pero en realidad la estrella brilla en un tono blanco radiante.

El Sol está compuesto por plasma, el cuarto estado de la materia. Este se genera al inyectar cantidades extremas de calor y energía al estado gaseoso de la materia, dando como resultado un gas cargado eléctricamente. El Sol es capaz de generar su propia energía mediante la fusión de los núcleos de átomos de hidrógeno.

Debido a que las partículas que componen el Sol tienen carga positiva y negativa, en él se generan campos magnéticos que, con el movimiento del plasma sobre su estructura y en presencia de temperaturas extremas, causan grandes explosiones que son el motor del clima espacial.

A partir del entendimiento que se ha desarrollado en torno al Sol, la comunidad científica ha establecido que la actividad solar presenta un ciclo que dura aproximadamente once años, el cual es impulsado por su campo magnético.

La atmósfera del Sol está sujeta a grandes explosiones como consecuencia de su composición y de la interacción de los campos magnéticos generados por las partículas con carga eléctrica. Cada explosión convierte la energía magnética en otras formas de energía y hacen que el Sol alcance un estado más tranquilo. En ese momento,

el Sol experimenta lo que se conoce como mínimo solar y allí se marca el inicio de un nuevo ciclo. En este estado, las explosiones son menos frecuentes, por lo tanto, la Tierra tiene menos probabilidad de verse afectada por la actividad solar.

Una vez comienza un nuevo ciclo solar, el campo magnético del Sol aumenta su actividad hasta alcanzar su máximo nivel. En este punto, el Sol presenta su mayor actividad energética, lo cual incrementa la aparición de manchas solares. Estas se ven como regiones oscuras

en la superficie del astro, debido a que la cantidad de energía que experimenta la zona impide que el calor del interior del Sol emane a la superficie, generando temperaturas menores que las de su entorno.

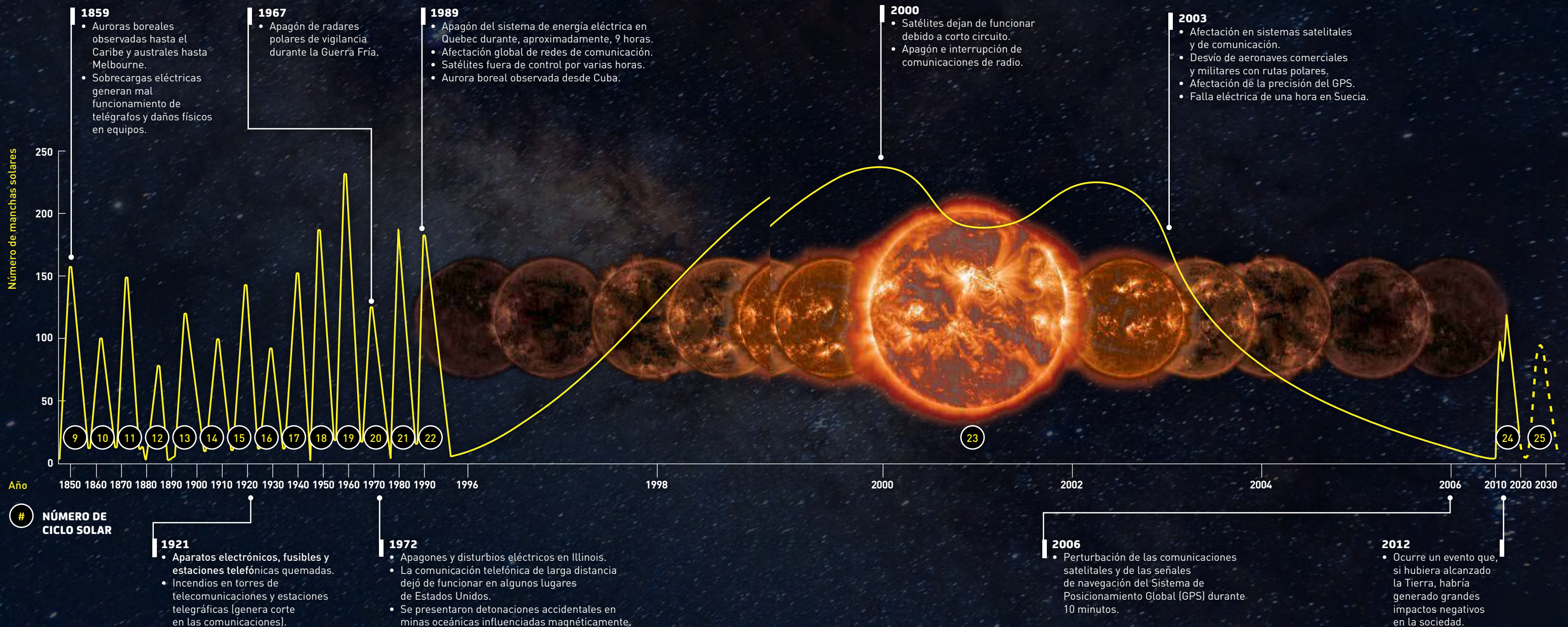
Un mayor número de manchas hace más intenso el clima solar. Esto significa que el Sol emite más energía y, de este modo, los fenómenos que afectan a nuestro planeta se vuelven más probables y comunes.

### FENÓMENOS ENERGÉTICOS ASOCIADOS A LA DINÁMICA SOLAR

Los procesos asociados a la física y a la dinámica del Sol generan fenómenos energéticos que tienen repercusiones sobre el ambiente espacial comprendido entre el Sol y la Tierra.

En la siguiente página se describen los principales fenómenos energéticos ocurridos en el Sol que pueden afectar a nuestro planeta:

## Ciclos solares y afectaciones terrestres asociadas



## ↓ Fenómenos energéticos

### Erupciones solares

Erupciones de radiación electromagnética que ocurren en la superficie del Sol y pueden durar desde minutos hasta algunas horas. Se presentan cuando las líneas del campo magnético se entrelazan de tal forma que se genera una ruptura que libera toda la energía almacenada en ellas. Teniendo en cuenta que la energía electromagnética viaja a la velocidad de la luz, el efecto de las erupciones solares en nuestro planeta se percibe pocos minutos después de que se observa el evento en el Sol.

### Eyecciones de masa coronal o CME (Coronal Mass Ejections)

Enormes emisiones de plasma (materia) y campo magnético que se originan en regiones magnéticamente perturbadas de la atmósfera del Sol y que, en el transcurso de varias horas, se expulsan hacia el espacio. La mayoría de las veces son precedidas por erupciones solares. Estas emisiones representan las explosiones más importantes y violentas del Sistema Solar. Las CME pueden viajar a velocidades que van desde 250 km/s hasta 3.000 km/s, las más rápidas pueden tardar en llegar a la Tierra entre 15 y 18 horas, mientras que las más lentas se pueden demorar varios días. A medida que se alejan del Sol, las eyecciones aumentan el tamaño y pueden canalizar hacia nuestro planeta partículas que alteran su campo magnético y crean perturbaciones en él.

### Partículas energéticas o SEP (Solar Energetic Particles)

Partículas de plasma altamente cargadas de energía y transportadas en el viento solar. Por la energía liberada, estas partículas se aceleran en los lugares donde ocurren explosiones en el Sol, como eyecciones de masa y erupciones solares. Las partículas pueden ser aceleradas a fracciones significativas de la velocidad de la luz y el evento puede durar desde pocas horas hasta varios días. Estas partículas representan aumentos repentinos en la intensidad de la radiación en la Tierra.

### Viento solar

El Sol emite plasma constantemente hacia el espacio debido a su composición y a la actividad en la superficie. Este flujo de partículas es conocido como viento solar y tiene gran potencial de afectar a la Tierra dependiendo de la región del Sol donde se produzca, de su velocidad, densidad



*¿Cuánta energía libera una erupción solar? Se puede hacer la comparación entre el consumo anual de energía mundial, que es de aproximadamente  $10^{20}$  Joules, y una sola erupción solar, que libera  $10^{25}$  Joules”.*

Antti Pulkkinen, subdirector del Departamento de Heliofísica de la NASA.

## ↓ REPERCUSIONES DE LA DINÁMICA SOLAR EN LA TIERRA

Las consecuencias que tiene la dinámica solar en la Tierra se pueden manifestar de tres maneras relacionadas entre sí: auroras boreales y australes, tormentas ionosféricas y tormentas geomagnéticas. Cada una puede tener un nivel de impacto mayor sobre nuestro planeta, dependiendo de la velocidad a la que lleguen estos fenómenos y de la magnitud del impacto.

### Auroras boreales y australes

Dependiendo de la severidad y, en algunos casos, del lugar del Sol en que se presenten los fenómenos energéticos, hay diferentes tipos de afectaciones en la Tierra. Las más conocidas son las auroras boreales (en el hemisferio norte) y las australes (en el hemisferio sur).

Las luces polares son uno de los efectos generados por la actividad solar. Ocurren debido a la colisión de partículas cargadas con la alta atmósfera.

Las partículas cargadas siguen el campo magnético de la Tierra hacia las regiones polares donde, al chocar con átomos y moléculas de oxígeno y de nitrógeno, transfieren la energía contenida en ellos hacia la atmósfera terrestre, lo que hace que los átomos y moléculas de oxígeno y nitrógeno entren en estados de mayor energía, liberándola en forma de luz.

### Tormentas ionosféricas

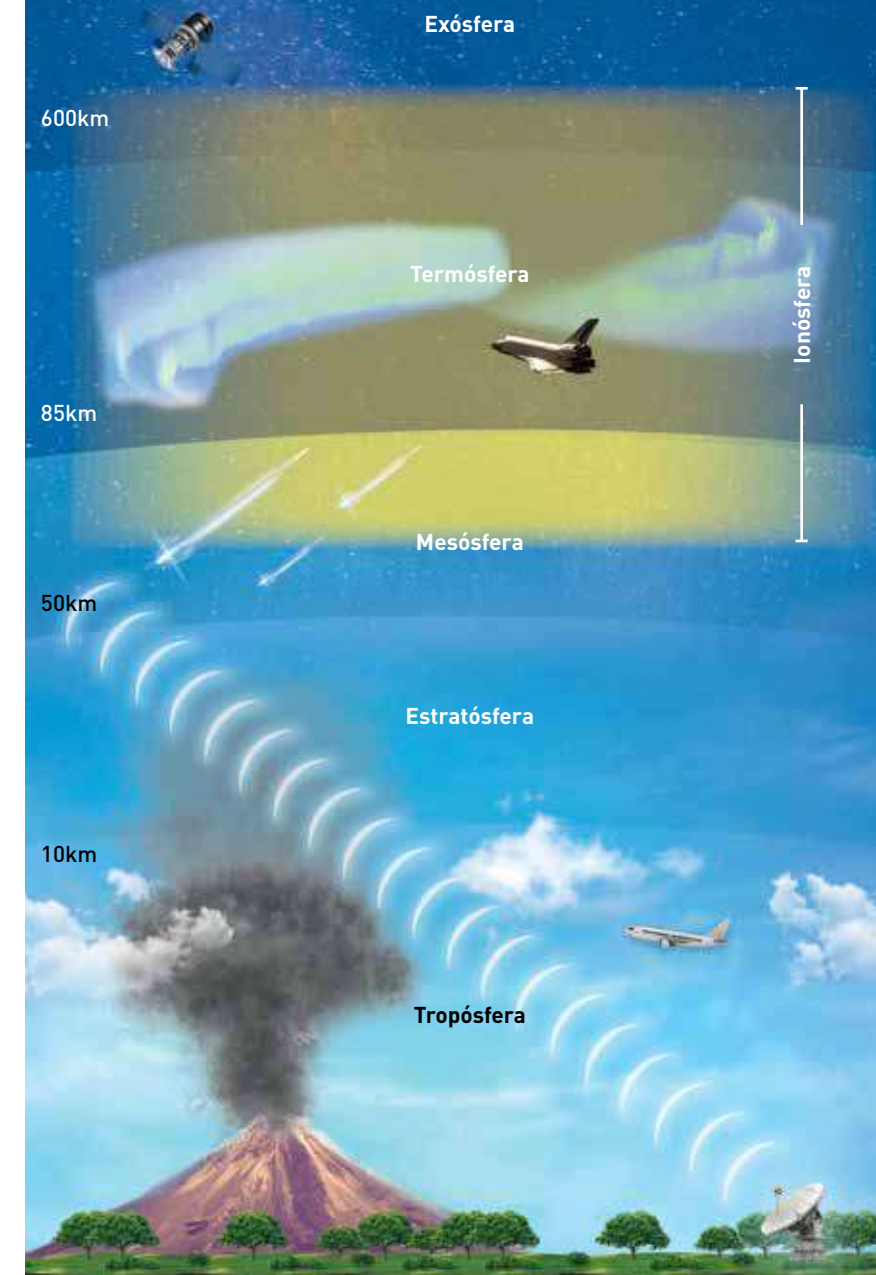
La ionósfera es la capa de la atmósfera que está cargada eléctricamente, debido a esto, es la capa que tiene el mayor impacto en la propagación de las ondas electromagnéticas, lo que se traduce en comunicación, ya sea entre diferentes partes de la Tierra (por medio de ondas de radio) o entre el espacio exterior y nuestro planeta (comunicación satelital).



*Cada vez que se nos ocurren nuevas y sofisticadas tecnologías, descubrimos más tarde que estas están más expuestas a los impactos del clima espacial”.*

Antti Pulkkinen, subdirector del Departamento de Heliofísica de la NASA

## CAPAS DE LA ATMÓSFERA TERRESTRE



La ionósfera es particularmente sensible a las variaciones de energía que entran desde el Sol. Puede cambiar su densidad y afectar la forma en la que las ondas electromagnéticas viajan a través de ella.

La actividad solar puede causar que las ondas de radio de alta frecuencia (HF, por sus siglas en inglés) que viajan por esta capa se degraden o se absorban completamente. Esto genera la interrupción de las comunicaciones de radio de largo alcance. Estas ondas de alta frecuencia son utilizadas por estaciones internacionales de radio, estaciones meteorológicas, la comunicación océano-tierra en navegación y aire-tierra en aviación, radio ciudadana, gubernamental y militar, algunos sistemas de radar y el sistema mundial de socorro y seguridad marítimos.

## ↓ PERTURBACIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO DE LA TIERRA



Representación de la estructura del campo magnético terrestre en condiciones normales

### Tormentas geomagnéticas

Otra de las repercusiones del clima espacial en la Tierra se da por la interacción entre las grandes explosiones ocurridas en el Sol y el comportamiento del campo magnético terrestre. Las variaciones en el campo magnético de nuestro planeta se pueden medir desde la superficie terrestre y son esas fluctuaciones las que reciben el nombre de tormentas geomagnéticas.

Cuando hay una entrada de masa, energía y de cantidad de movimiento al campo magnético de la Tierra por las perturbaciones en el Sol, este se ve alterado globalmente por la presión que ejerce el viento solar sobre él. Toda esa interacción crea corrientes eléctricas masivas con amplitudes de millones de amperios, que fluyen por el campo magnético y pueden variar en escalas de tiempo de segundos.

Una tormenta geomagnética puede durar varios días, después de los cuales el campo magnético se recupera gradualmente. Estos cambios en el entorno magnético de la Tierra pueden tener un impacto en:

- > **Las comunicaciones satelitales:** señales de televisión, comunicaciones y navegación.
- > **Los sistemas satelitales de posicionamiento global (GPS):** las coordenadas GPS se desvían varios metros.
- > **Las ondas de radio de alta frecuencia:** se degradan.

Adicionalmente, los cambios violentos en el campo magnético inducen corrientes eléctricas hacia sistemas conductores como gasoductos, oleoductos, vías férreas o sistemas de transmisión de energía de alto voltaje.

Estas corrientes, también llamadas corrientes geomagnéticamente inducidas (GIC, por sus siglas en inglés), producen corrosión temprana de los sistemas conductores como tuberías; sobre las líneas de transmisión de energía pueden crear fluctuaciones de voltaje que colapsen el sistema o pueden generar sobrecalentamiento de los transformadores.

Representación del campo magnético terrestre comprimido por la acción del viento solar. **TORMENTA GEOMAGNÉTICA**

Imágenes adaptadas de NASA's Scientific Visualization Studio, el Space Weather Research Center (SWRC), el Community-Coordinated Modeling Center (CCMC) y el Space Weather Modeling Framework (SWMF).



Aurora Boreal

### ¿Cómo se está preparando el mundo para enfrentar estos fenómenos?

Los esfuerzos para el manejo y la legislación de este tipo de eventos cada vez son mayores. En Estados Unidos, por ejemplo, estos esfuerzos se han concentrado en grupos de investigación y desarrollo, sectores económicos, centros de investigación y pronóstico y entidades gubernamentales, cada uno con un rol específico.

Por otra parte, la industria de transmisión de energía se enfoca en pensar cómo los sistemas de energía (generación, transmisión y distribución) se construyen de manera resiliente, tratando de reducir el impacto de los eventos donde se perturbe la red, con una toma de decisiones que les permita anticiparse, adaptarse y recuperarse de manera rápida.

Los centros de predicción se enfocan en el pronóstico de las grandes explosiones, en implementar nuevos modelos, mejorar la incertidumbre de las predicciones y modelar la respuesta de la magnetósfera terrestre, la ionósfera y la distribución de las corrientes en la tierra ante los fenómenos energéticos ocurridos en el Sol.

Las agencias gubernamentales para el manejo de emergencias se enfocan en la planeación para la respuesta inmediata y la pronta recuperación ante eventos de este tipo, dirigiendo recursos a actividades que apunten a la preparación, respuesta, recuperación y mitigación de efectos asociados.

El clima espacial ha suscitado un creciente interés internacional, científico, industrial y público, ya que todos

los sectores dependen de la energía eléctrica (comunicaciones, agua, salud, financiero, por citar algunos). Además, a medida que la tecnología avanza y permea la cotidianidad, las personas se vuelven más vulnerables y adoptan nuevas dinámicas en las que el clima espacial puede afectar su diario vivir.

Los retos planteados para el futuro están estrechamente asociados a una mejor interacción entre las diferentes disciplinas y a conectar los esfuerzos que se hacen

globalmente para generar un desarrollo conjunto y un entendimiento más profundo de la variedad de procesos que relacionan la actividad solar y las actividades cotidianas en la Tierra.

**El sector asegurador, aunque no puede evitar los impactos de eventos catastróficos severos, puede aportar en la disminución de las consecuencias, gestionando el riesgo, mitigando las pérdidas y proporcionando ayuda financiera para reconstruir y empezar de nuevo.**

### FUENTES

**Antti Pulkkinen.** Ph. D. y M. Sc. en Física de la Universidad de Helsinki. Subdirector de la división de ciencias heliofísicas e investigador en astrofísica del Centro de Vuelo Espacial Goddard de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA – National Aeronautics and Space Administration).

**Luisa Fernanda Vallejo.** Ingeniera civil de la Escuela de Ingeniería de Antioquia y M. Sc. en Recursos Hidráulicos de la Universidad Nacional de Colombia. Tiene experiencia en proyectos de investigación relacionados con transporte de humedad atmosférica, desarrollados en el Instituto Nacional de Investigación Espacial de Brasil. Actualmente hace parte del equipo de Geociencias de Suramericana.



**ESCANEA** este código con tu *smartphone* y conoce las referencias de este artículo.  
[bit.ly/2GrSEL2](https://bit.ly/2GrSEL2)

La revista *Geociencias SURA* cuenta con un equipo de trabajo especializado que apoya las actividades de redacción, edición y diseño, conformado por fuentes internas de Suramericana e investigadores externos ampliamente reconocidos a nivel mundial, en temas relacionados con las interrelaciones de la naturaleza con los diferentes aspectos estratégicos de las empresas y la sociedad.

#### FUENTES INTERNAS

##### **Elizabeth Cardona Rendón**

Gerente de Geociencias Suramericana S. A.

##### **Equipo de Geociencias Suramericana S. A.**

Ana María Cortés Zapata  
Andrea Jaramillo Rivera  
Catalina Bedoya Posada  
Esteban Herrera Estrada  
Juan David Rendón Bedoya  
Juan Pablo Restrepo Saldarriaga  
Lizeth Rodríguez Moreno  
Luisa Fernanda Vallejo Giraldo  
María José Barrera  
Santiago Victoria Domínguez  
Sebastián Ospina Porras  
Víctor Hugo Ángel Marulanda  
Victoria Luz González Pérez

##### **Juana Francisca Llano Cadavid**

Vicepresidente de Seguros de Suramericana S. A.

#### CONCEPTUALIZACIÓN, ARQUITECTURA GRÁFICA, EDICIÓN PERIODÍSTICA Y PRODUCCIÓN

##### **Taller de Edición S. A.**

###### **Dirección**

Adelaida del Corral Suescún

###### **Edición**

Natalia Mesa Jaramillo

###### **Diseño**

Andrés Gómez Calle

###### **Corrección de estilo**

Danielle Navarro Bohórquez

###### **Imágenes**

iStock, Taller de Edición, Suramericana, GEM,  
Sistema Geológico Colombiano, Nasa

###### **Impresión**

Litografía Francisco Jaramillo

#### FUENTES EXTERNAS

##### **Antti Pulkkinen**

Subdirector de la división de ciencias heliofísicas e investigador en astrofísica del Centro de Vuelo Espacial Goddard de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA – National Aeronautics and Space Administration).

##### **John Schneider**

Secretario general de la Fundación GEM y asesor de la Oficina de las Naciones Unidas para la reducción del riesgo de desastres.

##### **Marco Pagani**

Coordinador del equipo de Amenaza Sísmica en la Fundación GEM.

##### **Marta Lucía Calvache Velasco.**

Geóloga de la Universidad Nacional de Colombia. Especialista en Geotermia de la Universidad de Auckland, Nueva Zelanda. M. Sc. de la Universidad Estatal de Luisiana, Estados Unidos, y Ph. D. de la Universidad Estatal de Arizona, Estados Unidos. Actualmente es la directora técnica de Geoamenazas del Servicio Geológico Colombiano (SGC) y ha trabajado en diferentes cargos en esta institución durante más de 30 años, apoyando al Gobierno Nacional mediante la investigación y el análisis de fenómenos geológicos generadores de amenazas para el territorio nacional y sus comunidades, así como la generación de metodologías de evaluación de amenazas.

##### **Silverio Visacro Filho**

Profesor del Departamento de Ingeniería Eléctrica y jefe del Centro de Investigación de Descargas Atmosféricas de la Universidad Federal de Minas Gerais (UFMG).

##### **Vitor Silva**

Coordinador del equipo de Riesgo Sísmico en la Fundación GEM.

## EMPRESAS



## Empresas SURA

El lugar donde los empresarios de América Latina pueden **descubrir nuevas oportunidades, conectarse con otros y transformar su entorno.**

**BÚSCANOS EN LAS CIUDADES PRINCIPALES.**

Bogotá | Medellín | Ciudad de Panamá. **Próximamente:** Buenos Aires | Santo Domingo



**Luis Guillermo Mejía Vallejo**

Lluvia de febrero y marzo, 2009 (detalle)

Acrílico sobre lienzo

Colección SURA Colombia

SURA es cultura