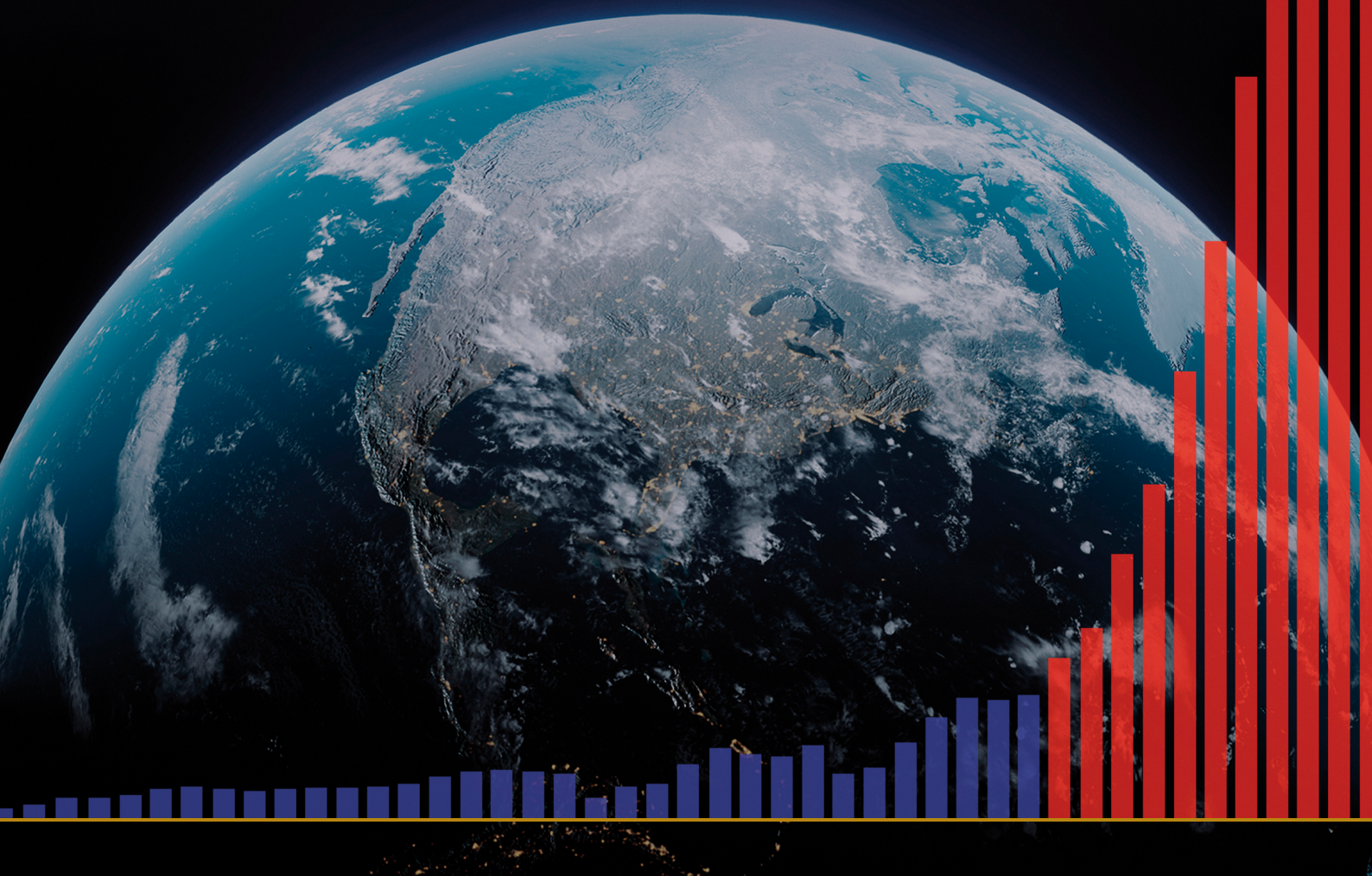


SOBRE LA PROGRESIÓN

DE LOS DESASTRES CLIMÁTICOS EN
LA TIERRA Y SUS CONSECUENCIAS
CATASTRÓFICAS



SOBRE LA PROGRESIÓN

**DE LOS DESASTRES CLIMÁTICOS EN LA TIERRA
Y SUS CONSECUENCIAS CATASTRÓFICAS**

Informe

CONTENIDO

Parte 1. Crecimiento exponencial de los desastres naturales	4
Aumento de la actividad sísmica	5
Aumento de los terremotos de foco profundo	10
Activación de volcanes	12
Intensificación de huracanes, tormentas y tornados	20
Aumento del número de inundaciones y sequías	25
Aumento del número de incendios forestales	27
Calentamiento del Océano Mundial	30
Deshielo glaciar anómalo en la Antártida y Groenlandia	35
Calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera	42
Cambios en las capas superiores de la atmósfera	44
Parte 2. Causas de la catástrofe global	46
Cambios a escala planetaria en 1995	48
Desplazamiento del núcleo de la Tierra en 1998	52
Interconexiones entre los procesos geodinámicos y climáticos	55
Cambios en otros planetas del sistema solar	57
Procesos astronómicos y su ciclicidad	68
Calentamiento anormal de Siberia	71
El ciclo actual del planeta Tierra	73
Modelización tectonofísica y matemática del punto de no retorno previsto para 2036	77
Parte 3. La solución es posible	80
Restauración de los océanos	81
Conclusiones	84
Apéndice 1	85
Referencias	88

Parte 1

CRECIMIENTO EXPONENCIAL DE LOS DESASTRES NATURALES

Según las últimas investigaciones científicas, existe la probabilidad de que en 2036 la viabilidad de la biosfera de la Tierra se vea amenazada. Esta hipótesis se basa en modelos matemáticos rigurosos y en datos objetivos que indican un posible estado crítico del planeta. El factor antropogénico -las actividades humanas que provocan un aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera- desempeña un papel importante en el cambio climático. Además del impacto antropogénico, hay otros factores, a menudo subestimados, que influyen significativamente en los cambios climáticos. Entre ellos figuran los ciclos naturales de la geodinámica, así como los procesos astronómicos, incluida la actividad solar y las variaciones orbitales de la Tierra. Estos factores desempeñan un papel clave en los ciclos climáticos a largo plazo y pueden amplificar o mitigar el impacto antropogénico en el sistema climático de la Tierra.

En los últimos años se ha producido un rápido aumento del número de catástrofes climáticas en todo el planeta. Su dinámica se caracteriza por un crecimiento exponencial. Los cataclismos se producen repentinamente y en lugares donde nunca antes habían ocurrido, al tiempo que causan daños masivos y pérdidas de vidas humanas. En el pasado se han observado catástrofes climáticas y geofísicas de mayor escala que las de los

últimos diez años, pero se trataba de sucesos aislados. En la actualidad, las catástrofes naturales muestran una tendencia ascendente constante, un carácter sincrónico y un impacto geográfico en expansión.

Este informe presenta un análisis de la progresión de los crecientes cambios climáticos y geodinámicos en la Tierra durante los últimos 30 años, así como su relación con factores antropogénicos adicionales que agravan significativamente la situación climática del planeta. El informe también presenta una previsión de crecimiento exponencial de los cataclismos, que indica la gran vulnerabilidad de los Estados Unidos de América, la Federación Rusa y del mundo entero ante el creciente número y fuerza de las catástrofes naturales extremas. Todo el análisis presentado se basa en datos científicos de dominio público.

Antes de abordar en detalle los nuevos factores antropogénicos, es necesario un análisis exhaustivo de los cambios geodinámicos que afectan a la litosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la magnetosfera de nuestro planeta. Este enfoque no sólo esbozará el panorama general de los cambios climáticos actuales, sino que también determinará con precisión cómo afectan las actividades humanas a estos procesos complejos e interrelacionados.

Aumento de la actividad sísmica

La Tierra está experimentando un aumento anormal de la actividad sísmica: la magnitud, la frecuencia y la liberación de energía de los terremotos están aumentando. Esta tendencia es perceptible tanto en los continentes como en los fondos oceánicos.

Según los datos del Centro Internacional de Sismología (ISC), se ha producido un aumento constante de la energía sísmica en todo el planeta desde 1990 (Figura 1).

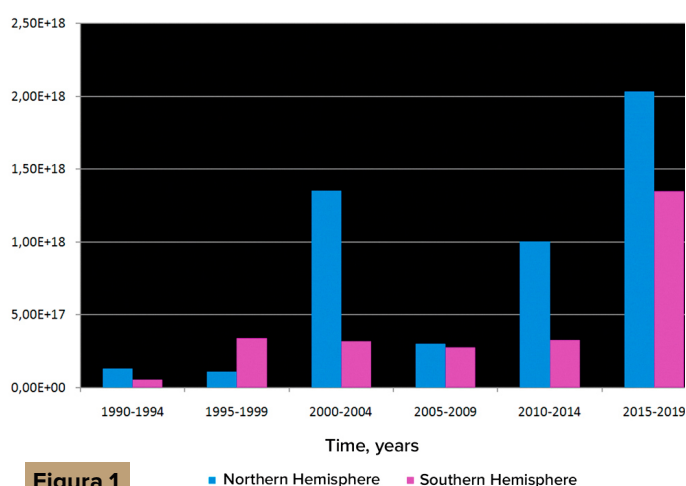
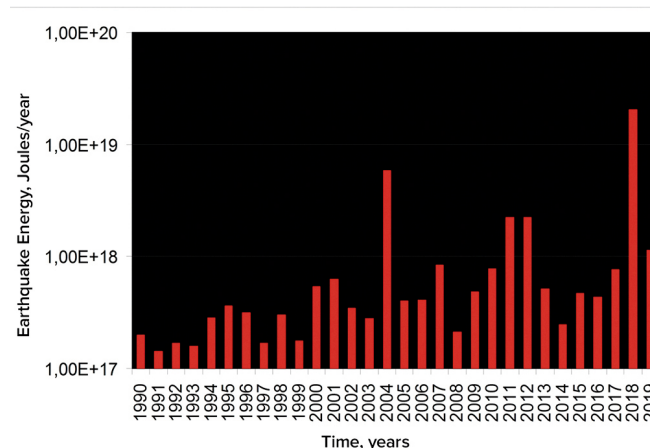


Figura 1

■ Northern Hemisphere ■ Southern Hemisphere

Los gráficos representan la energía sísmica de 1990 a 2019, basada en datos del ISC. El autor de los gráficos es el Dr. A. Yu. Retezum, profesor de la Facultad de Geografía de la Universidad Estatal Lomonosov de Moscú, 2020.

Fuente de los gráficos: <https://regnum.ru/article/3101660>, <https://regnum.ru/article/2913426>



Arthur Viterito, profesor de la Universidad de Maryland, ha observado un aumento del número de terremotos en el fondo oceánico a lo largo de las dorsales mediooceánicas desde 1995¹ (Figura 2). Además, con un coeficiente de correlación de 0,7, este gráfico corresponde con el aumento de la temperatura global, con un retraso de dos años.

La actividad sísmica y volcánica a lo largo de las dorsales mediooceánicas conduce a un aumento de las tasas de emisiones de los respiraderos hidrotermales y al calentamiento del agua, lo que, a su vez, provoca la liberación de gases de efecto invernadero y el calentamiento de la atmósfera.

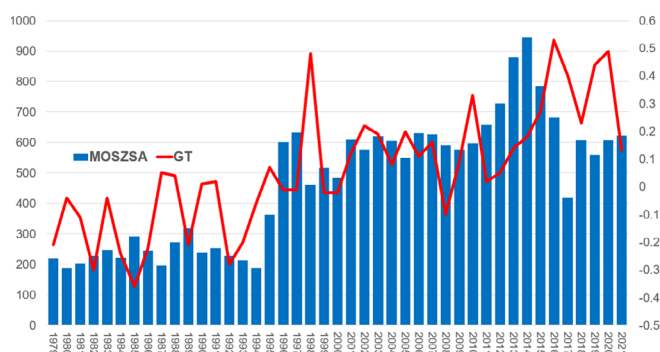
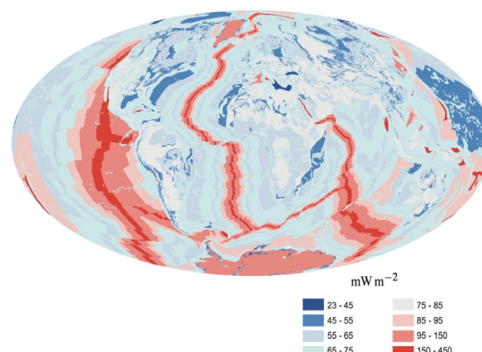


Figura 2

El aumento simultáneo del número de terremotos en el fondo oceánico con magnitudes de 4-6 y las temperaturas atmosféricas globales. Viterito, A. (2022) 1995: An Important Inflection Point in Recent Geophysical History [1995: Un importante punto de inflexión en la historia geofísica reciente]. International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources, 29(5).

<https://doi.org/10.19080/ijesnr.2022.29.556271>



En la época moderna, en contraste con los datos históricos, se observa un aumento exponencial sin precedentes de la frecuencia de terremotos significativos. El análisis de los datos del Servicio Geológico de Estados Unidos

(USGS) indica que antes de la década de 2000 sólo se producían 1 o 2 terremotos destructivos de magnitud 6 o superior al año, mientras que en la actualidad su número se ha multiplicado por 8 (Figura 3).

Aumento del número de terremotos significativos a escala mundial con magnitudes M6,0 y superiores

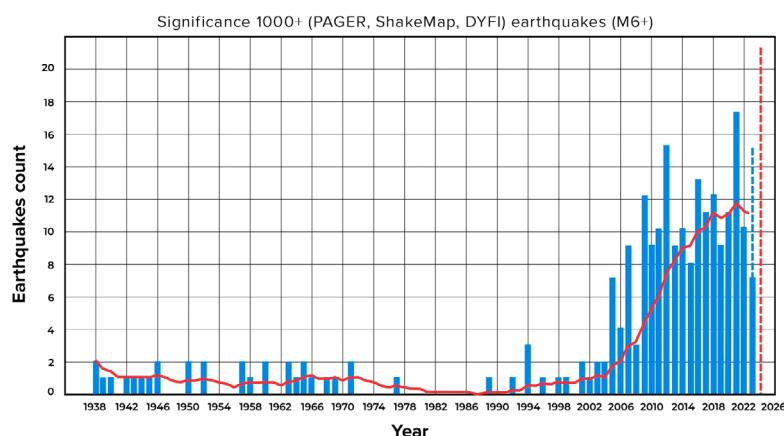


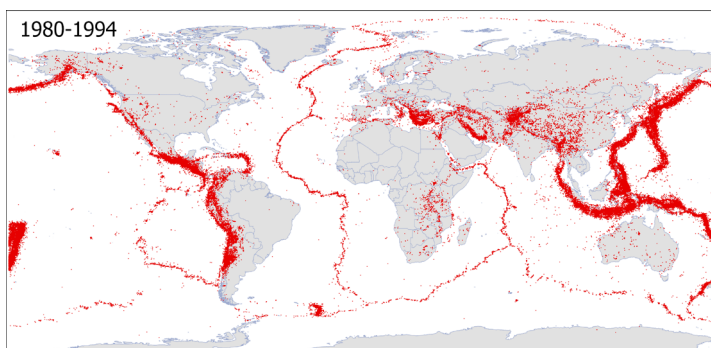
Figura 3

Número de terremotos significativos de magnitud M6 o superior en todo el mundo. La selección de terremotos se llevó a cabo basándose en un criterio de significancia de 1.000+, teniendo en cuenta la magnitud, la intensidad, la perceptibilidad y los daños para identificar los sucesos con consecuencias significativas, al tiempo que se excluían los casos menores e insignificantes. Fuente de datos: Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)

El número de terremotos está aumentando en regiones que antes no se caracterizaban por su elevada actividad sísmica. Los mapas presentados en la Figura 4 demuestran claramente la expansión de la cobertura

geográfica de los eventos sísmicos: ahora se extienden más allá de los límites de las placas litosféricas y ocurren dentro de plataformas estables.

Terremotos M4+ en el mundo durante 1980-1994



Terremotos M4+ en el mundo durante 2009-2023

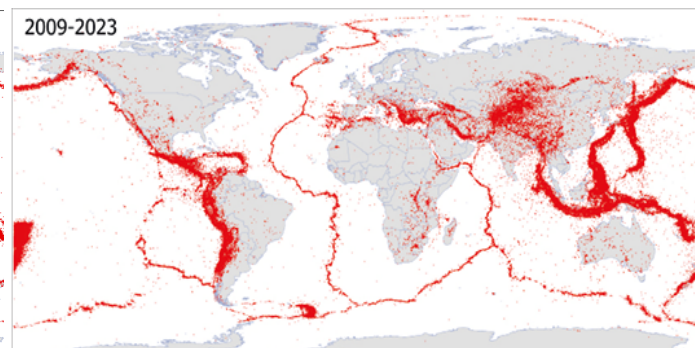


Figura 4

El mapa muestra todos los terremotos con una magnitud de 4,0 o superior para dos períodos de tiempo idénticos: 1980-1994 y 2009-2023. Los mapas se crearon teniendo en cuenta todos los terremotos únicos registrados en bases de datos sísmicas como IRIS, ISC, USGS, EMCS y VolcanoDiscovery.

Algunas personas creen que el aumento del número de terremotos se debe a la expansión de la red de sensores sísmicos y no a un aumento real del número de sucesos. En efecto, con el tiempo han aumentado el número y la sensibilidad de los sensores sísmicos. Sin embargo, esto sólo ha conducido a un registro más detallado de los sismos de pequeña magnitud que antes pasaban desapercibidos. En realidad, desde la década

de 1970 existen suficientes sensores sísmicos para registrar todos los terremotos de magnitud 4,0 o superior (véase la figura 5). Por lo tanto, la tendencia observada de aumento de los terremotos desde 1995 no se debe a avances tecnológicos, sino que refleja cambios reales. En efecto, en los últimos 25 años la actividad sísmica ha aumentado considerablemente y sigue aumentando.

Gráfico de densidad de eventos sísmicos en función de la magnitud en el mundo

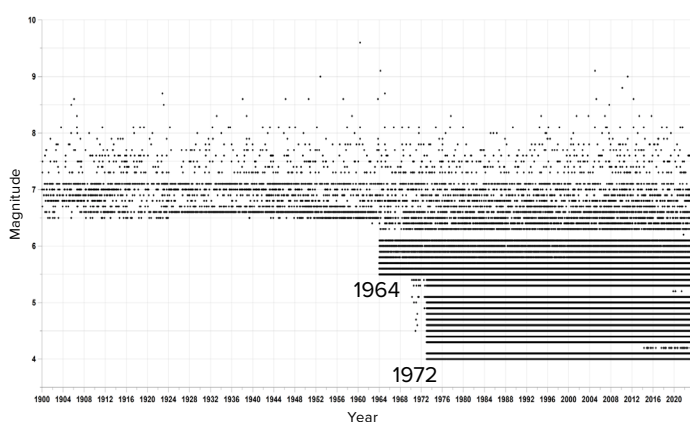


Figura 5

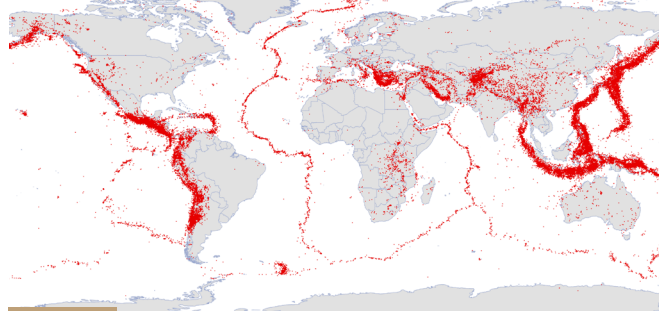
Los puntos negros del gráfico representan terremotos de distinta magnitud en diferentes años. Antes de 1964, sólo se registraban terremotos de magnitud 6,5 o superior. Desde 1964 (con la instalación de sensores más sensibles), se registran los terremotos de magnitud 5,5 y superior. Desde 1972, se registran los terremotos de magnitud 4,0 o superior, independientemente de su localización.

El mapa de la Figura 6 muestra la distribución espacial de los terremotos de magnitud 4,0-4,9 ocurridos en distintas regiones de la Tierra. Estos mapas tienen en cuenta todos los terremotos únicos registrados en las bases de datos sísmicos de IRIS, ISC, USGS, EMCS y VolcanoDiscovery. El mapa muestra que los eventos sísmicos con una magnitud de 4,0-4,9 ya

se registraban en todo el mundo antes de 1995, lo que indica la presencia de sensores sísmicos en estas zonas. Desde 1995, se ha observado un aumento del número y la superficie de las regiones con gran actividad sísmica, así como la aparición de nuevas regiones con un número significativo de terremotos.

Terremotos M4,0-4,9 en el mundo durante 1980-1994

80-1994 M 4-4.9



Terremotos M4,0-4,9 en el mundo durante 2009-2023

09-2023 M 4-4.9

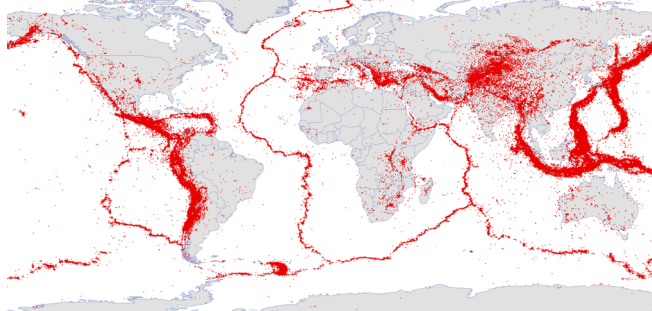


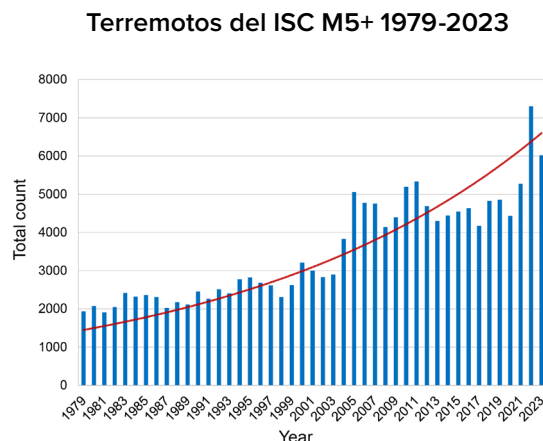
Figura 6

Terremotos con una magnitud de 4,0-4,9 en el mundo en los períodos de 1980-1994 y 2009-2023. Estos mapas tienen en cuenta todos los terremotos únicos registrados en las bases de datos sísmicas de IRIS, ISC, USGS, EMCS y VolcanoDiscovery.

El aumento de los terremotos de magnitud 5,0 o superior también se refleja en el gráfico que representa el número de eventos sísmicos según la base de datos del Centro Internacional de Sismología (Figura 7).

Figura 7

Terremotos de magnitud 5,0 y superior según la base de datos del ISC. El significativo aumento del número de terremotos en 1995 es claramente visible.



Según la base de datos VolcanoDiscovery (<https://www.volcanodiscovery.com>), en la década de 1980 se producían unos 10.000 terremotos de magnitud 3,0 o superior al año. Sin embargo, a partir de 2021, se han producido más de 60.000 terremotos anuales de esta magnitud (véase la figura 8). Cabe destacar que esta base de datos incluye un conjunto significativo de eventos sísmicos que no están presentes en otras bases de datos.

El aumento del número de terremotos de

pequeña magnitud sugiere que el número de terremotos de gran magnitud probablemente aumentará en el futuro, de acuerdo con la Ley de Gutenberg-Richter. Esta ley expresa una relación logarítmica entre el número de terremotos y su magnitud, es decir, si aumenta el número de terremotos de pequeña magnitud, se espera que aumente también el número de terremotos de gran magnitud.

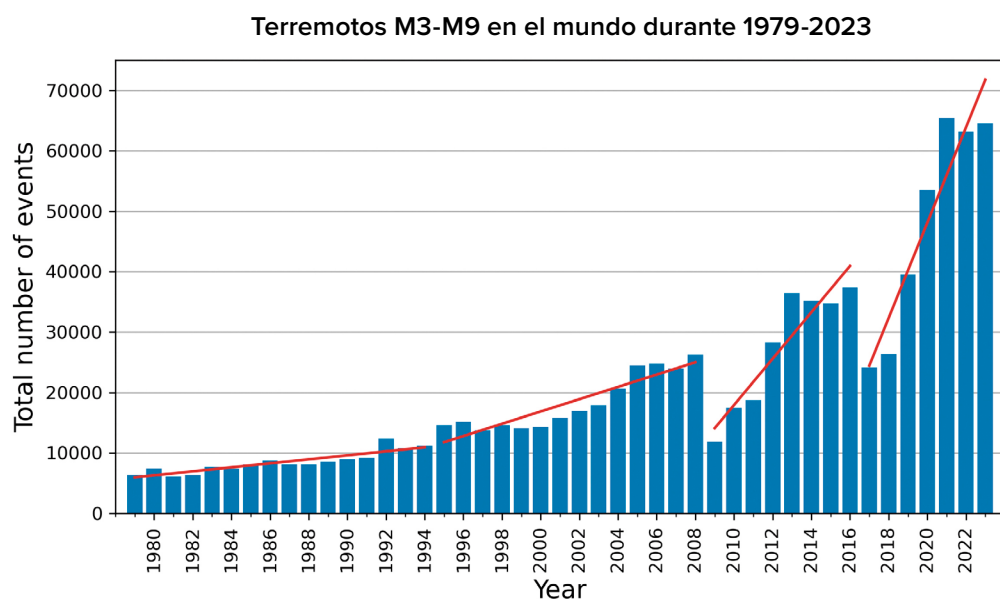


Figura 8

El gráfico muestra el aumento del número de terremotos de magnitud 3,0 o superior en todo el mundo, a partir de los datos de la base sismológica VolcanoDiscovery. El gráfico ilustra una tendencia exponencial.

Es importante señalar que ninguna base de datos sísmicos mundial puede ofrecer una representación completa y precisa de la actividad sísmica en todo el mundo debido a las diferencias en los aspectos técnicos, científicos y prácticos de su funcionamiento. La figura 9 presenta un gráfico del número de terremotos con una magnitud de al menos 3,0 registrados por diversos servicios sismológicos internacionales desde 1979.

Al comparar todos los eventos presentados en estas bases de datos sísmicas, resulta evidente que, desde 2014, los conjuntos de eventos sísmicos han empezado a diferir no solo en cantidad (véase

la figura 9), sino también en singularidad (véase la figura 10). Es decir, aparecieron eventos que están presentes en una o más bases de datos, pero están ausentes en otras. Aunque los conjuntos de datos sobre terremotos deberían reflejar la misma realidad.

Para obtener una imagen más completa y objetiva de la actividad sísmica en todo el mundo, es esencial comparar y conciliar los datos procedentes de distintas fuentes, teniendo en cuenta sus peculiaridades y limitaciones.

Comparación del número de terremotos M3+ entre 1979 y 2022 a partir de datos de diversas bases de datos sísmicas

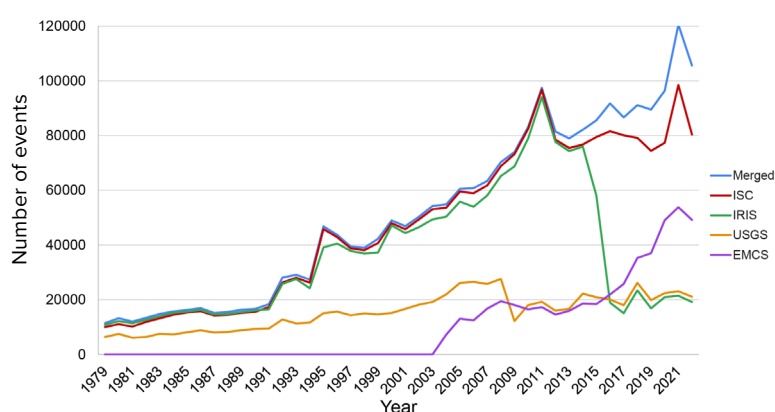
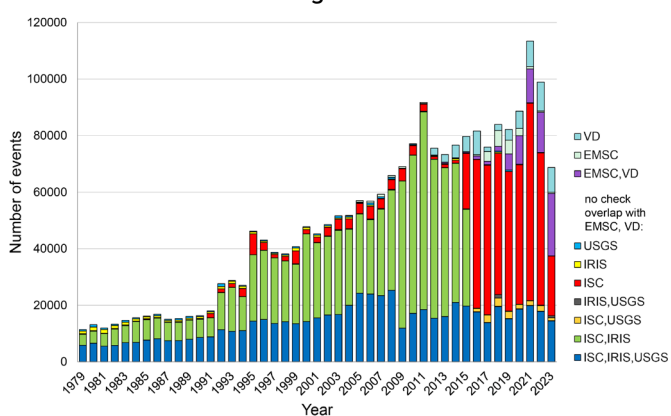


Figura 9

El gráfico representa el número de terremotos con una magnitud de al menos 3,0 registrados por diversos servicios sismológicos internacionales durante un período concreto. La curva azul representa la suma de todos los eventos únicos recogidos de todas las bases de datos. La metodología de selección se detalla en el Apéndice 1.

Número de eventos sísmicos únicos M3+ durante 1979-2023 notificados sólo por los servicios sismológicos indicados



Número de eventos sísmicos únicos M4+ durante 1979-2023 notificados sólo por los servicios sismológicos indicados

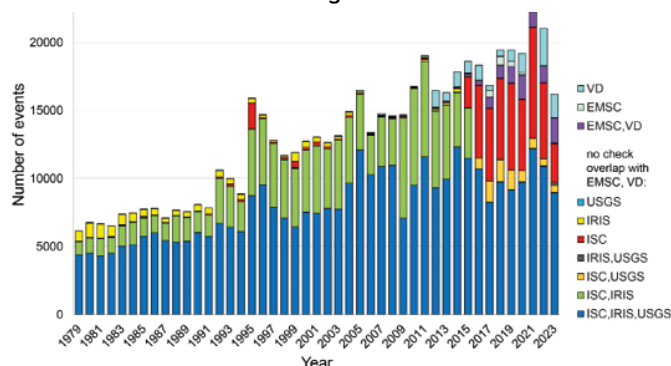


Figura 10

Gráficos que representan el número de eventos sísmicos únicos con una magnitud de 3,0 o superior (izquierda) y con una magnitud de 4,0 o superior (derecha) presentes simultáneamente sólo en los servicios sísmicos especificados de 1979 a 2023.

Aumento de los terremotos de foco profundo

Los terremotos de foco profundo son eventos sísmicos que se producen a profundidades superiores a 300 km y, en algunos casos, alcanzan profundidades de hasta 750 km bajo la superficie terrestre. Los terremotos de foco profundo se producen en condiciones de alta presión y temperatura, en las que se espera que el material del manto se deforme maleablemente en lugar de ser frágil y, por lo tanto, no debería generar terremotos. Sin embargo, estos fenómenos se registran con regularidad y los mecanismos por los que se producen siguen siendo objeto de debate científico.

El actual aumento de los terremotos no se debe únicamente a la tensión de la corteza terrestre, sino que está causado por un incremento de la actividad magmática global en las profundidades de la Tierra. Así lo indica la tendencia exponencial del aumento de los terremotos de foco profundo (Figuras 11-12). El gráfico muestra la progresión exponencial del número creciente de terremotos a profundidades superiores a 300 km en el manto superior de la Tierra. Se puede observar un salto significativo en 1995, similar a los saltos en muchas otras anomalías geodinámicas.

Terremotos de foco profundo M1+ en todo el mundo durante 1970-2023

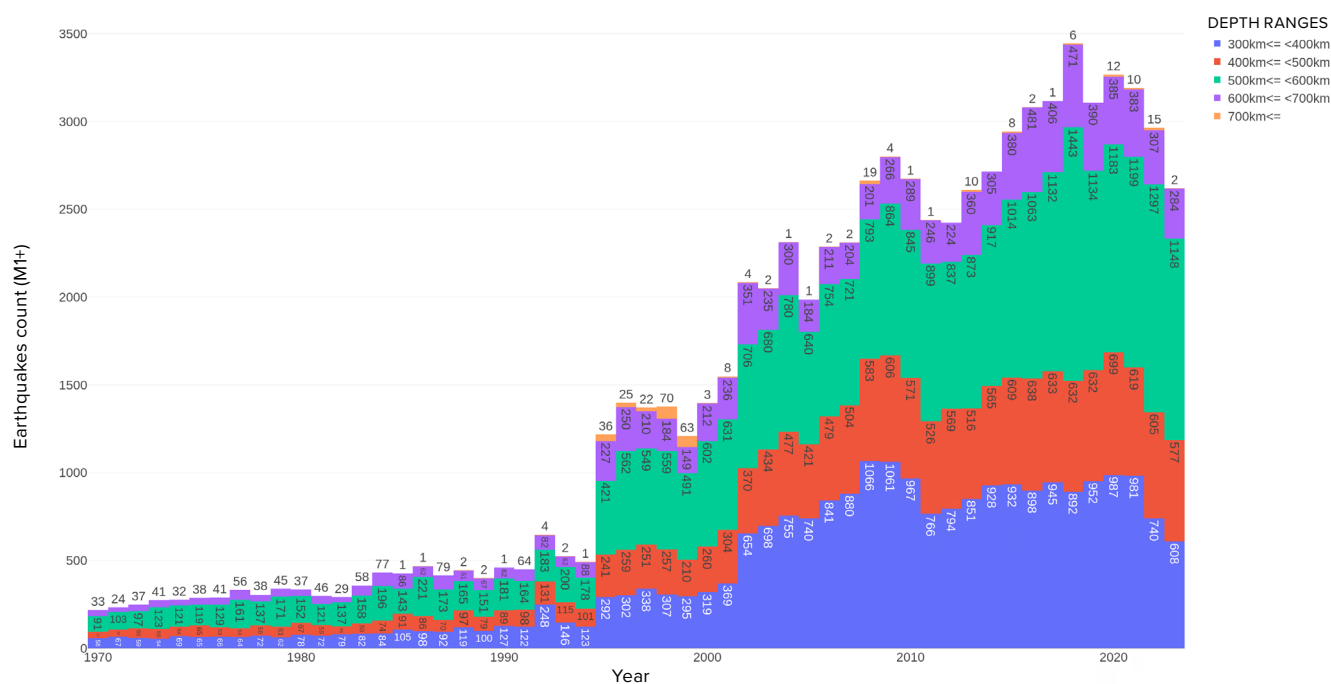


Figura 11

Aumento exponencial del número de terremotos de foco profundo M1+ en todo el mundo desde 1970. Base de datos ISC.

Número de terremotos (M3,0+)

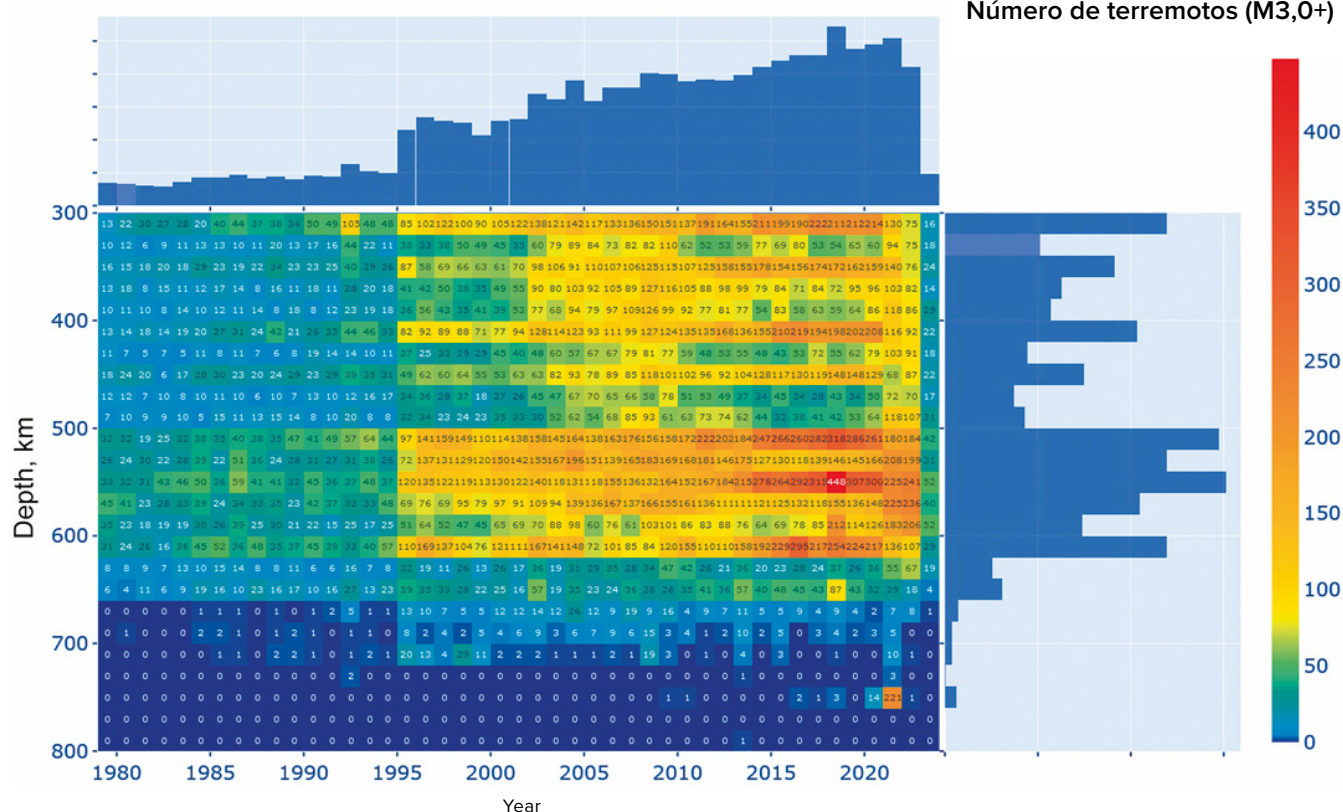


Figura 12

Mapa de calor de los terremotos de foco profundo con una magnitud de 3,0 o superior. La escala vertical representa las profundidades de los hipocentros, mientras que la escala horizontal representa los años. Base de datos ISC. En 1995 se observa un salto notable en el número de eventos. El mayor número de terremotos de foco profundo se produce a profundidades comprendidas entre 500 y 600 km.

Según el modelo descrito en este informe, los terremotos de foco profundo representan explosiones equivalentes en potencia a una gran cantidad de bombas atómicas detonando simultáneamente en las profundidades del manto terrestre. El crecimiento exponencial del número de terremotos de foco profundo indica una extraordinaria actividad magmática de

nuestro planeta. La creciente actividad sísmica en el manto es especialmente preocupante debido a que los terremotos de foco profundo suelen desencadenar potentes terremotos dentro de la corteza terrestre².

²Mikhailova R.S. (2014). Sil'nye zemletryaseniya v mantii i ih vliyaniye v blizhney i dal'ney zone [Fuertes terremotos en el manto y su impacto en la zona cercana y lejana]. Servicio Geofísico de la Academia de Ciencias de Rusia. <http://www.emsd.ru/conf2013lib/pdf/seism/Mihaylova.pdf>

Mikhailova, R. S., Ulubieva, T. R., Petrova N. V. (2021). Gindukushskoe zemletryasenie 26 oktyabrya 2015 g. s Mw=7.5, 10~7: predshestvuyushchaya seismichnost' i aftershokovaya posledovatel'nost' [El terremoto de Hindú Kush del 26 de Octubre de 2015, con Mw=7.5, 10~7: Sismicidad precedente y secuencia de réplicas]. Zemletryaseniya Severnoy Evrazii, 24, 324-339. DOI: 10.35540/1818-6254.2021.24.31

Activación de volcanes

Muchas grandes ciudades están situadas cerca o incluso dentro de calderas volcánicas. Por ejemplo, Kagoshima, en Japón, se encuentra dentro de la caldera Aira. Nápoles y Pozzuoli están cerca de la caldera de Campi Flegrei, en Italia. Además, Alemania alberga un enorme supervolcán llamado Laacher See, que ha empezado a mostrar signos de actividad en los últimos años.

La creciente actividad del magma es la causa principal de los cambios recientes en

las profundidades de la Tierra. Así lo corrobora el creciente número de terremotos en las proximidades de volcanes y supervolcanes, como Campi Flegrei en Italia (véase la figura 13), Taupo en Nueva Zelanda (véase la figura 14), Yellowstone en EE. UU. (véase la figura 15), Mauna Loa en Hawái (véase la figura 16), Trident en Alaska (véase la figura 17) y el volcán Sakurajima dentro de la caldera del supervolcán Aira en Japón (véase la figura 18).

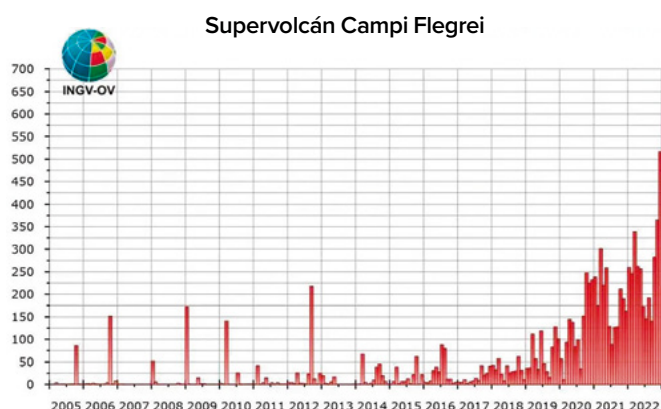


Figura 13

Tendencia en la frecuencia de los eventos sísmicos desde 2005, según lo informado en el Boletín Campi Flegrei por el Observatorio Vesubiano INGV para abril de 2023. (Fuente: <https://www.fanpage.it/napoli/campi-flegrei-675-terremoti-aprile-2023/>)

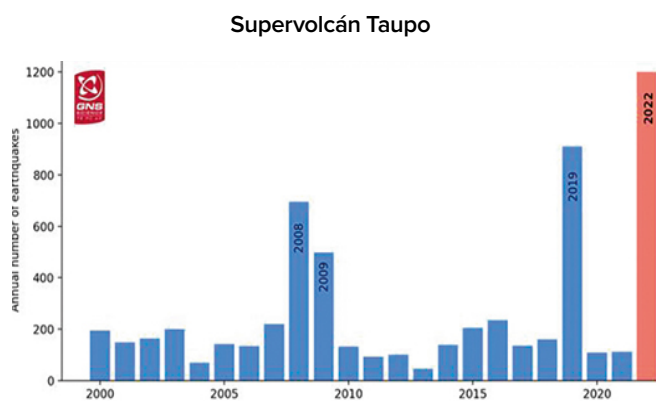


Figura 14

Número anual de terremotos en las proximidades del supervolcán Taupo. Datos del Boletín de Alerta Volcánica de GeoNet. (Recuperado el 14 de febrero de 2024, de <https://www.geonet.org.nz/vabs/7tu66IDztDnlaYDG0LYSgl>)

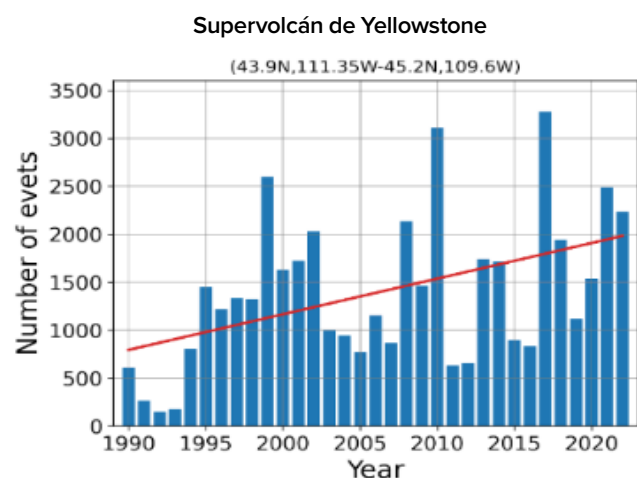


Figura 15

Aumento del número anual de terremotos en la zona del supervolcán de Yellowstone. Gráfico basado en datos del USGS.

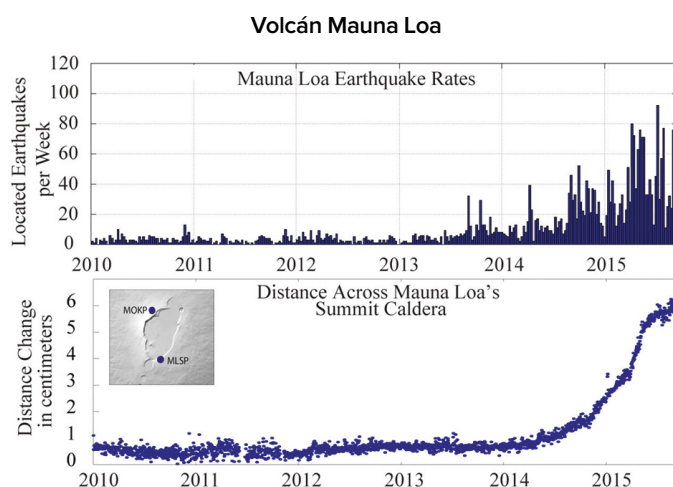
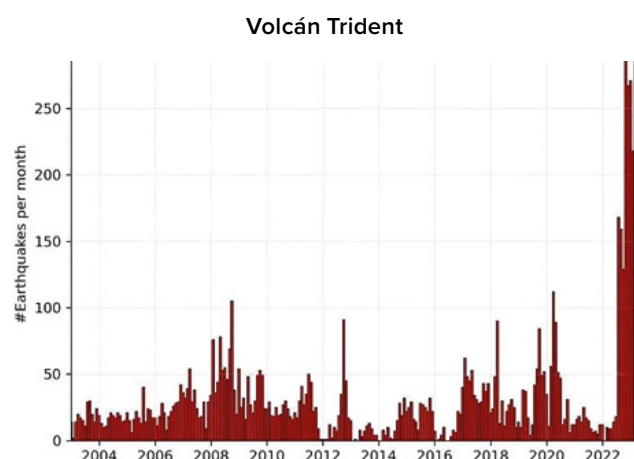
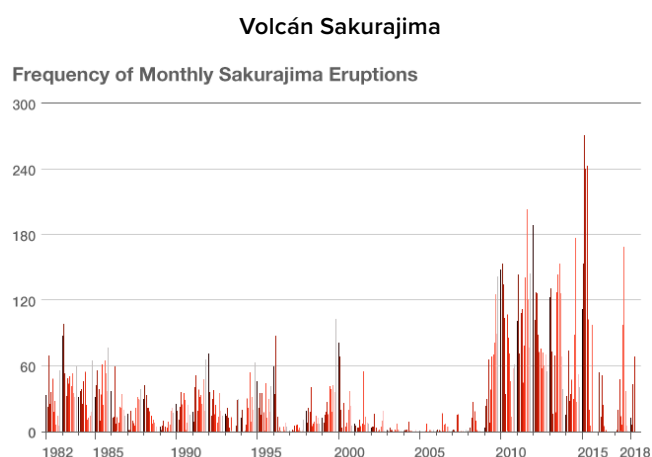


Figura 16

Datos sobre terremotos y deformaciones de 2010-2016 en las proximidades del volcán Mauna Loa. Datos proporcionados por el USGS. (Fuente: <https://www.usgs.gov/media/images/mauna-loa-earthquake-and-deformation-data-2010-2016>)

**Figura 17**

Terremotos bajo el volcán Trident, Alaska, desde el 1 de enero de 2003 hasta el 21 de febrero de 2023. El histograma muestra el número de terremotos registrados por mes. Fuente de los datos: USGS/AVO, Aaron Wech. (Fuente: <https://watchers.news/2023/02/23/increased-seismic-activity-under-trident-volcano-alaska/>)

**Figura 18**

Aumento del número de erupciones que indica una creciente actividad magmática en el volcán Sakurajima, Japón, dentro de la caldera del supervolcán Aira. (Fuente: <https://www.nippon.com/en/features/h00194/>)

El aumento de la actividad sísmica cerca de los volcanes indica la activación de procesos magmáticos, lo que sugiere que las cámaras de magma volcánicas se están llenando y probablemente se estén preparando para una posible erupción. Dada la atípica actividad actual del magma en las profundidades de nuestro planeta, la erupción de un supervolcán podría desencadenar una reacción en cadena de explosiones volcánicas, provocando una catástrofe global.

Los vulcanólogos también han observado otra anomalía: la lava expulsada por los volcanes tiene una composición atípica parecida a la del

magma de las capas profundas del manto, que se presenta en la siguiente infografía.

Los mapas muestran anomalías en la composición química o las propiedades físicas de la lava expulsada por varios volcanes en los últimos 10 años. Estos datos se basan en investigaciones realizadas por científicos de distintos países de todo el mundo.



América del Norte

CALDERA DEL SUPERVOLCÁN DE YELLOWSTONE (EE. UU.)

DESDE 1995

La frecuencia e intensidad de los terremotos han aumentado desde 1995.

La profundidad de la mayoría de los terremotos disminuyó de 11 km en 2010 a 5 km en 2022.

En 2018, se produjo una sincronización de la actividad de los géiseres, cuando simultáneamente la mayoría de los géiseres de toda la caldera, comenzaron a entrar en erupción mucho más frecuentemente. La actividad de los géiseres sigue siendo elevada.

<https://doi.org/10.1073/pnas.2020943118>

En 2013-2014, la elevación de la zona aumentó repentinamente 5 veces.

<https://doi.org/10.1029/2019JB018208>

Desde 2003 vienen apareciendo zonas locales de sobrecalentamiento de la superficie.

<https://www.usgs.gov/news/thermal-activity-norris-geyser-basin-provides-opportunity-study-hydrothermal-system>
<https://doi.org/10.3389/feart.2020.00204>



América del Norte VOLCÁN EDGE CUMBE, ALASKA (EE. UU.)

2019-2022

Un volcán que ha permanecido dormido durante 800 años tiene la tasa más rápida de levantamiento del terreno en Alaska. Esto es anómalo ya que los volcanes dormidos se están reactivando drásticamente, especialmente a este ritmo. El magma subió unos 10 kilómetros desde una profundidad de unos 20 kilómetros, provocando terremotos y una importante deformación de la superficie.

<https://doi.org/10.1029/2022GL099464>



América del Sur VOLCÁN CHAITÉN (CHILE)

1 DE MAYO DE 2008

El volcán Chaitén expulsó de repente magma riolítico. Los residentes sintieron terremotos 24 horas antes de que cayera ceniza sobre ellos y se produjera una erupción masiva. Un aviso tan breve de una gran erupción, especialmente de basalto, es inusual para los magmas ácidos. El rápido resurgimiento sugiere un tiempo de tránsito de unas cuatro horas desde una profundidad de almacenamiento de más de cinco kilómetros hasta la superficie cercana. Esto sugiere un rápido ascenso del magma a través del sistema subvolcánico.

<https://doi.org/10.1038/nature08458>





África

UN VOLCÁN SUBMARINO CERCA DE LA ISLA DE MAYOTTE (FRANCIA)**2019**

Nacimiento de un nuevo volcán frente a la costa de Mayotte, cerca de la isla de Reunión, frente a la costa de Madagascar. En un año, el magma recorrió 80 km desde el manto terrestre hasta la superficie a través de toda la corteza terrestre, creando un nuevo volcán submarino. Se trata de un ritmo de formación de volcanes sin precedentes. En 2019, fue la mayor erupción submarina activa jamás registrada.

<https://doi.org/10.1038/s41561-021-00809-x>



Antártida

VOLCÁN SUBMARINO ORCA EN EL ESTRECHO DE BRANSFIELD**AGOSTO DE 2020 - FEBRERO DE 2021**

La zona que rodea el volcán submarino Orca, anteriormente inactivo, ha experimentado unos 85.000 terremotos causados por la intrusión de magma. El magma quemó 10 kilómetros de la corteza terrestre en seis meses, un récord de velocidad e intensidad de la intrusión.

<https://doi.org/10.1038/s43247-022-00418-5>



África

VOLCÁN NYIRAGONGO (CONGO-RUANDA)**2021**

Una erupción sin precursores fue provocada por la ruptura del edificio volcánico de Nyiragongo. La erupción fue anómala en el sentido de que se propagó de arriba abajo y provocó el emplazamiento de un extenso dique de 25 kilómetros de longitud.

<https://doi.org/10.1038/s41586-022-05047-8>



Antártida

VOLCÁN DECEPCIÓN**2015**

Enjambres sísmicos causados por una intrusión de magma profunda, prolongada y a gran escala. La mayor actividad jamás registrada.

<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107376>



Asia

**VOLCÁN CHANGBAISHAN
(COREA DEL NORTE-CHINA)****2002-2005**

Un fuerte terremoto de foco profundo cerca del volcán, a 566 km de profundidad y con una magnitud de 7,2, provocó tres años de perturbaciones sísmicas. Los intensos enjambres sísmicos se desencadenaron por la intrusión de nuevo magma y actividad de la fase gaseosa del manto.

<https://doi.org/10.3389/feart.2020.599329>



Asia

**VOLCÁN RAIKOKE, GRAN
CORDILLERA DE LAS KURILES (RUSIA)****21-25 DE JUNIO DE 2019**

La erupción fue una de las mayores del siglo XXI en las Islas Kuriles. La erupción se caracterizó por una anomalía: los magmas que alimentaron el volcán Raikoke se originaron en el manto, es decir, los magmas tienen una fuente profunda. La erupción fue explosiva en todo momento, produciendo caídas de ceniza y flujos piroclásticos densos. Estos últimos aumentaron la superficie de la isla en 0,7 km².

<https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2021.107346>



Asia

VOLCÁN MERAPI (INDONESIA)**2010**

La erupción VEI 4 fue el peor desastre volcánico ocurrido en el Monte Merapi en 80 años. La erupción fue provocada por una afluencia de magma profundo, rico en volátiles, mayor de lo normal y que se infiltró en un tiempo relativamente corto. Durante y después de la erupción, los lahares desbordaron casi todos los valles principales, causando muchos más daños que tras erupciones anteriores.

https://doi.org/10.1007/978-3-031-15040-1_12



📍 Australia, Nueva Zelanda y Oceanía

CALDERA DEL SUPERVOLCÁN TAUPO (NUEVA ZELANDA)

2003-2011

Se observó un levantamiento del terreno, lo que se correlaciona con una intensa actividad sísmica en la región. Nacimiento de una nueva cámara de magma.

<https://doi.org/10.1126/sciadv.1600288>

2019

Una serie de terremotos provocados por la intrusión de magma a 8 km de profundidad dentro de la caldera de Taupo.

<https://doi.org/10.3389/feart.2020.606992>

2022

Aumento de la actividad sísmica, aumento de la actividad volcánica.

<https://www.geonet.org.nz/news/LuzOzDmQc-QUUmdeiL67oX>

📍 Australia, Nueva Zelanda y Oceanía

VOLCÁN KILAUEA HAWÁI (EE. UU.)

2018

Mayor erupción de la Zona de Falla Inferior Este y colapso de la caldera, por primera vez en al menos 200 años.

<https://doi.org/10.1126/science.aav7046>

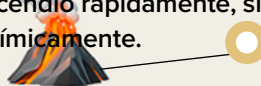


📍 Australia, Nueva Zelanda y Oceanía

VOLCÁN HUNGA TONGA-HUNGA HA'APAI (REINO DE TONGA)

15 DE ENERO DE 2022

Récord de la erupción volcánica más violenta jamás registrada. El penacho de esta erupción explosiva se elevó hasta 58 kilómetros en su punto más alto, atravesando la mesosfera. La erupción también produjo el mayor número de rayos registrados en un fenómeno natural. La lava de composición similar no había fluido en las erupciones anteriores de Tonga en 2009 y 2014. En las erupciones anteriores, el magma quedó atrapado en un epicentro intermedio, pero esta vez el magma fresco ascendió rápidamente, sin perder tiempo en cambiar químicamente.



<https://doi.org/10.1038/d41586-022-00394-y>

<https://www.xweather.com/annual-lightning-report>

<https://doi.org/10.1126/sciadv.adh3156>



EUROPA

VOLCÁN FAGRADALSFJALL (ISLANDIA)**2021**

La velocidad de cambio de los parámetros químicos clave de la lava del volcán fue más de mil veces superior a la de otras erupciones. El rango global de composiciones químicas de este único evento es similar a la de todas las erupciones del suroeste de Islandia de los últimos 10.000 años. Además, la fase de expulsión del magma profundo se corresponde con el período de la erupción cuando una fuente de lava se elevó hasta 400 metros de altura. Los análisis geoquímicos de los basaltos expulsados durante los primeros 50 días de la erupción, junto con las emisiones de gas asociadas, indican un origen directo desde la zona de almacenamiento de magma en el manto superior. El sistema volcánico de Fagradalsfjall, en la península de Reykjanes, ha entrado en erupción tres veces desde 2021 tras más de 800 años de inactividad.

<https://doi.org/10.1038/s41586-022-04981-x>



EUROPA

VOLCÁN BORGARHRAUN (ISLANDIA)**2014**

Velocidad sin precedentes de ascenso del magma en un volcán que llevaba milenios dormido. El magma tardó sólo 10 días en ascender desde el depósito situado a 24 km de profundidad hasta la superficie.

<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0376-9>



EUROPA

VOLCÁN CUMBRE VIEJA (ESPAÑA)**2021**

Tras la primera explosión, a las pocas horas ya fluyó magma activo y móvil. La lava era superfluida, la más líquida de las erupciones basálticas históricas de este lugar. El volcán se alimenta del fundido de la pluma del manto, es decir, procede del manto profundo. Quizá el magma procede de las capas más profundas de la Tierra, del núcleo a través de zonas de velocidad reducida. Por eso la lava que fue expulsada a la superficie en la erupción de septiembre de 2021 era superfluida y móvil.

<https://doi.org/10.1038/s41598-022-21818-9>



 EUROPA**SUPERVOLCÁN LAACHER SEE
(ALEMANIA)****2013-2018**

La aparición de actividad sísmica a profundidades de 10 a 40 kilómetros cerca de la caldera del supervolcán, que entró en erupción hace 12,9 mil años, así como las continuas emisiones de gas volcánico alrededor de la caldera, indican un sistema magmático activo, posiblemente asociado a la zona de fusión del manto superior.

<https://doi.org/10.1093/gji/ggy532>

 EUROPA**CALDERA DEL SUPERVOLCÁN
CAMPI FLEGREI (ITALIA)****2004-2024**

La presión del gas comienza a levantar el suelo, lo que indica que el volcán está entrando en actividad. El bradisismo continúa hasta hoy.

2016-2024

Aumento exponencial del número de terremotos volcano-tectónicos y sincronización de todos los precursores de erupciones.

<https://doi.org/10.1038/s43247-023-00842-1>

 EUROPA**VOLCÁN ETNA (ITALIA)****DICIEMBRE DE 2020 - FEBRERO DE 2022**

Las erupciones de 2020-2022 fueron alimentadas por el más intenso ascenso de magma de todas las erupciones de la última década. Este período se caracterizó por erupciones más frecuentes. Se observó una rápida migración de magma basáltico desde el nivel más profundo en un tiempo récord.

<https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2023.104563>

 EUROPA**VOLCÁN SUBMARINO KOLUMBO
(GRECIA)****2006-2007**

El ascenso frecuente del fundido principal desde niveles más profundos provoca el calentamiento y la formación de una nueva cámara magmática. Los registros de actividad sísmica en distintos momentos indican una continua reposición del depósito con magma procedente de fuentes más profundas.

<https://doi.org/10.1029/2022GC010420>

<https://doi.org/10.1029/2022GC010475>



En la última década, se ha producido una aceleración del ascenso de magma desde las profundidades de la corteza terrestre en muchas regiones volcánicas, como Islandia, Italia, la isla de Mayotte en el océano Índico, la isla de La Palma (Islas Canarias) y otras. Esto indica un aumento de la actividad volcánica a escala mundial.

Los vulcanólogos están muy preocupados por el rápido aumento del ritmo al que el magma se eleva desde las profundidades de la Tierra. Un proceso que antes tardaba cientos o incluso miles de años se está produciendo ahora en tan sólo seis meses en algunas regiones. Esta dramática aceleración se observó en el estrecho de Bransfield en

2021, donde el ascenso de magma desde una profundidad de 10 km estuvo acompañado de 85.000 terremotos³. El espesor de la corteza en esta zona es de aproximadamente 15 km, y la localización sísmica indicó que 10 km de la corteza ya habían sido erosionados por el magma activo, quedando sólo 5 km antes de que se abriera una brecha hacia la superficie.

El rápido ascenso del magma desde grandes profundidades indica la ocurrencia de procesos peligrosos y sin precedentes en el interior de la Tierra. La activación de volcanes sugiere que una enorme cantidad de energía se ha estado acumulando en las profundidades del interior del planeta, buscando estallar hacia fuera.

Intensificación de huracanes, tormentas y tornados

En 2023, por primera vez en la historia, se formó en todas las cuencas oceánicas un ciclón tropical de categoría 5, la máxima categoría en cuanto a fuerza. Casi todos los huracanes de esta categoría batieron récords de fuerza, duración y rápida intensificación en comparación con los huracanes de los años anteriores⁴.

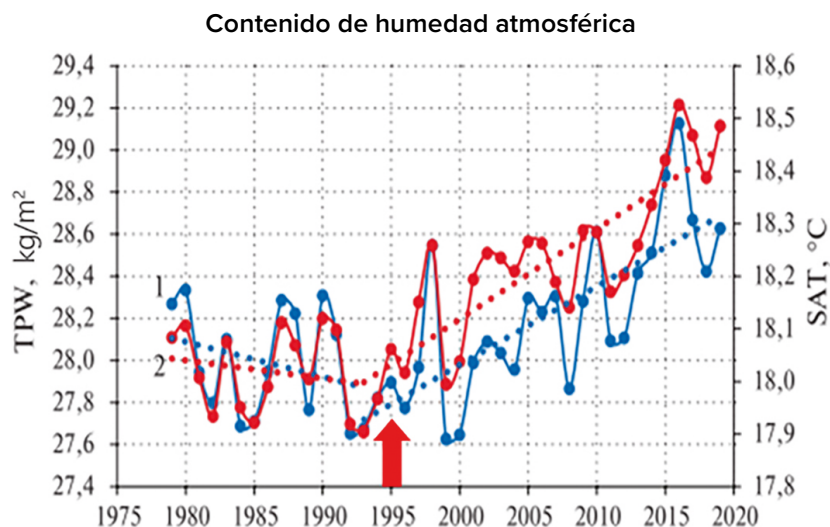
Por ejemplo, el huracán “Otis”, que pasó de ser una tormenta tropical normal a convertirse en el huracán de categoría 5 más destructivo en sólo 12 horas. Este desastroso aumento de la velocidad de los vientos huracanados se atribuye al calentamiento anómalo del océano y al factor antropogénico, que se describirá más adelante. Debido a este calentamiento del océano, se libera más humedad a la atmósfera.

Desde 1995 se registra un aumento significativo de la humedad atmosférica sobre el océano (Figura 19). El gráfico indica

los cambios en la evaporación oceánica y la temperatura del aire sobre el océano desde 1975 hasta 2020. Desde 1995, ambos indicadores han mostrado un aumento constante, lo que señala el calentamiento del océano global y de la atmósfera sobre él. Sin embargo, antes de 1995, ambos indicadores disminuían. Cabe señalar que, desde 1995, también se han observado importantes procesos geodinámicos en el interior de la Tierra, entre los que destacan cambios como: la multiplicación por 3,5 de la velocidad de deriva del polo norte magnético, el desplazamiento del eje de rotación del planeta y el aumento de la velocidad de rotación del planeta, así como el aumento del número e intensidad de los terremotos en el fondo oceánico y de los terremotos de foco profundo (que se tratarán con más detalle a continuación).

³ Cesca, S., Sugan, M., Rudzinski, Ł., Vajedian, S., Niemz, P., Plank, S., Petersen, G., Deng, Z., Rivalta, E., Vuan, A., Plasencia Linares, M. P., Heimann, S. y Dahm, T. (2022). Massive earthquake swarm driven by magmatic intrusion at the Bransfield Strait, Antarctica [Enjambre sísmico masivo provocado por intrusión magmática en el estrecho de Bransfield, Antártida]. *Communications Earth & Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00418-5>

⁴ Mersereau, D. (2023, September 9). A world first, every tropical ocean saw a Category 5 storm in 2023 [Por primera vez en el mundo, todos los océanos tropicales vieron una tormenta de categoría 5 en 2023]. The Weather Network. <https://www.theweathernetwork.com/en/news/weather/severe/a-world-first-every-tropical-ocean-saw-a-category-5-hurricane-cyclone-in-2023>

**Figura 19**

Variación interanual del contenido de humedad atmosférica (1) en kg/m² y de la temperatura del aire (2) en °C sobre el Océano Mundial de 1979 a 2019.

Fuente: Malinin V. N. y Vaynovsky P. A. (2021). Trendy komponent vlagoobmena v sisteme okean-atmosfera v usloviyah global'nogo potepleniya, po dannym arhiva Reanalysis-2 [Tendencias de los componentes del intercambio de humedad en el sistema océano-atmósfera en condiciones de calentamiento global, según el archivo Reanalysis-2]. Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa, 18(3), 9-25.

DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25)

Así pues, el aumento de la temperatura del agua oceánica y de la evaporación está relacionado tanto con el factor antropogénico como con el ascenso de magma desde el manto, que influye en la temperatura y la circulación del agua en el océano.

El aumento de la humedad del aire debido a la evaporación de los océanos provoca una intensificación de los fenómenos hidrometeorológicos, como huracanes tropicales, tormentas, tornados, temperaturas anormales, precipitaciones e inundaciones.

En Europa, se observa una tendencia

creciente en el número de tornados desde 1970 hasta 2023, como se muestra en la Figura 20, basada en datos de la Base de datos de fenómenos meteorológicos severos en Europa (ESWD). Hay un aumento significativo en el número de tornados: de aproximadamente 45 tornados por año en la década de 1970 a más de 800 por año de 2014 a 2023. Esto significa que el número medio de tornados al año en Europa se ha multiplicado por 18. Se están produciendo tornados y huracanes en regiones donde nunca antes habían ocurrido, lo que provoca importantes pérdidas económicas.

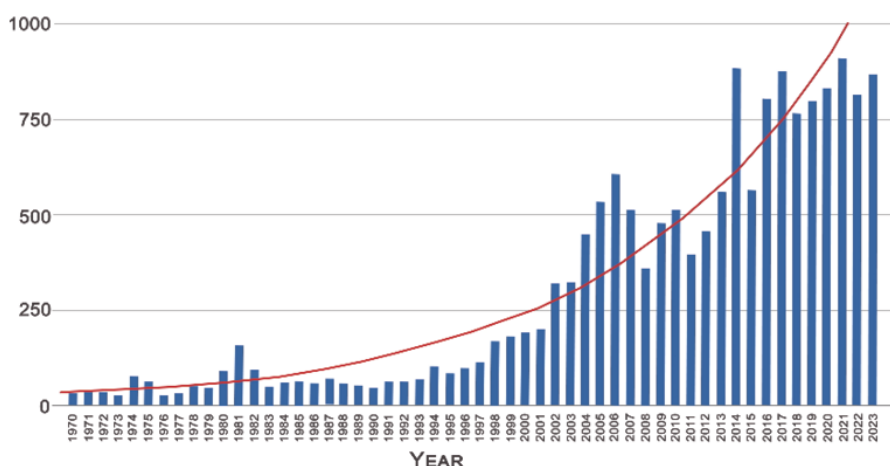
Aumento del número de tornados en Europa**Figura 20**

Gráfico del número anual de tornados en Europa. Fuente de datos: Base de datos de fenómenos meteorológicos severos en Europa (ESWD)

En la última década, las tormentas convectivas acompañadas de tornados, granizo, lluvias torrenciales y tormentas eléctricas se han convertido en un fenómeno predominante y han causado daños significativos en Norteamérica y Australia.

Un análisis de los datos de la NOAA, presentado en la Figura 21, muestra un

crecimiento exponencial del número de tormentas con mil millones de dólares en daños en Estados Unidos entre 1981 y 2023. De 1981 a 1990, hubo 2 o menos tormentas de este tipo al año. Sin embargo, se ha producido un fuerte aumento en los últimos años, con 19 tormentas de este tipo sólo en 2023.

Número de tormentas severas en EE. UU. con más de mil millones de dólares estadounidenses en daños

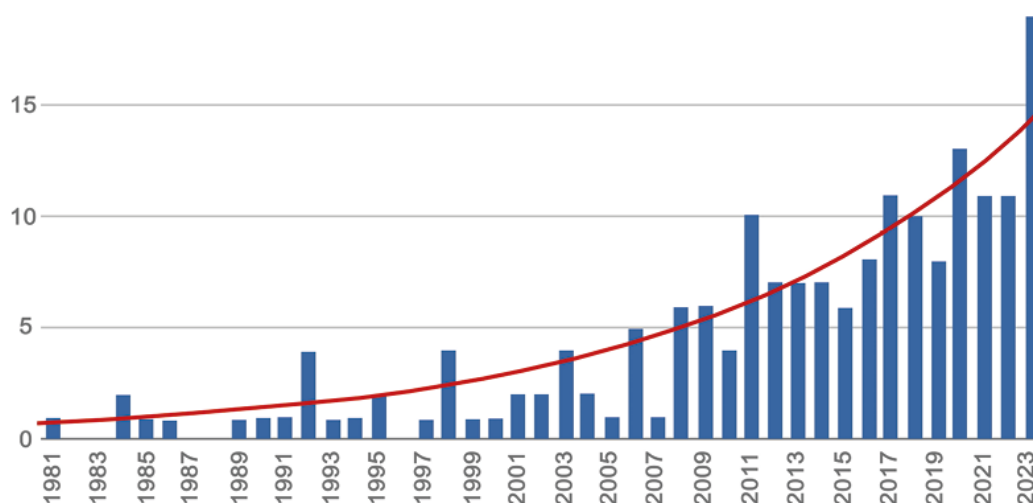


Figura 21

Gráfico del número de tormentas severas que causaron daños superiores a mil millones de dólares en Estados Unidos. Fuente de datos: NOAA

Los daños de las tormentas convectivas han llegado a ser comparables a los de los huracanes tropicales (Figura 22). La principal tendencia visible en el gráfico es el aumento de las pérdidas aseguradas para ambas categorías. Esto indica que el costo de estas catástrofes sigue aumentando.

Según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA), en un período de 10 años a partir de 1990, las tormentas convectivas han causado daños por un valor de unos 40.000 millones de dólares en Estados Unidos. Sin embargo, en la última década, las pérdidas totales se multiplicaron por 6, superando los 240.000 millones de dólares (Figura 23), mientras que sólo en 2023, las pérdidas relacionadas con las tormentas marcaron un nuevo récord, ascendiendo a 54.000 millones de dólares.

Pérdidas aseguradas acumuladas, 2001-2021 YTD

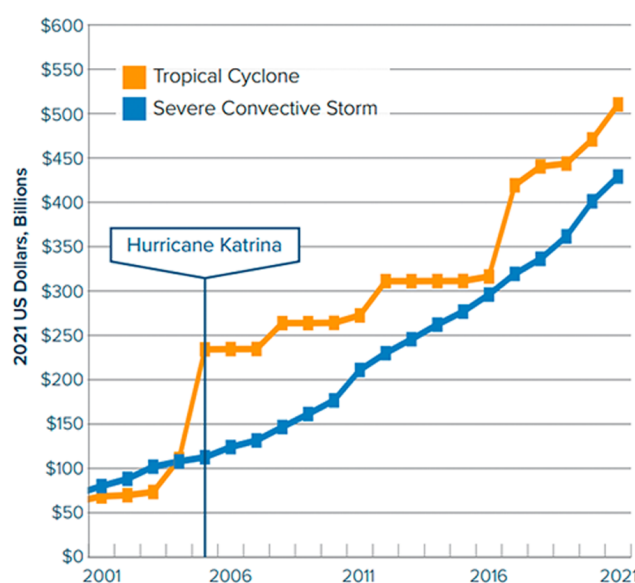
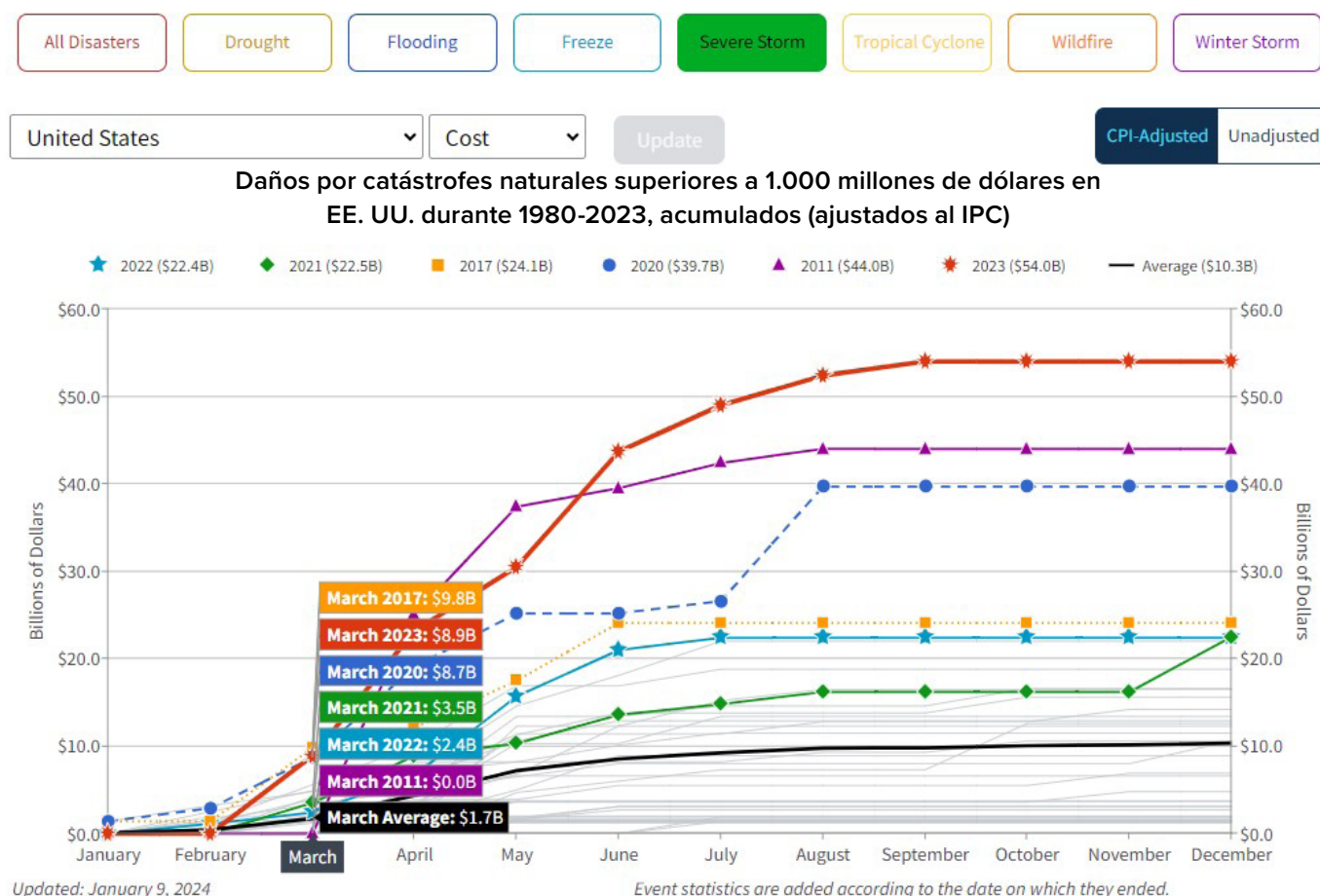


Figura 22

La dinámica de las pérdidas por tormentas convectivas y huracanes tropicales en Estados Unidos de 2001 a 2021. El gráfico muestra dos líneas: la línea naranja representa los huracanes tropicales y la línea azul las tormentas convectivas severas. Fuente de datos: Aon (Catastrophe Insight)

**Figura 23**

Aumento de las pérdidas por tormentas severas en Estados Unidos, con más de mil millones de dólares en daños.
 Fuente: Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA)

U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters [Desastres meteorológicos y climáticos con miles de millones de dólares estadounidenses en daños] (2024). NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI).
<https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>, DOI: 10.25921/stkw-7w73

El gráfico muestra líneas de varios colores, cada una de las cuales representa un año concreto. El año 2023, indicado por la línea roja, experimentó los mayores daños por tormentas severas, superando los 50.000 millones de dólares. El gráfico abarca el período de 1980 a 2023 y está ajustado a la inflación (IPC). El gráfico se actualizó por última vez el 9 de enero de 2024.

Según el informe de AON⁵ sobre catástrofes climáticas, las pérdidas económicas más importantes en Europa en los últimos 10 años fueron causadas por fuertes tormentas convectivas. Estas tormentas resultaron ser más destructivas que las tormentas invernales, consideradas tradicionalmente como la principal amenaza para la región.

Según la investigación del Swiss Re Institute⁶, las tormentas convectivas severas se han convertido recientemente en la mayor fuente de pérdidas económicas entre los peligros secundarios (eventos de alta frecuencia con daños de gravedad baja a media, como granizadas, inundaciones repentinas, tornados, deslizamientos de tierra, sequías e incendios forestales). De 2018 a 2022, las pérdidas económicas en todo el mundo por tormentas convectivas severas ascendieron a 177 mil millones USD, lo que representa un aumento del 60% en comparación con los cinco años anteriores (Figura 24). Esto indica un aumento de la frecuencia e impacto de estas catástrofes.

Pérdidas económicas mundiales por tormentas convectivas en dos períodos de 5 años: 2013-2017 y 2018-2022

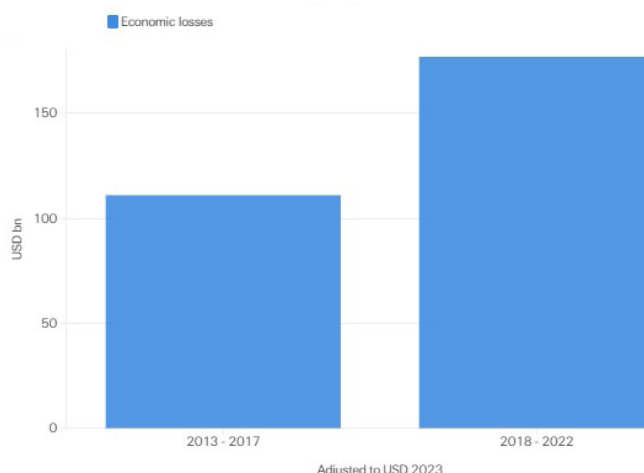


Figura 24

Comparación de las pérdidas económicas mundiales por tormentas convectivas en dos períodos de 5 años: 2013-2017 y 2018-2022. Basado en datos del Swiss Re Institute

⁵Weather, Climate and Catastrophe Insight (2023) [Perspectiva sobre la meteorología, el clima y las catástrofes] (p. 42). <https://www.aon.com/getmedia/f34ec133-3175-406c-9e0b-25ce-a768c5cf/20230125-weather-climate-catastrophe-insight.pdf>

⁶Swiss Re Institute. Natural catastrophes in focus: Tornados, hail and thunderstorms [Las catástrofes naturales en el punto de mira: Tornados, granizo y tormentas eléctricas]. <https://www.swissre.com/risk-knowledge/mitigating-climate-risk/tornados-hail-thunderstorms.html>

Aumento del número de inundaciones y sequías

También se ha producido un aumento significativo del número de inundaciones graves en todo el mundo (Figura 25). Las inundaciones graves se definen como aquellas que causan daños significativos tanto a las personas como a las infraestructuras. Mientras que en la década de 1970 solo se produjeron 260 inundaciones graves en un período de 10 años, el número de

inundaciones entre 2014 y 2023 ha aumentado a 1.500, lo que significa que se han producido 6 veces más inundaciones. Los datos indican que están aumentando la frecuencia y la intensidad de las precipitaciones extremas, que son una de las principales causas de las inundaciones.

Número total de inundaciones a gran escala en el mundo

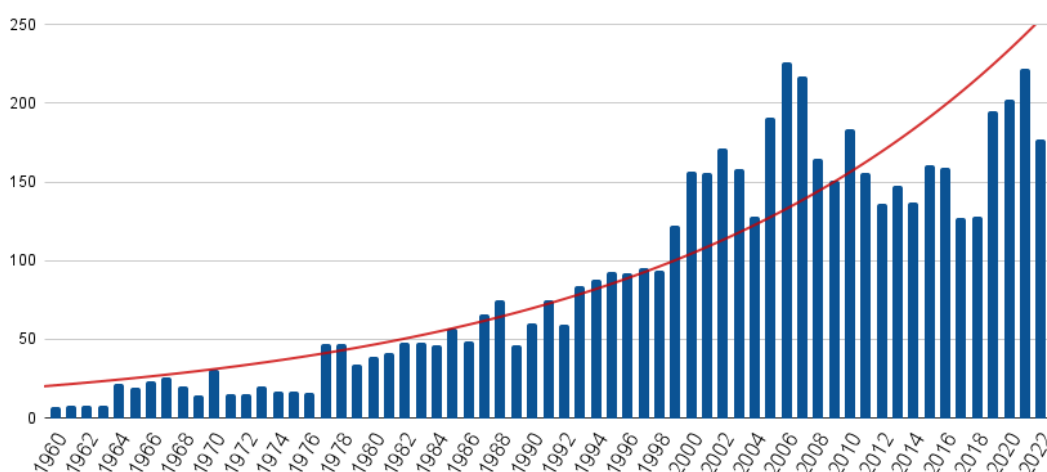


Figura 25

Número de inundaciones a gran escala en el mundo de 1960 a 2022.

Fuente de datos: Base de datos internacional sobre catástrofes (EM-DAT)

Además, el número de territorios que sufren inundaciones ha aumentado considerablemente (Figura 26). Mientras que en la década de 1970 aproximadamente 20 países se veían afectados anualmente por inundaciones, la situación ha cambiado drásticamente desde la década de 2000, con más de 80 países que se enfrentan cada año a los efectos de las inundaciones, lo que supone un aumento de cuatro veces.

Número total de países afectados por inundaciones

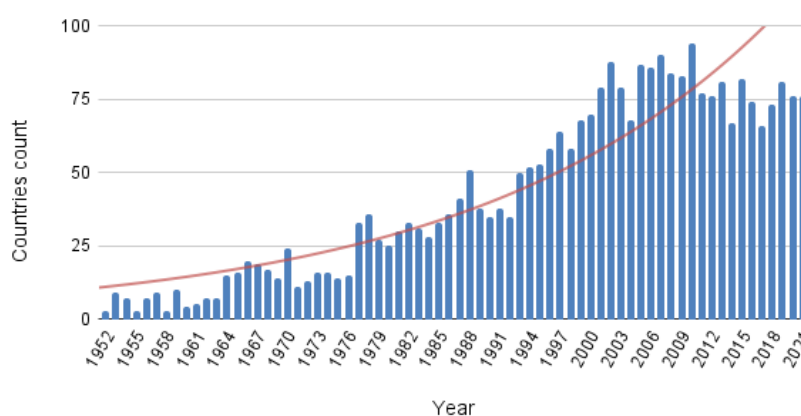


Figura 26

Número de países afectados por inundaciones desde 1970.

Fuente de datos: Base de datos internacional sobre catástrofes (EM-DAT)

La frecuencia de las precipitaciones anómalas y de los aguaceros que baten récords también está aumentando en todo el mundo. Según la Base de datos de fenómenos meteorológicos severos en Europa (ESWD), hubo 661 casos de precipitaciones anómalas

en Europa entre 2000 y 2004, pero 29.031 entre 2019 y 2023 (Figura 27). Esto significa que las precipitaciones anómalas se han vuelto 44 veces más frecuentes. Una precipitación anómala es un fenómeno que supera la norma en intensidad, duración o frecuencia.

Precipitaciones anómalas en Europa

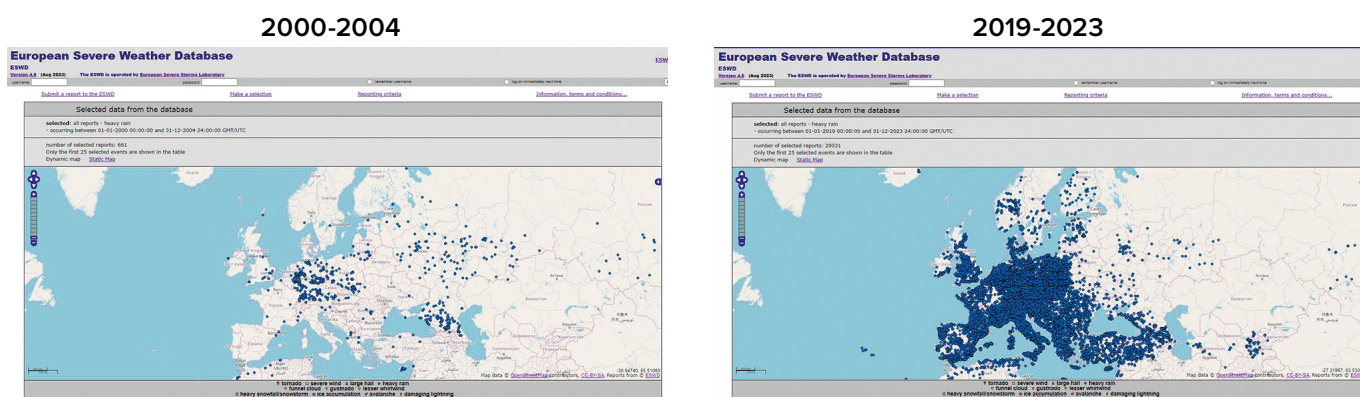


Figura 27

Precipitaciones anómalas en Europa: a) 2000-2004, b) 2019-2023.

Fuente de datos: Base de datos de fenómenos meteorológicos severos en Europa (ESWD)

El mapa muestra la distribución de precipitaciones anómalas en Europa durante dos períodos de cinco años: 2000-2004 y 2019-2023. En el mapa de Europa, los puntos azules marcan los lugares donde se han producido estos fenómenos. Cuantos más puntos haya en una región, más precipitaciones anómalas se han producido en ella.

El número de sequías también está creciendo a niveles récord. Según la ONU⁷, el número de sequías a nivel mundial ha aumentado un 29% en los últimos 20 años. El informe de la ONU señala que en 2022 y 2023, 1.840 millones de personas en todo el mundo, o casi una cuarta parte de la población mundial, vivían en condiciones de sequía. Una cifra récord de 258 millones de personas se enfrentan ya al “hambre severa” debido a la sequía, y algunas están al borde de la inanición.

En 2023, muchos países sufrieron sequías catastróficas que causaron enormes pérdidas económicas.

⁷Datos de la ONU <https://www.un.org/es/observances/desertification-day>

Aumento del número de incendios forestales

Últimamente, la extinción de los incendios naturales es cada vez más difícil, incluso con los equipos de extinción modernos. Según el científico Petr Vladimirovich Lushvin⁸, estos incendios se producen en las zonas de fallas de la corteza terrestre, donde el hidrógeno, el metano y otros gases inflamables escapan de las

profundidades (véase las figuras 28-29). Como resultado, estos incendios son extremadamente difíciles de extinguir. Asentamientos y ciudades enteras quedan envueltas en llamas. Los incendios estallan incluso en las regiones septentrionales, bajo la nieve.

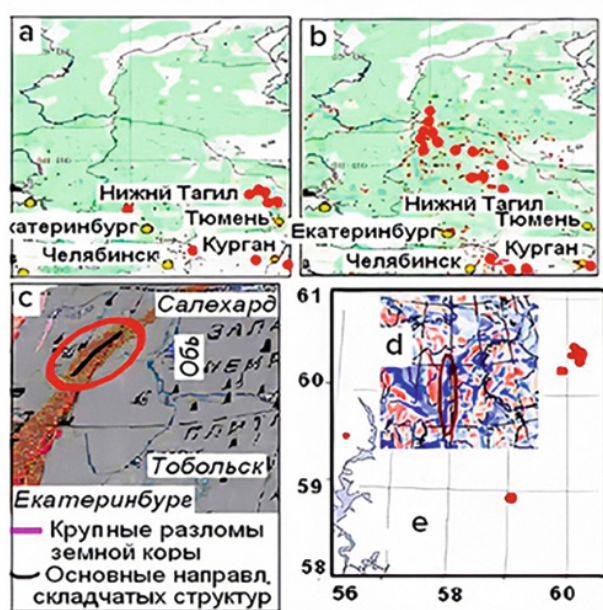


Figura 28

Coincidencia de las ubicaciones de los incendios forestales, terremotos, fallas de la corteza terrestre y anomalías magnéticas en la región de los Urales.

- (a) - Incendios forestales en el verano de 2009;
- (b) - Incendios forestales en el verano de 2010;
- (c) - Grandes fallas de la corteza terrestre y las direcciones principales de las estructuras de pliegues;
- (d) - Epicentros de terremotos de 1995 a 2013;
- (e) - Anomalías del campo magnético (los tonos azules indican desviaciones positivas y los rojos negativas).

Fuente: <https://regnum.ru/article/2395754>

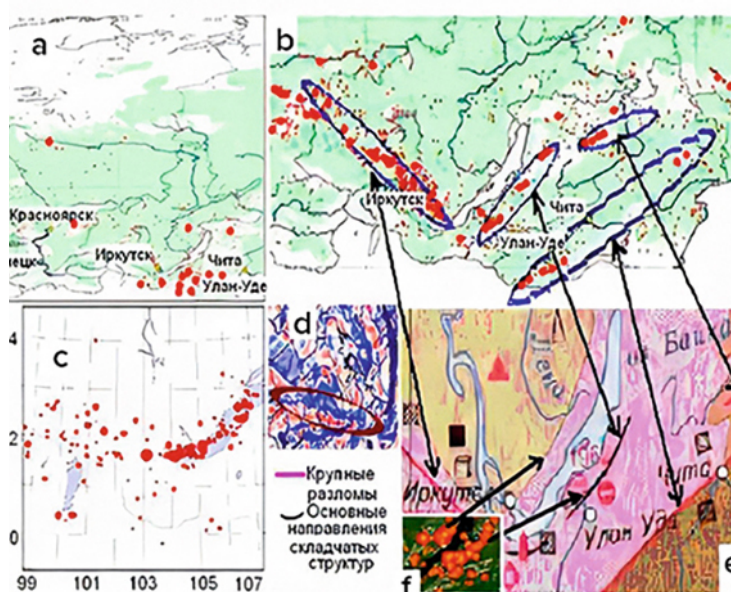


Figura 29

Coincidencia de las ubicaciones de los incendios forestales, terremotos, fallas de la corteza terrestre y anomalías magnéticas en el sur de Siberia.

- (a) - Incendios forestales en el verano de 2009;
- (b) - Incendios forestales en el verano de 2010;
- (c) - Epicentros de terremotos de 1991 a 2017;
- (d) - Anomalías del campo magnético (los tonos azules indican desviaciones positivas y los rojos negativas);
- (e) - Grandes fallas y las direcciones principales de las estructuras de pliegues;
- (f) - Incendios forestales en la región del Baikal, las flechas indican la localización de los incendios cerca de las fallas de la corteza terrestre.

Fuente: <https://regnum.ru/article/2395754>

⁸Lushvin, P. (2018). Prirodnye ravninnye pozhary i kak ih minimizirovat' [Incendios naturales en llanuras y cómo minimizarlos]. Presentación en la 26ª reunión del Seminario-Conferencia Interdisciplinario de toda Rusia de las Facultades de Geología y Geografía de la Universidad Estatal de Moscú "Sistema Planeta Tierra", 30 de enero - 2 de febrero de 2018.

Lushvin, P. y Buyanova, M. (2021). Development of Ice Cover in Water Areas during Methane [Desarrollo de la cubierta de hielo en zonas acuáticas durante el metano]. International Journal of Geosciences, 12(9), 927-940.

<https://doi.org/10.4236/ijg.2021.129047>

Lushvin, P. y Buyanova, M. (2021). History of Observations of Seismogenic Phenomena in the Atmosphere and Formalization of Their Decryption [Historia de las observaciones de fenómenos sísmicos en la atmósfera y formalización de su descifrado]. International Journal of Atmospheric and Oceanic Sciences, 5(1), 13-19.

<https://doi.org/10.11648/j.ijaos.2021050113>

La superficie afectada por incendios forestales extremos ha aumentado considerablemente en distintos países. En los últimos 3 años, se ha producido un crecimiento sin precedentes de las zonas afectadas por incendios forestales en Canadá, Australia, España, Estados Unidos y Europa (véase las figuras 30-34).

Annual Area Burned in Canada

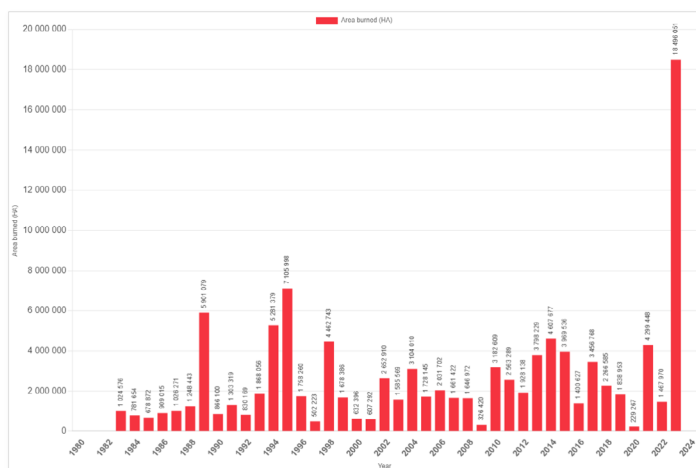
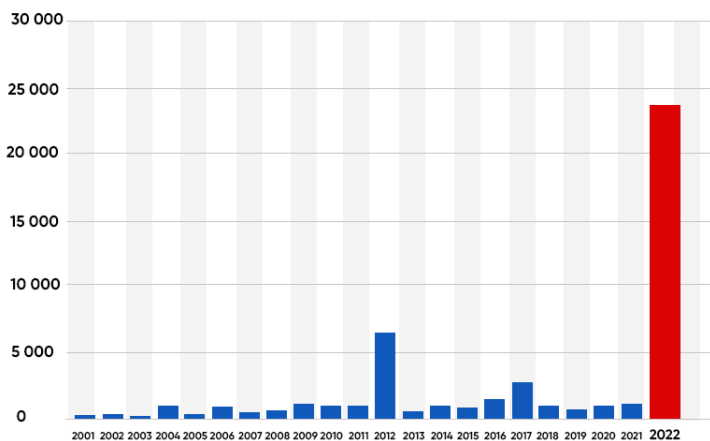


Figura 30

Superficie anual quemada en Canadá.

Fuente: Centro Interagencias de Incendios Forestales de Canadá (CIFFC)



Global Forest Watch

Figura 31

Pérdida de cubierta forestal por incendios forestales en España de 2001 a 2022.

Fuente: Global Forest Watch

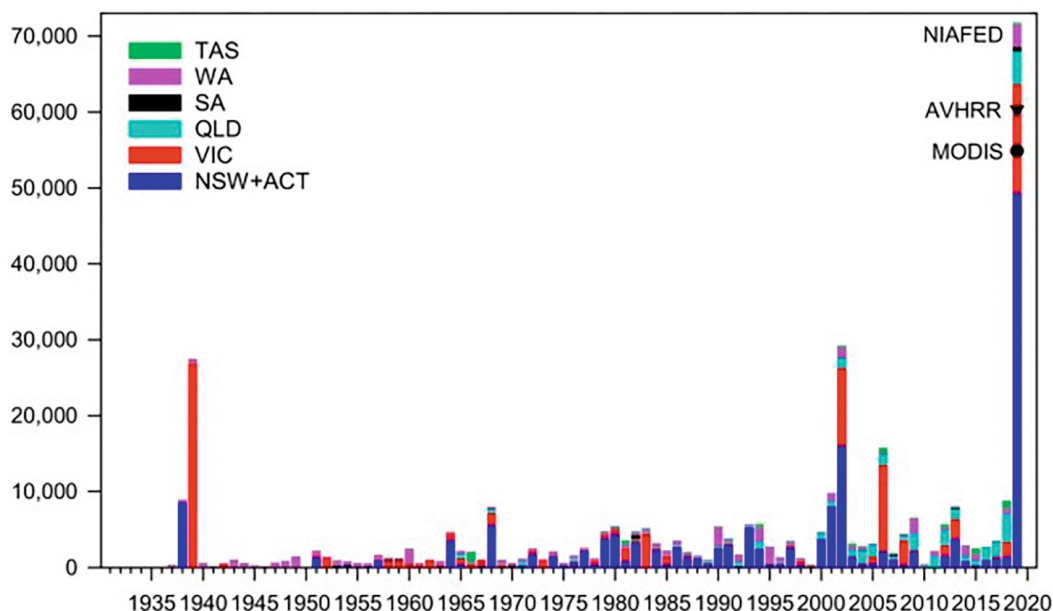
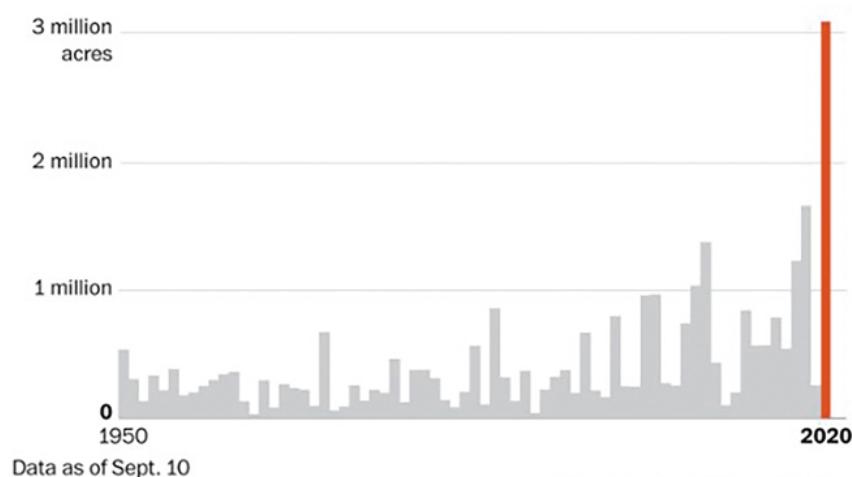


Figura 32

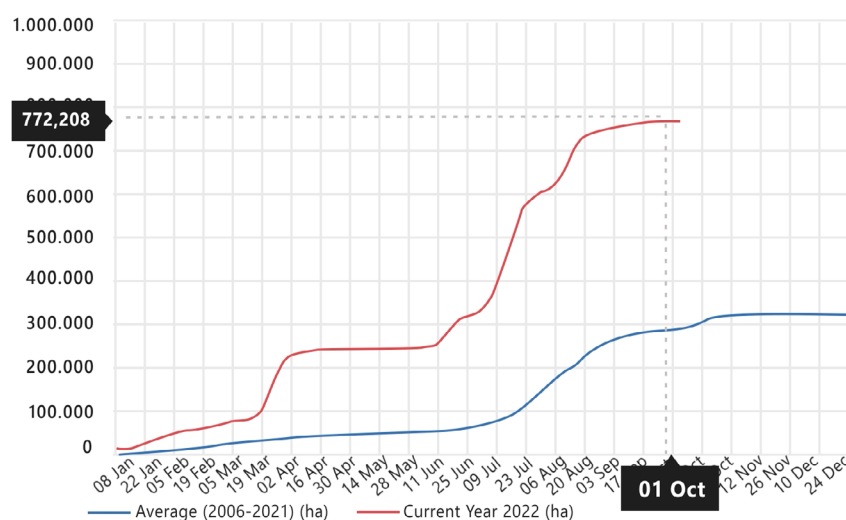
Área de ecosistemas forestales quemados debido a incendios forestales en Nueva Gales del Sur y el Territorio de la Capital Australiana (azul oscuro), Victoria (rojo), Queensland (azul claro), Australia Meridional (negro), Australia Occidental (púrpura) y Tasmania (verde) para los años propensos a incendios desde 1930 hasta 2019.

Fuente: Canadell, J., Meyer, C., Cook, G., Dowdy, A., Briggs, P., Knauer, J., Pepler, A. & Haverd, V. (2021). Multi-decadal increase of forest burned area in Australia is linked to climate change [El aumento multidecadal de la superficie forestal quemada en Australia está relacionado con el cambio climático]. Nature Communications, 12, 6921 (2021). DOI: [10.1038/s41467-021-27225-4](https://doi.org/10.1038/s41467-021-27225-4).

**Figura 33**

Total de acres quemados por incendios en California. En 2020, el estado batió un récord con más de 3,1 millones de acres quemados. Fuente: Departamento de Silvicultura y Protección contra Incendios de California (CAL FIRE)

Superficie acumulada quemada en Europa por incendios forestales en 2022 (rojo) y media anual quemada entre 2006-2021 (azul). Fuente: Sistema Europeo de Información sobre Incendios Forestales

Figura 34

Otro factor importante que contribuye a la propagación de los incendios son las sequías provocadas por el escape de agua a lo largo de grietas y fallas, que se producen en todas partes debido a la deformación de la corteza terrestre provocada por el aumento de la actividad sísmica, así como por el cambio de los diámetros ecuatorial y polar del planeta. Según las observaciones por satélite y los modelos climáticos e hidrológicos, en las últimas tres décadas, el volumen de agua ha

disminuido en más del 50% de los grandes lagos naturales y embalses⁹. Este fenómeno resulta especialmente paradójico dado el desastroso aumento del número de graves inundaciones, a menos que se tengan en cuenta los cambios hidrodinámicos en las partes superiores de la corteza terrestre provocados por las actividades tectónicas.

⁹ Yao, F., Livneh, B., Rajagopalan, B., Wang, J., Jean-François Crétau, Wada, Y. y Berge-Nguyen, M. (2023). Satellites reveal widespread decline in global lake water storage [Los satélites revelan una disminución generalizada del almacenamiento de agua en los lagos del mundo]. Science, 380(6646), 743-749. <https://doi.org/10.1126/science.abo2812>

Calentamiento del Océano Mundial

El calentamiento de los océanos provoca un aumento de la frecuencia y la escala de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como inundaciones récord, tifones y precipitaciones anormales.

En 2020, el calentamiento de los océanos ha aumentado un 450% durante los últimos 30 años (véase la figura 35). Las investigaciones muestran que, si bien los océanos se calentaron de forma constante entre 1955 y 1986, en las últimas décadas el calentamiento se ha acelerado rápidamente.

Según las estimaciones de los científicos, para alcanzar el ritmo actual de calentamiento de los océanos se necesitaría tanta energía como la que se liberaría si se lanzaran 7 bombas atómicas, como las lanzadas sobre Hiroshima, cada segundo durante un año. Este hecho plantea la siguiente pregunta racional: “¿Cuál es la fuente de una cantidad tan importante de energía?”

Cambios en el contenido de calor de los 2.000 metros superiores del Océano Mundial

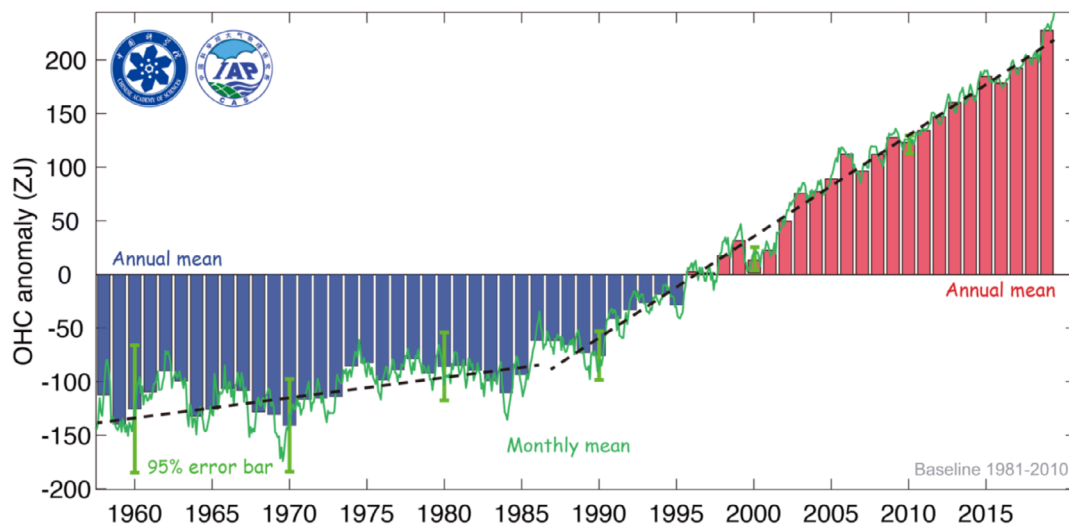


Figura 35

Cambios en el contenido de calor en los 2.000 metros superiores del Océano Mundial.

Fuente: Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y. y Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019 [El calentamiento récord de los océanos continuó en 2019]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37(2), 137–142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

El calentamiento anómalo de los océanos se debe tanto al factor antropogénico como al impacto del magma, cuyo ascenso se ha intensificado desde 1995. La corteza oceánica, más delgada que la continental, permite que el magma caliente más eficazmente el fondo oceánico, con el consiguiente calentamiento del propio océano.

Hay varios indicios de que el océano se está calentando en las profundidades. Un grupo de

investigadores de Estados Unidos descubrió que, en los últimos 60 años, las profundidades medias de los océanos se han calentado 15 veces más rápido que en los 10.000 años anteriores¹⁰. Y esta progresión se acelera cada año. Se necesita una enorme cantidad de energía para elevar las temperaturas a tales profundidades, donde la luz solar no penetra.

¹⁰ Rosenthal, Y., Linsley, B. K. y Oppo, D. W. (2013). Pacific Ocean Heat Content During the Past 10,000 Years [Contenido térmico del océano Pacífico durante los últimos 10.000 años]. *Science*, 342(6158), 617–621. <https://doi.org/10.1126/science.1240837>
 Oppo, D. (2013, 31 de Octubre). Is Global Heating Hiding Out in the Oceans? [¿Se esconde el calentamiento global en los océanos?] <https://www.earth.columbia.edu/articles/view/3130>

Uno de los factores que contribuyen al calentamiento de las aguas oceánicas es la liberación de metano. En el fondo de los mares del Océano Ártico se encuentran enormes reservas de metano en forma de hidratos de gas (clatratos). Bajo la influencia del calentamiento geotérmico, estas acumulaciones se funden, liberando metano en forma gaseosa. Tales liberaciones de metano se producen en ráfagas y se denominan penachos de metano o mega ráfagas. En abril de 2014, los satélites de la NOAA detectaron en la atmósfera una ráfaga anómala de metano en la región ártica¹¹. Según la estructura geológica de los fondos marinos, las zonas con elevadas concentraciones de metano coinciden con las fallas de las dorsales mediooceánicas del Ártico. Los terremotos indican la actividad de las fallas, los desplazamientos de las cámaras magmáticas y la liberación de flujos de calor.

Los datos que muestran un aumento de la temperatura en las capas profundas del océano indican que éste se está calentando tanto desde arriba como desde abajo. Se observan tendencias de calentamiento significativas en dos zonas profundas de la Cuenca Argentina¹² a profundidades superiores a 4.500 metros: $0,02^{\circ}\text{C} \pm 0,01^{\circ}\text{C}$ por década entre 2009 y 2019.

Un aumento de la temperatura de $0,02^{\circ}\text{C} \pm 0,01^{\circ}\text{C}$ representa una cantidad colosal de energía necesaria para calentar semejante volumen de agua fría en el fondo del océano.

En 2023 se batió un récord histórico de temperaturas de la superficie oceánica (Figura 36). El año 2024 ya ha superado todos los récords establecidos en 2023, y parece que la tendencia de los cambios posteriores puede superar los intervalos presentados en el gráfico.

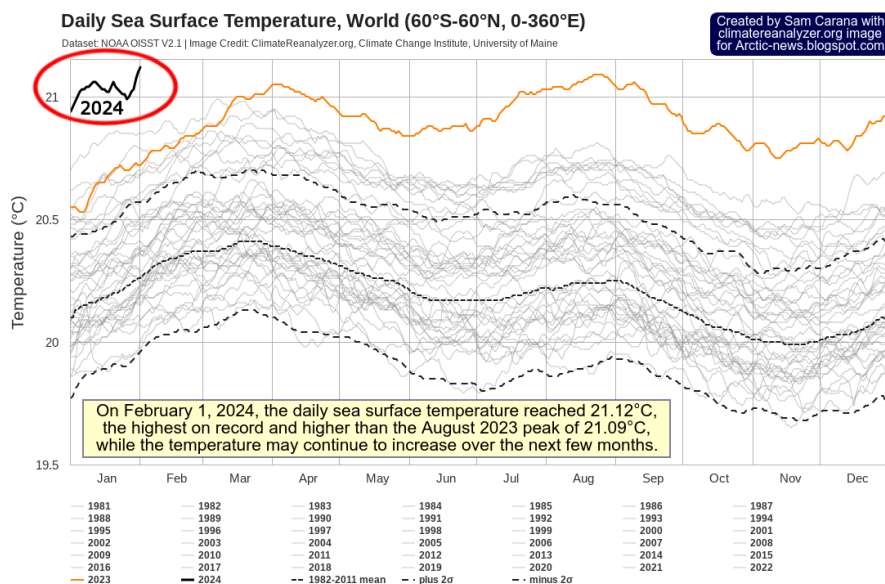


Figura 36

Temperaturas oceánicas más altas jamás registradas. Temperatura media diaria de la superficie del mar, 1981-2024.

Fuente de datos: Dataset NOAA OISST V2.1 | Crédito de la imagen: [ClimateReanalyzer.org](https://climateranalyzer.org), Climate Change Institute, University of Maine, Dataset. NOAA OISST

¹¹Yurganov, L. N., Leifer, I. y Sunil Vadakkepuliambatta. (2017). Priznaki uskoreniiya vozrastaniya koncentracii metana v atmosfere posle 2014 goda: sputnikovye dannye dlya Arktiki [Evidencias de la aceleración del aumento de la concentración de metano en la atmósfera después de 2014: datos de satélite para el Ártico]. Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa, 14(5), 248–258. https://www.researchgate.net/publication/317587506_Evidences_of_accelerating_the_increase_in_the_concentration_of_methane_in_the_atmosphere_after_2014_satellite_data_for_the_Arctic

¹² Meinen, C. S., Perez, R. C., Dong, S., Piola, A. R. y Campos, E. (2020). Observed Ocean Bottom Temperature Variability at Four Sites in the Northwestern Argentine Basin: Evidence of Decadal Deep/Abyssal Warming Amidst Hourly to Interannual Variability During 2009–2019 [Variabilidad observada de la temperatura del fondo oceánico en cuatro sitios de la Cuenca del Noroeste Argentino: Evidencia de calentamiento decadal profundo/abisal en medio de variabilidad horaria a interanual durante 2009-2019]. Geophysical Research Letters, 47(18). <https://doi.org/10.1029/2020gl089093>

Otra prueba del calentamiento del Océano Mundial es la aparición de olas de calor marinas, que son zonas localizadas y duraderas de agua oceánica caliente. Un ejemplo concreto son las manchas (blobs), que cubren enormes extensiones de agua superficial y presentan temperaturas inusualmente altas. Desde 1995, el número de manchas ha aumentado significativamente¹³ y se han hecho más frecuentes en distintas partes del Océano Mundial, incluidas las situadas frente a las costas de Nueva Zelanda, el suroeste de África y el sur del océano Índico.

Una de las manchas más conocidas y de mayor tamaño se formó en el Golfo de Alaska en 2013 y se extendió rápidamente por el Pacífico. Cubrió un área de más de 4.000.000 de kilómetros

cuadrados (mayor que el tamaño de la India) y las temperaturas del agua fueron de 5-6 grados centígrados por encima de la media en algunos lugares (Figura 37). La mancha se desplazó por el océano desde Alaska hasta México durante tres años, hasta 2016 (Figura 38). Este fenómeno afectó negativamente al ecosistema marino y al clima de la región.

Según una posible teoría, lo más probable es que el origen de esta mancha se debiera al vulcanismo activo frente a la costa de Alaska y a la pluma magmática Cobb¹⁴, que calentó el agua del fondo del océano y obligó a este enorme volumen de agua calentada a subir a la superficie.

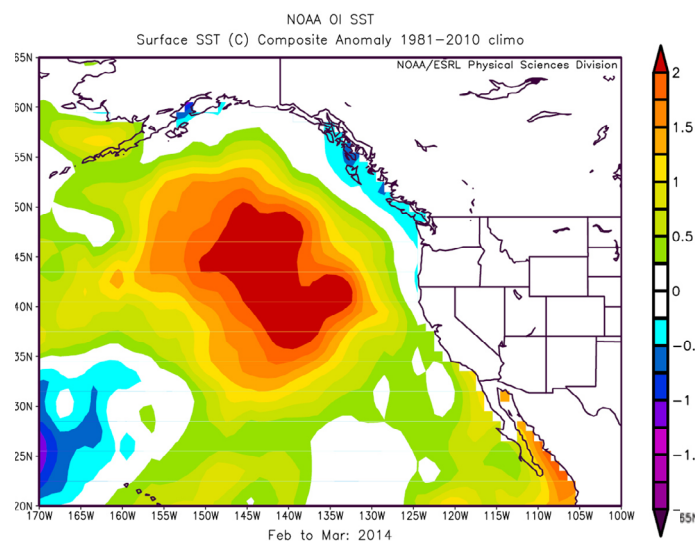
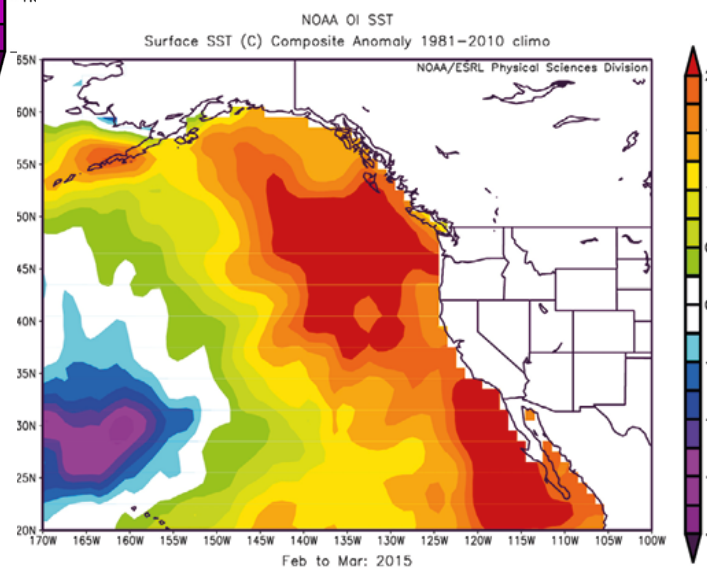


Figura 37

Mapa que muestra la posición de la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM), también conocida como The Blob, en el noreste del Océano Pacífico en marzo de 2014. (Imagen facilitada por la [División de Ciencias Físicas de la NOAA/ESRL en Boulder, Colorado](#))

Figura 38

Mapa que muestra cómo la anomalía de la temperatura superficial del mar (TSM) se había desplazado y extendido a lo largo de la costa oeste en marzo de 2015. (Imagen facilitada por la [División de Ciencias Físicas de la NOAA/ESRL en Boulder, Colorado](#)).



¹³ Laufkötter, C., Zscheischler, J., & Frölicher, T. L. (2020). Science, 369(6511), 1621-1625. <https://doi.org/10.1126/science.aba0690>

¹⁴ Chadwick, J., Keller, R., Kamenov, G., Yagodinski, G. y Lupton, J. (2014). The Cobb hot spot: HIMU-DMM mixing and melting controlled by a progressively thinning lithospheric lid [Punto caliente de Cobb: Mezcla y fusión HIMU-DMM controladas por una tapa litosférica que se adelgaza progresivamente]. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 15(8), 3107-3122. <https://doi.org/10.1002/2014gc005334>

En diciembre de 2019, apareció una mancha al este de Nueva Zelanda, en el Pacífico Sur, con temperaturas de 6 °C por encima de la media en determinados días. La mancha cubría un área de más de un millón de kilómetros cuadrados, que es casi 1,5 veces el tamaño de Texas, o cuatro veces más grande que Nueva Zelanda (Figura 39). Según los informes, era la mancha más grande del Océano Mundial en ese momento. También fue el segundo mayor evento jamás registrado en la región. James Renwick, director del Departamento de Geografía, Medio Ambiente y Ciencias de la

Tierra de la Universidad Victoria de Wellington, declaró: “Es la mayor zona de calentamiento por encima de la media del planeta en estos momentos. Normalmente las temperaturas allí son de unos 15 °C, pero en este momento son de unos 20 °C”¹⁵.

La causa de la formación de esta mancha fue probablemente la actividad de una antigua meseta volcánica frente a las costas de Nueva Zelanda¹⁶.

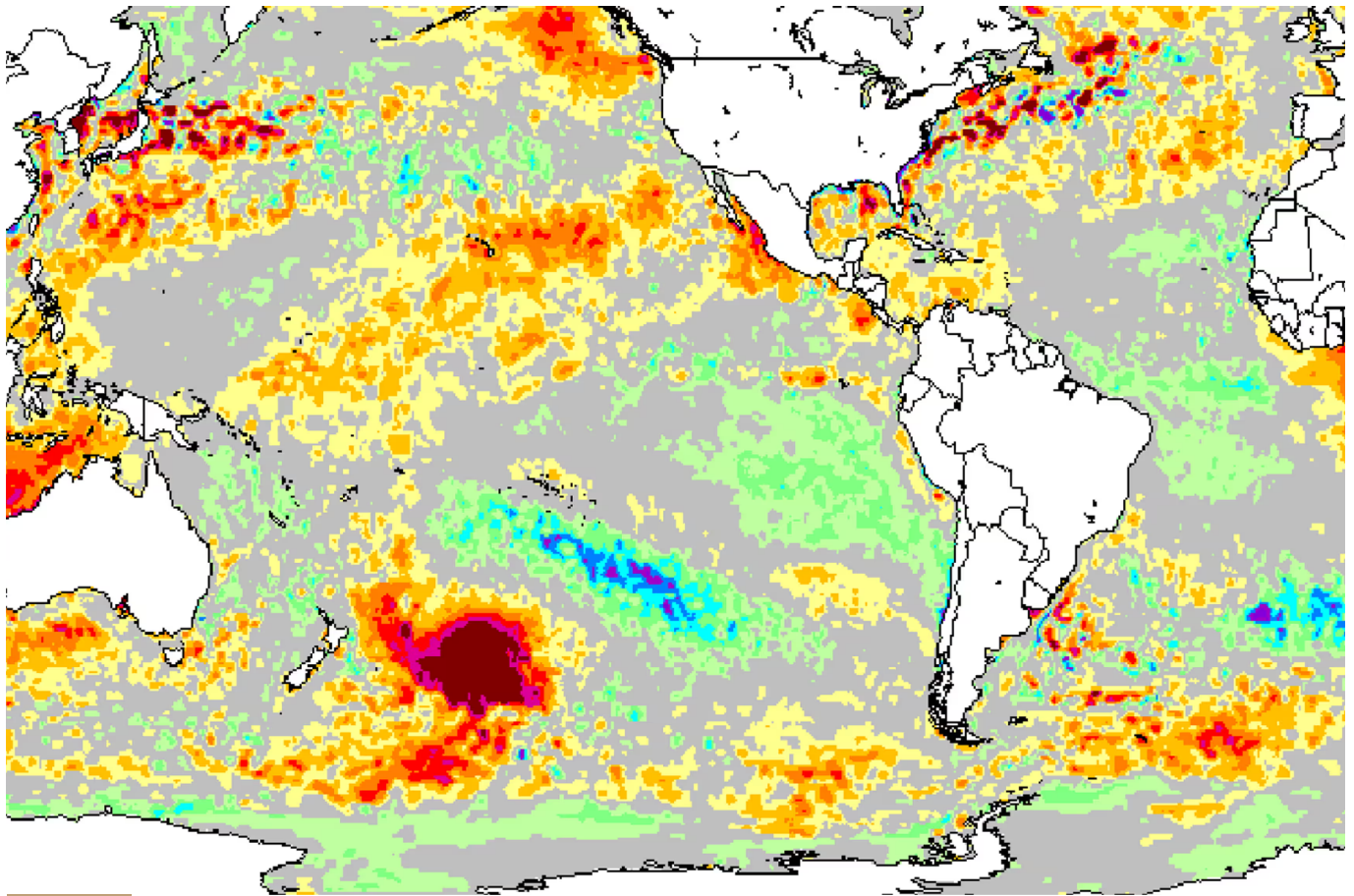


Figura 39

Anomalía de la temperatura superficial del mar en el Pacífico Sur el 25 de diciembre de 2019.

Fuente: Morton, A. (2019, 27 de diciembre). Hot blob: vast patch of warm water off New Zealand coast puzzles scientists [Mancha caliente: una vasta mancha de agua caliente frente a las costas de Nueva Zelanda desconcierta a los científicos]. The Guardian. <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/hot-blob-vast-and-unusual-patch-of-warm-water-off-new-zealand-coast-puzzles-scientists>

¹⁵ Morton, A. (2019, 27 de diciembre). Hot blob: vast patch of warm water off New Zealand coast puzzles scientists [Mancha caliente: una vasta mancha de agua caliente frente a las costas de Nueva Zelanda desconcierta a los científicos]. The Guardian. <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/hot-blob-vast-and-unusual-patch-of-warm-water-off-new-zealand-coast-puzzles-scientists>

¹⁶ Gase, A., Bangs, N. L., Saffer, D. M., Han, S., Miller, P., Bell, R., Arai, R., Henrys, S. A., Shiraishi, K., Davy, R., Frahm, L. y Barker, D. (2023). Subducting volcanoclastic-rich upper crust supplies fluids for shallow megathrust and slow slip [La corteza superior subductora, rica en volcánoclastos, suministra fluidos para la megafalla superficial y el deslizamiento lento]. Science Advances, 9(33). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh0150>

La teoría de que la aparición de olas de calor marinas y manchas oceánicas se debe al calentamiento de las aguas profundas del fondo oceánico concuerda con una nueva investigación realizada por científicos de la Universidad Oceánica de China¹⁷. Han demostrado que un tercio de las olas de calor marinas no se manifiestan de ninguna manera en la superficie del océano, y cerca de la mitad no se manifiestan en todas las etapas de su ciclo vital. El número anual de estas olas de calor marinas subsuperficiales ha aumentado considerablemente debido al calentamiento de los océanos en las tres últimas décadas. El hecho de que una fracción significativa de las olas de calor marinas no se observe en absoluto en la superficie del océano indica probablemente que no pueden estar causadas por el calor de la atmósfera.

Por lo tanto, además del factor antropogénico, la causa de la formación de olas de calor marinas, incluidas las manchas, es la actividad volcánica submarina y el ascenso del magma desde el interior de la Tierra hasta la corteza oceánica, que comenzó en 1995. Esto provoca el calentamiento de las capas de agua profundas que ascienden verticalmente desde el fondo oceánico hasta la superficie, formando zonas del océano anómalamente calientes. Las manchas en el océano provocan cambios en la presión atmosférica, anomalías en vientos y corrientes, calentamiento general del océano y destrucción de ecosistemas. A medida

que aumente la actividad magmática, aumentará el número y la magnitud de tales olas de calor marinas.

Uno de los efectos significativos de las olas de calor marinas son los cambios en los parámetros de las corrientes oceánicas, por ejemplo, la ralentización de la Corriente del Golfo de mayo a agosto de 2010. Esto sucedió tras la erupción masiva del volcán Eyjafjallajökull en Islandia en marzo de 2010. Según el geólogo James Kamis, el ascenso del magma, que provocó la erupción volcánica, probablemente calentó el agua del fondo oceánico¹⁸. Como resultado, según las observaciones, en mayo de 2010, un enorme volumen de agua caliente salió a la superficie por encima de la zona tectónica bajo Groenlandia, lo que se cree que bloqueó la trayectoria de la Corriente del Golfo durante algún tiempo (Figura 40). Esto provocó un cambio temporal de los patrones meteorológicos en Europa y Norteamérica. Un debilitamiento más considerable o la interrupción de la Corriente del Golfo podrían provocar cambios importantes en el clima, los ecosistemas y las economías de Europa y Norteamérica.

En la actualidad, debido al factor antropogénico y al aumento de la actividad magmática que contribuye al calentamiento de las capas profundas del océano, la Corriente del Golfo corre peligro de debilitarse, detenerse o desaparecer por completo.

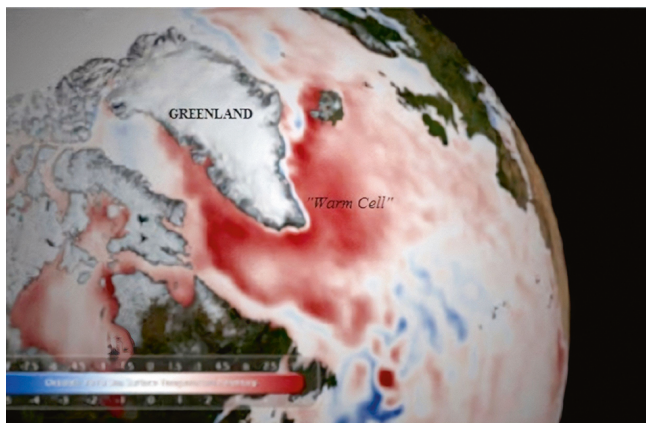


Figura 40

Mapa de las temperaturas de la superficie del océano en mayo de 2010, que ilustra la ola de calor marina de 2009-2010 en el Océano Atlántico Norte (resaltada en rojo).

Fuente: Kamis, J. E. (s.f.). Geologically Induced Northern Atlantic Ocean "Warm Blob" Melting Southern Greenland Ice Sheet [La mancha cálida del Océano Atlántico Norte, inducida geológicamente, derrite la capa de hielo del sur de Groenlandia]. Plate Climatology. <https://www.plateclimatology.com/geologically-induced-northern-atlantic-ocean-warm-blob-melting-southern-greenland-ice-sheet?rq=Alaska>

¹⁷ Sun, D., Li, F., Jing, Z., Hu, S. y Zhang, B. (2023). Frequent marine heatwaves hidden below the surface of the global ocean [Frecuentes olas de calor marinas ocultas bajo la superficie del océano mundial]. Nature Geoscience, 16(12), 1099–1104. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01325-w>

¹⁸ Kamis, J. E. (s.f.). Geologically Induced Northern Atlantic Ocean "Warm Blob" Melting Southern Greenland Ice Sheet [La mancha cálida del Océano Atlántico Norte, inducida geológicamente, derrite la capa de hielo del sur de Groenlandia]. Plate Climatology. <https://www.plateclimatology.com/geologically-induced-northern-atlantic-ocean-warm-blob-melting-southern-greenland-ice-sheet?rq=Alaska>

Deshielo glaciar anómalo en la Antártida y Groenlandia

En los últimos 29 años se ha acelerado la pérdida de hielo en las principales capas de hielo. El ritmo de pérdida de hielo en Groenlandia es ahora un 400% mayor, mientras que en la Antártida es un 25% mayor que a principios de la década de 1990¹⁹.

Consideremos el ejemplo de la Antártida. Los estudios demuestran que, desde 1992, la Antártida ha perdido casi tres billones de toneladas de hielo²⁰, lo que equivale a 1.200 millones de piscinas olímpicas. El glaciar Pine Island, considerado el punto más vulnerable de la Antártida, pierde cada año unos 45.000 millones de toneladas de hielo²¹. El segundo

glaciar más prominente de la Antártida es la plataforma de hielo gigante del glaciar Thwaites.

El 86% de todas las pérdidas de hielo en la Antártida se producen en la Antártida Occidental, donde se está produciendo un rápido retroceso y adelgazamiento de los glaciares Pine Island y Thwaites (Rignot et al. 2014; Shepherd et al. 2002) (Figuras 41-43).

El hecho sorprendente es que los glaciares se están derritiendo predominantemente solo en la parte occidental del continente.

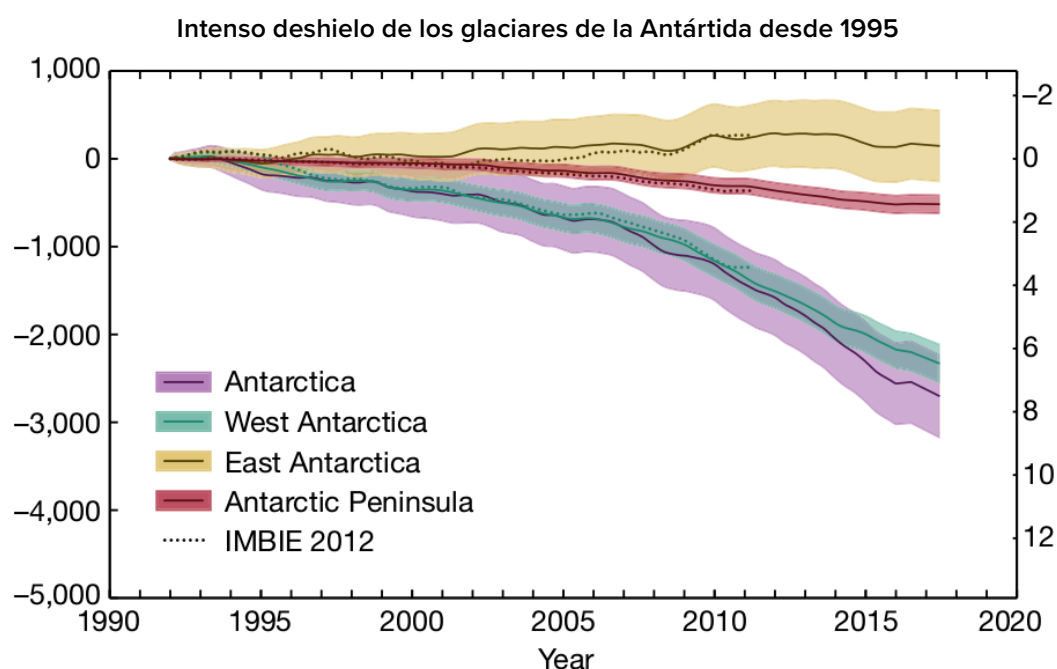


Figura 41

Cambios en la masa de hielo y el nivel del mar en la Antártida durante 1992-2017. La curva violeta es la tasa media de pérdida de hielo en la Antártida. La curva verde es la tasa de pérdida de hielo en la Antártida Occidental. La curva amarilla es la tendencia positiva, es decir, la ganancia de hielo en la Antártida Oriental.

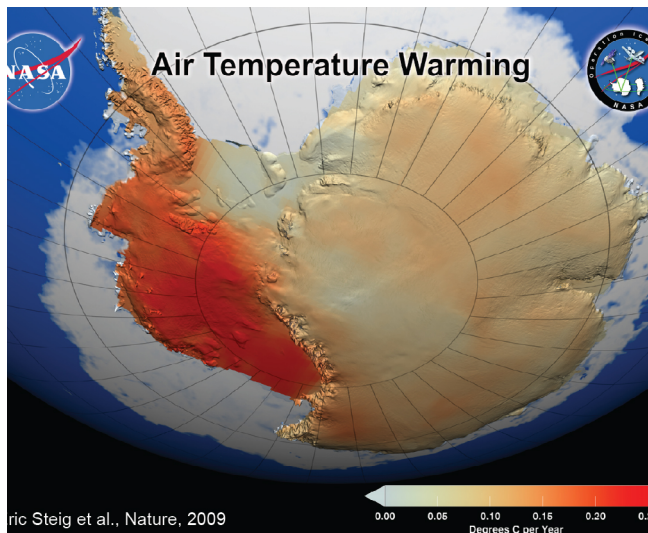
Fuente: The IMBIE Team. (2018). Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017 [Balance de masas de la capa de hielo antártica de 1992 a 2017]. *Nature*, 558, 219–222.

<https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>

¹⁹ Otsaka, I. N., Horwath, M., Mottram, R. y Nowicki, S. (2023). Mass Balances of the Antarctic and Greenland Ice Sheets Monitored from Space [Balances de masa de los casquetes glaciares de la Antártida y Groenlandia monitoreados desde el espacio]. *Surveys in Geophysics*, 44, 1615–1652. <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09795-8>

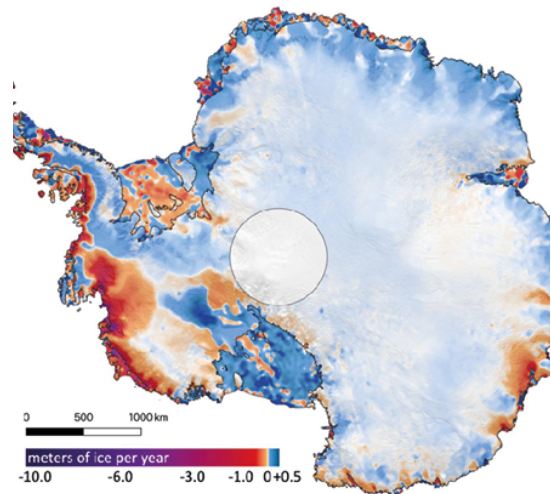
²⁰ The IMBIE Team. (2018). Mass balance of the Antarctic Ice Sheet from 1992 to 2017 [Balance de masas de la capa de hielo antártica de 1992 a 2017]. *Nature*, 558, 219–222. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0179-y>

²¹ Seroussi, H., Morlighem, M., Rignot, E., Mouginot, J., Larour, E., Schodlok, M. y Khazendar, A. (2014). Sensitivity of the Dynamics of Pine Island Glacier, West Antarctica, to climate forcing for the next 50 years [Sensibilidad de la dinámica del glaciar Pine Island, Antártida Occidental, al forzamiento climático para los próximos 50 años]. *The Cryosphere*, 8(5), 1699–1710. <https://doi.org/10.5194/tc-8-1699-2014>

**Figura 42**

El mapa de la NASA ilustra un calentamiento significativo de la superficie de la capa de hielo de la Antártida Occidental y de la Península Antártica. El calentamiento es considerablemente más intenso de lo que se había informado anteriormente, superando los 0,1 grados centígrados en una década, y el impacto más significativo se observa durante el invierno y la primavera. La imagen incorpora datos de temperatura recogidos durante un período de 50 años, de 1957 a 2006 (NASA/GSFC Scientific Visualization Studio 2008)

<https://earthobservatory.nasa.gov/images/36736/antarctic-warming-trends>

**Figura 43**

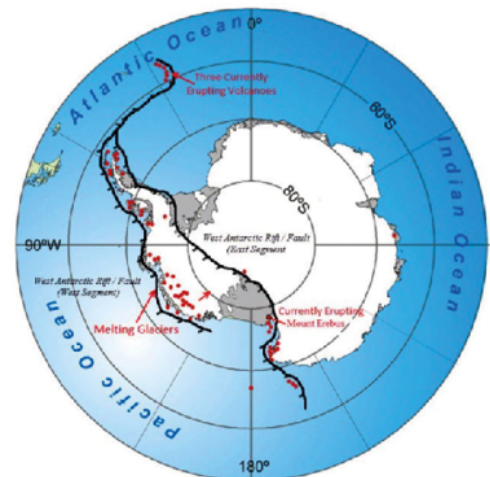
El mapa representa la cantidad de hielo acumulado o perdido por la Antártida desde 2003 hasta 2019. Los colores violeta y rojo oscuro indican tasas altas y moderadas de pérdida de hielo a lo largo de la costa antártica, respectivamente, mientras que los colores azules indican tasas de crecimiento del hielo tierra adentro.

Fuente: Smith, B., Fricker, H. A., Gardner, A. S., Medley, B., Nilsson, J., Paolo, F. S., Holschuh, N., Adusumilli, S., Brunt, K., Csatho, B., Harbeck, K., Markus, T., Neumann, T., Siegfried, M. R. y Zwally, H. J. (2020). Pervasive ice sheet mass loss reflects competing ocean and atmosphere processes [La pérdida generalizada de masa de la capa de hielo refleja la competencia entre los procesos oceánicos y atmosféricos]. *Science*, 368(6496), 1239–1242.

<https://doi.org/10.1126/science.aaz5845>

Es interesante señalar que la Antártida Occidental es una de las mayores regiones volcánicas de la Tierra, donde se han encontrado más de 140 volcanes bajo el hielo (Figura 44).

Basándose en las observaciones aeromagnéticas, científicos de Alemania y de la Prospección Antártica Británica han creado un mapa del flujo de calor geotérmico en la Antártida Occidental y han descubierto una zona de afluencia de grandes cantidades de calor geotérmico procedente del interior de la Tierra bajo el glaciar Thwaites^{22,23}. El flujo geotérmico bajo la Antártida Occidental corresponde con zonas de mayor y deshielo glaciar.

**Figura 44**

Mapa de los volcanes “activos” (actualmente en erupción) y “dormidos” (potencialmente activos) del continente antártico situados a lo largo del extenso Sistema de Fallas de la Antártida Occidental. Esta zona activa de fallas divide el continente y permite que el magma de las profundidades fluya por las fallas, alimentando así los volcanes.

<https://www.plateclimatology.com/west-antarctic-glacial-melting-from-deep-earth-geological-heat-flow-not-global-warming>

²² Damiani, T. M., Jordan, T. A., Ferraccioli, F., Young, D. A. y Blankenship, D. D. (2014). Variable crustal thickness beneath Thwaites Glacier revealed from airborne gravimetry, possible implications for geothermal heat flux in West Antarctica [Gravimetría aerotransportada revela el espesor variable de la corteza terrestre bajo el glaciar Thwaites, posibles implicaciones para el flujo de calor geotérmico en la Antártida Occidental]. *Earth and Planetary Science Letters*, 407, 109–122. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.09.023>

²³ Dziadek, R., Ferraccioli, F. y Gohl, K. (2021). High geothermal heat flow beneath Thwaites Glacier in West Antarctica inferred from aeromagnetic data [Alto flujo de calor geotérmico bajo el glaciar Thwaites en la Antártida Occidental inferido a partir de datos aeromagnéticos]. *Communications Earth & Environment*, 2(16). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00242-3>

Un equipo de científicos de la Universidad de Rhode Island y la Universidad de Anglia Oriental descubrió un nuevo factor en el rápido deshielo del glaciar Pine Island, en la Antártida: un volcán activo desconocido hasta ahora y enterrado en las profundidades del hielo²⁴. Los científicos descubrieron actividad volcánica bajo la capa de hielo, que muestra 25 veces más energía térmica que la de un volcán dormido.

Científicos de la NASA han identificado una enorme pluma de magma llamada Marie Byrd²⁵ bajo la Antártida Occidental, con una superficie de casi un millón de kilómetros cuadrados (Figura 45). Marie Byrd (Marie Byrd Land Volcanic Province) es una región de la Antártida

Occidental caracterizada por una gran actividad volcánica. El vulcanismo de Marie Byrd se atribuye a un punto caliente donde una pluma del manto (una corriente de magma caliente que surge de las profundidades del manto terrestre) alcanza la corteza terrestre y provoca actividad volcánica. Según los cálculos de los científicos, el calor de la pluma del manto está calentando las capas de roca y hielo situadas sobre ella con casi tanta energía como el supervolcán de Yellowstone, es decir, 150 mW por metro cuadrado y 180 mW por metro cuadrado en las zonas de las fallas. Esto supone unas tres veces más calor que en las capas de roca vecinas.

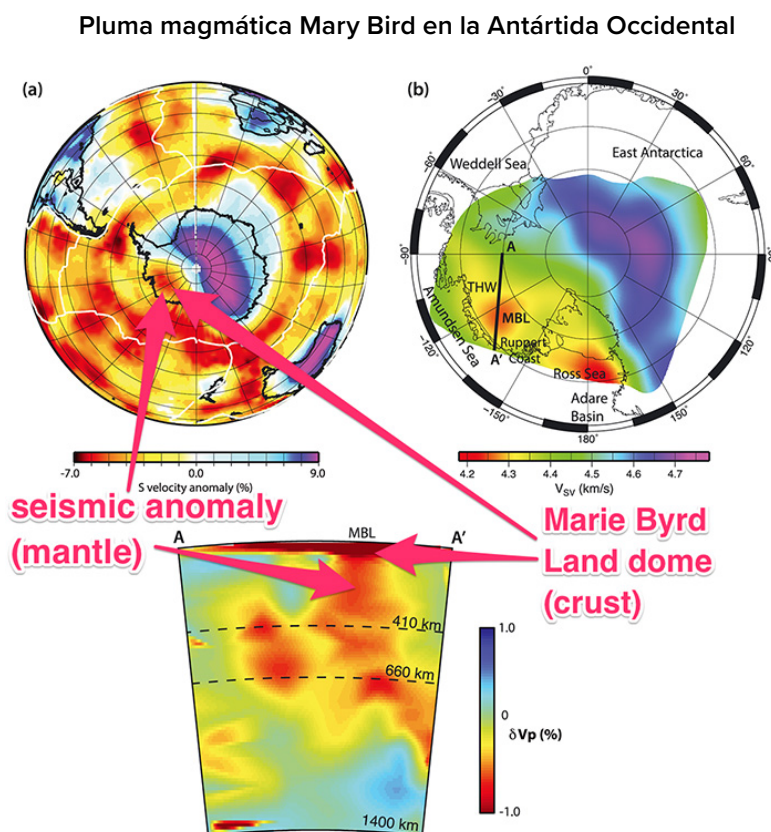


Figura 45

Presencia de una pluma del manto caliente bajo la región de Marie Byrd, Antártida Occidental, indicada por tomografía sísmica. (Helene Seroussi et al./JGR Solid Earth; Business Insider)

Fuente: Seroussi, H., Ivins, E. R., Wiens, D. A. y Bondzio, J. (2017). Influence of a West Antarctic mantle plume on ice sheet basal conditions [Influencia de una pluma del manto de la Antártida Occidental en las condiciones basales de la capa de hielo]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(9), 7127–7155. <https://doi.org/10.1002/2017jb014423>

²⁴ Loose, B., Naveira Garabato, A. C., Schlosser, P., Jenkins, W. J., Vaughan, D. y Heywood, K. J. (2018). Evidence of an active volcanic heat source beneath the Pine Island Glacier [Evidencia de una fuente de calor volcánico activo bajo el glaciar de Pine Island]. *Nature Communications*, 9(2431). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04421-3>

²⁵ Seroussi, H., Ivins, E. R., Wiens, D. A. y Bondzio, J. (2017). Influence of a West Antarctic mantle plume on ice sheet basal conditions [Influencia de una pluma del manto de la Antártida Occidental en las condiciones basales de la capa de hielo]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(9), 7127–7155. <https://doi.org/10.1002/2017jb014423>

Los científicos de la Universidad de Bremen, el Instituto Alemán de Investigación Polar y Marina y la Prospección Antártica Británica han demostrado que el deshielo de los grandes glaciares se produce en zonas con un elevado flujo de calor procedente del interior de la Tierra (Figura 46). Es evidente que, en comparación

con los estudios anteriores en 2019 (mapa de la izquierda), se produjeron cambios significativos en 2021 (mapa de la derecha), y el flujo de calor geotérmico ha aumentado. Esto indica un aumento del flujo de calor procedente de las plumas de magma del interior de la Tierra.

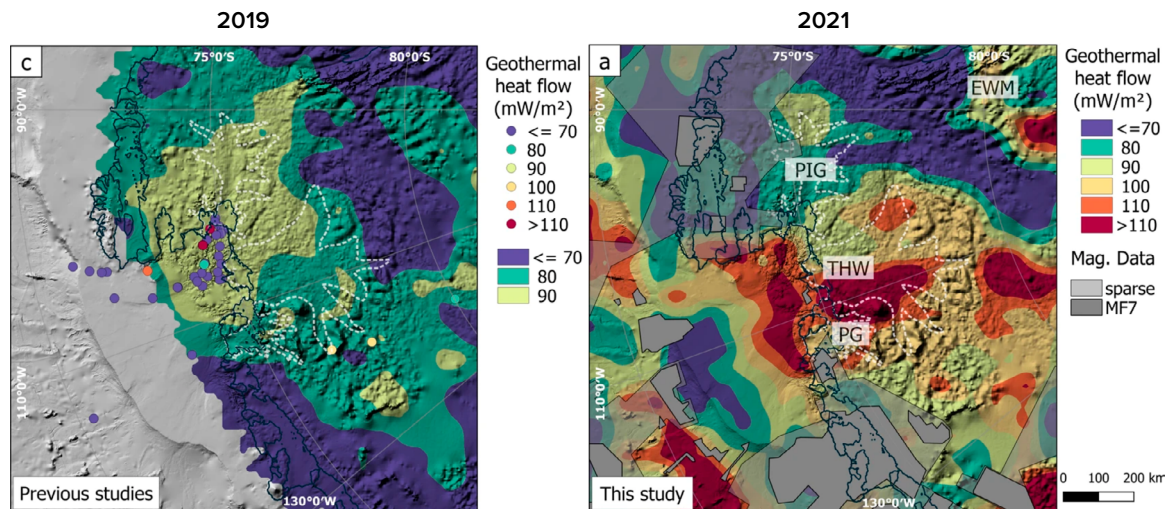


Figura 46

Distribución del flujo de calor geotérmico en 2019 (izquierda) y 2021 (derecha).

Fuente: Dziadek, R., Ferraccioli, F. y Gohl, K. (2021). High geothermal heat flow beneath Thwaites Glacier in West Antarctica inferred from aeromagnetic data [Alto flujo de calor geotérmico bajo el glaciar Thwaites en la Antártida Occidental inferido a partir de datos aeromagnéticos]. *Comunicaciones Earth & Environment*, 2(16). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00242-3>

Un nuevo estudio internacional ha revelado que el suelo se está elevando en algunas zonas de la Antártida Occidental a uno de los ritmos más rápidos jamás registrados. El ritmo de elevación de rocas en el mar de Amundsen, frente al glaciar de Pine Island, es de 41 milímetros al año, tres veces más rápido que en otras zonas²⁶. Incluso en lugares como Islandia y Alaska, donde se observa una rápida elevación, la tasa de elevación típica es de unos 20-30 milímetros al año. Los científicos han llegado a la conclusión de que el manto bajo la Antártida Occidental está más caliente y fluido de lo que se esperaba.

Por lo tanto, el intenso deshielo de la capa de hielo antártica se atribuye tanto al calentamiento del agua debido al factor antropogénico como al calor geotérmico procedente de la actividad volcánica y

magnética, que ha aumentado significativamente desde 1995 y sigue incrementándose.

Directamente frente a la costa de la Antártida Occidental, se produce un calentamiento anómalo de las aguas profundas del mar de Weddell²⁷. Mientras que los 700 metros superiores de agua muestran poco calentamiento, hay un aumento constante de la temperatura en las regiones más profundas. Por un lado, el mar de Weddell limita con la Falla Antártica Occidental y, por otro, es adyacente a una dorsal volcánica submarina con las islas Sandwich del Sur. Cabe señalar que la región de las islas Sandwich del Sur es una de las zonas con mayor actividad sísmica de la Tierra. Aquí, la actividad sísmica está aumentando rápidamente, lo que podría indicar un ascenso del magma.

²⁶ Barletta, V. R., Bevis, M., Smith, B. E., Wilson, T., Brown, A., Bordon, A., Willis, M., Khan, S. A., Rovira-Navarro, M., Dalziel, I., Smalley, R., Kendrick, E., Konfal, S., Caccamise, D. J., Aster, R. C., Nyblade, A. y Wiens, D. A. (2018). Observed rapid bedrock uplift in Amundsen Sea Embayment promotes ice-sheet stability [La rápida elevación del lecho rocoso observado en la ensenada del Mar de Amundsen favorece la estabilidad de la capa de hielo]. *Science*, 360(6395), 1335–1339. <https://doi.org/10.1126/science.aao1447>

²⁷ Strass, V. H., Rohardt, G., Kanzow, T., Hoppema, M. y Boebel, O. (2020). Multidecadal warming and density loss in the Deep Weddell Sea, Antarctica [Calentamiento multidecenal y pérdida de densidad en las profundidades del mar de Weddell, Antártida]. *Journal of Climate*, 33(22), 9863–9881. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0271.1>

Examinemos el deshielo de la capa de hielo de Groenlandia. Actualmente, el hielo de Groenlandia se está derritiendo más rápido que en ningún otro momento de los últimos 12.000 años²⁸. La Figura 47 muestra un gráfico que representa un aumento exponencial de la pérdida de hielo de Groenlandia desde 1992 hasta 2018. La pérdida de hielo de Groenlandia comenzó en la década de 1990, pero el período

comprendido entre 2006 y 2012 representó casi la mitad de la pérdida total. A pesar de las condiciones atmosféricas más frías en la región de Groenlandia, la tasa de pérdida de hielo se mantuvo alta después de este período. Solo en julio de 2019, la capa de hielo de Groenlandia perdió 197.000 millones de toneladas de hielo, lo que equivale aproximadamente a unos 80 millones de piscinas olímpicas.

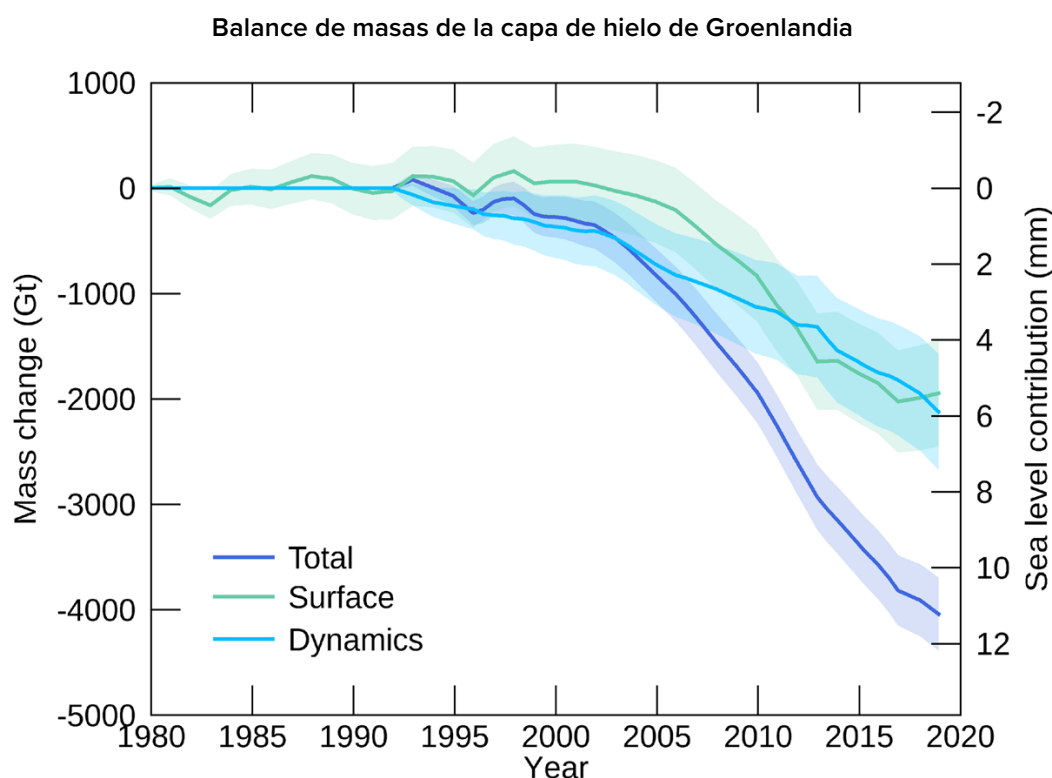


Figura 47

Cambio total acumulado de la masa de la capa de hielo de Groenlandia, dividido en dos componentes: superficial y dinámico (la parte de la pérdida de masa del glaciar causada por su movimiento y el desprendimiento de icebergs). Variación con respecto a 1992. Fuente de datos: IMBIE (Shepherd et al., 2020), Crédito: IMBIE/ESA/NASA.

Fluyen ríos y aparecen lagos en la superficie de la capa de hielo de Groenlandia, pero sorprendentemente también se han descubierto ríos y lagos bajo la capa de hielo, de unos 1,5 kilómetros de espesor. Hasta la fecha se han descubierto unos 60 lagos subglaciales²⁹. La

razón comúnmente conocida de la formación de estos lagos es el calor geotérmico y el agua de deshielo que fluye por las grietas. Estos lagos se forman porque la capa de hielo se está derritiendo tanto por arriba como por abajo.

²⁸ Briner, J. P., Cuzzzone, J. K., Badgley, J. A., Young, N. E., Steig, E. J., Morlighem, M., Schlegel, N.-J., Hakim, G. J., Schaefer, J. M., Johnson, J. V., Lesnek, A. J., Thomas, E. K., Allan, E., Bennike, O., Cluett, A. A., Csatho, B., de Vernal, A., Downs, J., Larour, E. y Nowicki, S. (2020). Rate of mass loss from the Greenland Ice Sheet will exceed Holocene values this century [El ritmo de pérdida de masa de la capa de hielo de Groenlandia superará los valores del Holoceno este siglo]. *Nature*, 586(7827), 70–74. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2742-6>

²⁹ Bowling, J. S., Livingstone, S. J., Sole, A. J. y Chu, W. (2019). Distribution and dynamics of Greenland subglacial lakes [Distribución y dinámica de los lagos subglaciales de Groenlandia]. *Nature Communications*, 10(2810). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10821-w>

Un grupo de científicos estadounidenses, dirigidos por el profesor Ralph von Frese, de la Universidad Estatal de Ohio, utilizó la investigación gravitacional para estimar el grosor de la corteza bajo Groenlandia. Descubrieron que el deshielo más importante de los glaciares se produce en la parte norte de la isla, donde la corteza terrestre es más delgada. En esta región se observa un elevado flujo de calor geotérmico debido a la pluma del manto ascendente³⁰.

Además, un grupo de científicos dirigido por investigadores del Instituto Schmidt de Física

de la Tierra, Irina Rogozhina y Alexey Petrunin³¹, llegó a la misma conclusión. Basándose en datos de tomografía sísmica, los investigadores descubrieron una pluma del manto en el interior de Groenlandia.

El flujo de magma se eleva desde el límite entre el núcleo y el manto, acercándose a la superficie terrestre justo bajo la parte central de la isla. Es probable que este fenómeno sea un factor adicional que contribuya al deshielo. Es en esta zona donde se localiza el mayor número de lagos subglaciales (Figuras 48-49).

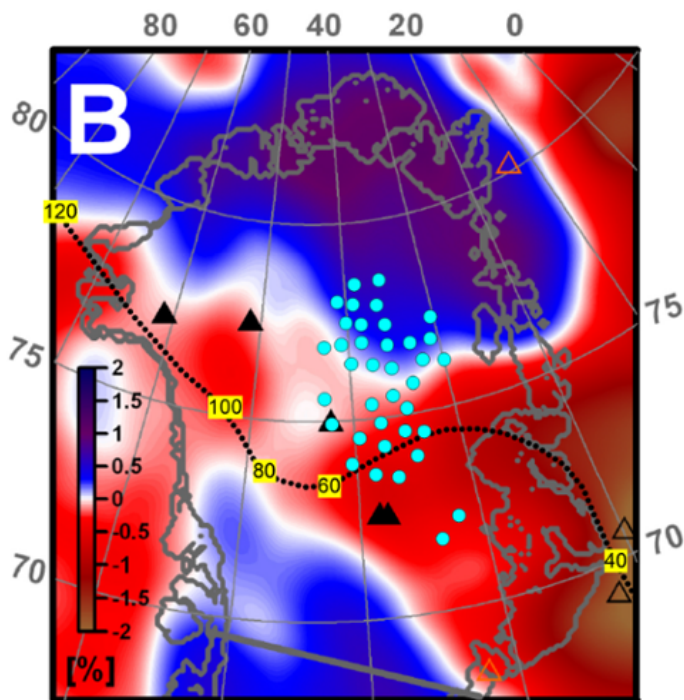


Figura 48

Tomografía sísmica de Groenlandia a 150 km de profundidad. Las zonas de baja velocidad correspondientes a las regiones con aumento de la temperatura están resaltadas en rojo. La línea de puntos representa una de las posibles reconstrucciones del "paso" de la pluma, con la edad indicada en millones de años. Los puntos azules son zonas en las que los resultados del estudio por radar indican la presencia de agua bajo el glaciar.

Fuente: Rogozhina, I., Petrunin, A. G., Vaughan, A. P. M., Steinberger, B., Johnson, J. V., Kaban, M. K., Calov, R., Rickers, F., Thomas, M. y Koulakov, I. (2016). Melting at the base of the Greenland ice sheet explained by Iceland hotspot history [Deshielo en la base de la capa de hielo de Groenlandia explicado por la historia del punto caliente de Islandia]. *Nature Geoscience*, 9, 366-369. <https://doi.org/10.1038/ngeo2689>

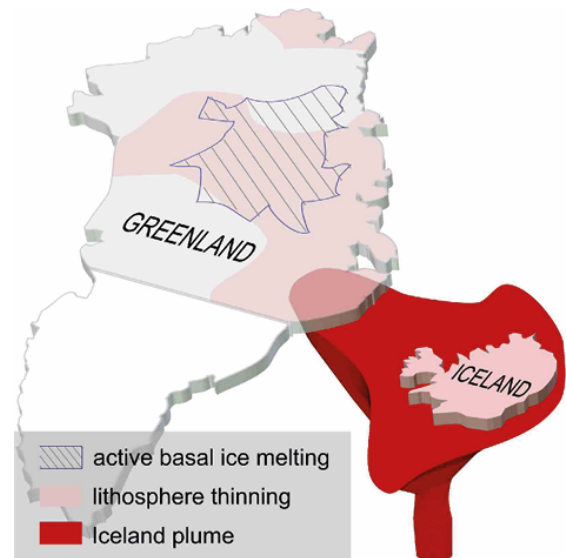


Figura 49

Ilustración de Iván Koulakov, geofísico ruso, experto en geofísica y geodinámica, miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de Rusia.

Fuente: https://www.vsegei.ru/ru/about/news/97448/?sphrase_id=1444325

³⁰van der Veen, C. J., Leftwich, T., von Frese, R., Csatho, B. M. y Li, J. (2007). Subglacial topography and geothermal heat flux: Potential interactions with drainage of the Greenland ice sheet [Topografía subglacial y flujo de calor geotérmico: Interacciones potenciales con el drenaje de la capa de hielo de Groenlandia]. *Geophysical Research Letters*, 34(12). <https://doi.org/10.1029/2007gl030046>

³¹Rogozhina, I., Petrunin, A. G., Vaughan, A. P. M., Steinberger, B., Johnson, J. V., Kaban, M. K., Calov, R., Rickers, F., Thomas, M. y Koulakov, I. (2016). Melting at the base of the Greenland ice sheet explained by Iceland hotspot history [Deshielo en la base de la capa de hielo de Groenlandia explicado por la historia del punto caliente de Islandia]. *Nature Geoscience*, 9, 366-369. <https://doi.org/10.1038/ngeo2689>

Los científicos han calculado el flujo de calor teórico de esta pluma magmática y han descubierto que este calor es suficiente para calentar la base del glaciar hasta el punto de fundir el hielo. Muchos investigadores obtuvieron resultados similares posteriormente, incluidos los que utilizaron técnicas de aprendizaje

automático^{32,33}. Los estudios realizados por científicos de la Universidad de Tohoku (Japón) permitieron conocer mejor la estructura de la pluma magmática situada bajo Groenlandia³⁴ (Figuras 50-51).

Pluma de magma bajo Groenlandia, modelo

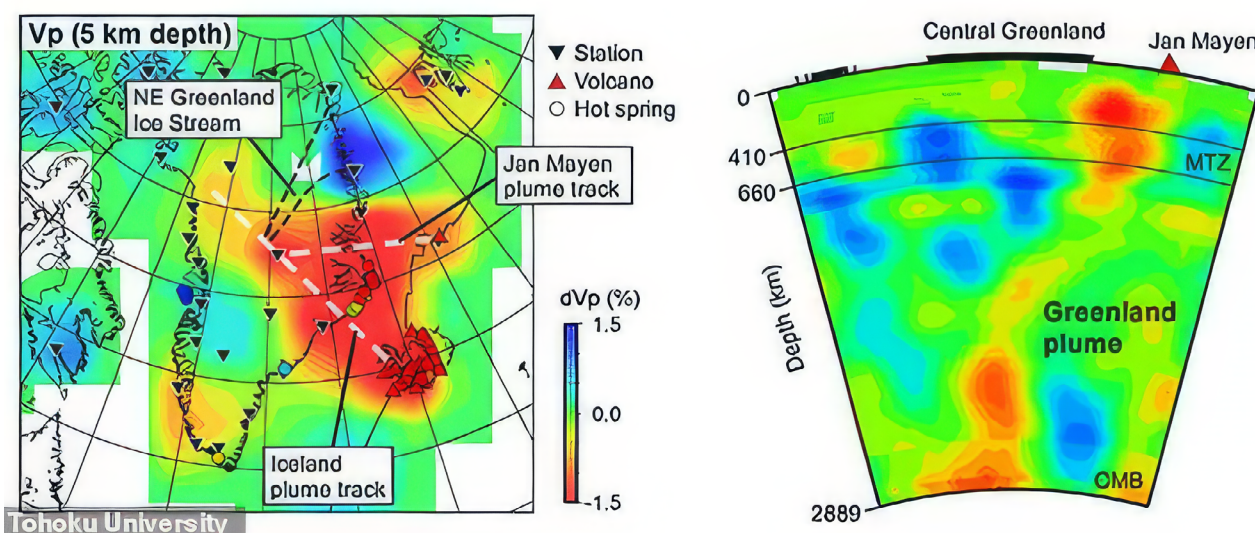


Figura 50

Comparación de la estructura de velocidad sísmica y el flujo de calor geotérmico. Los colores azul y rojo indican velocidades altas y bajas de las ondas longitudinales, respectivamente. El rojo muestra las zonas de baja velocidad asociadas a los flujos fundidos de la pluma magmática. Fuente: Toyokuni, G., Matsuno, T. y Zhao, D. (2020). P Wave Tomography Beneath Greenland and Surrounding Regions: 1. Crust and Upper Mantle [Tomografía de ondas P bajo Groenlandia y regiones circundantes: 1. Corteza y manto superior]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(12). <https://doi.org/10.1029/2020jb019837>

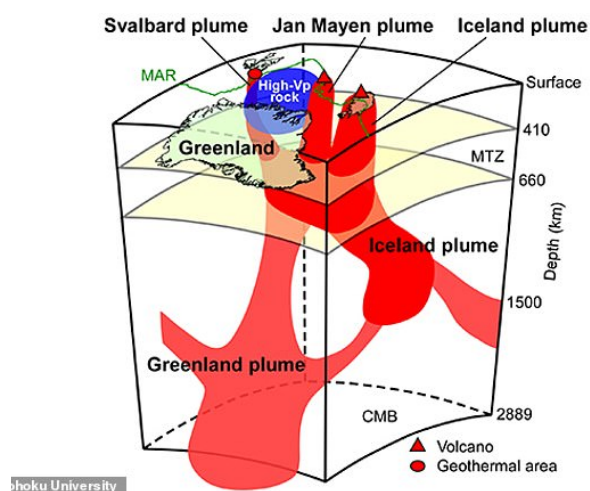


Figura 51

Diagrama de las principales características tectónicas y plumas de magma bajo Groenlandia y sus alrededores. La pluma de Groenlandia tiene dos ramas que suministran calor a las zonas activas de Islandia, Jan Mayen y la zona geotérmica de Svalbard. Las rocas fundidas se elevan desde el límite entre el núcleo y el manto, acelerando el deshielo en el centro de Groenlandia y elevando el nivel del mar. Fuente de datos: Toyokuni, G., Matsuno, T. y Zhao, D. (2020). <https://doi.org/10.1029/2020JB019837>

³² Rezvanbehbahani, S., Stearns, L. A., Kadivar, A., Walker, J. D. y van der Veen, C. J. (2017). Predicting the Geothermal Heat Flux in Greenland: A Machine Learning Approach [Predicción del flujo de calor geotérmico en Groenlandia: un enfoque de aprendizaje automático]. Geophysical Research Letters, 44(24), 12.271-12.279. <https://doi.org/10.1002/2017gl075661>

³³ Rysgaard, S., Bendtsen, J., Mortensen, J. y Sej, M. K. (2018). High geothermal heat flux in close proximity to the Northeast Greenland Ice Stream [Elevado flujo de calor geotérmico en las proximidades de la corriente de hielo del noreste de Groenlandia]. Scientific Reports, 8(1344). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19244-x>

³⁴ Toyokuni, G., Matsuno, T. y Zhao, D. (2020). P Wave Tomography Beneath Greenland and Surrounding Regions: 1. Crust and Upper Mantle [Tomografía de ondas P bajo Groenlandia y regiones circundantes: 1. Corteza y manto superior]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(12). <https://doi.org/10.1029/2020jb019837>

Así, según los estudios de científicos japoneses, rusos y alemanes, en Groenlandia, al igual que en la Antártida, también se localiza una pluma magmática en la parte central, que es una posible causa del deslizamiento acelerado de los glaciares de Groenlandia en las últimas décadas.

Es probable que las dos mayores regiones glaciares del mundo, la Antártida y Groenlandia, se estén derritiendo no sólo debido al factor antropogénico, sino también adicionalmente debido a un aumento del calor geotérmico procedente del interior de la Tierra; además, el calor se está intensificando, como indican las tendencias exponenciales en el derretimiento

de los glaciares. Esto sugiere que las plumas magmáticas han estado activas bajo la Antártida Occidental y Groenlandia Central desde 1995.

El objetivo de proporcionar esta información es llamar la atención sobre la cantidad anormal de energía acumulada en el interior del planeta. El nivel de energía es tan elevado que ha activado las plumas magmáticas, que han empezado a derretir glaciares a un ritmo exponencial. Este proceso se está acelerando, lo que indica un aumento de la actividad magmática planetaria, que podría suponer una grave amenaza adicional para la vida humana.

Calentamiento de las capas inferiores de la atmósfera

La consecuencia del calentamiento del Océano Mundial es el calentamiento sin precedentes de las capas inferiores de la atmósfera. La Figura 52 presenta un gráfico que ilustra el aumento sin precedentes de las temperaturas medias en todo el mundo desde

1850 hasta 2023. En 2023 se estableció un nuevo récord histórico de temperatura. Según Samantha Burgess, directora adjunta del Servicio de Cambio Climático de Copernicus (C3S), 2023 se convirtió en el año más caluroso, al menos, de los últimos 100.000 años³⁵.

2023 fue el año más caluroso registrado en el mundo

Aumento de la temperatura global en superficie respecto a la media del período preindustrial 1850-1900 (°C)

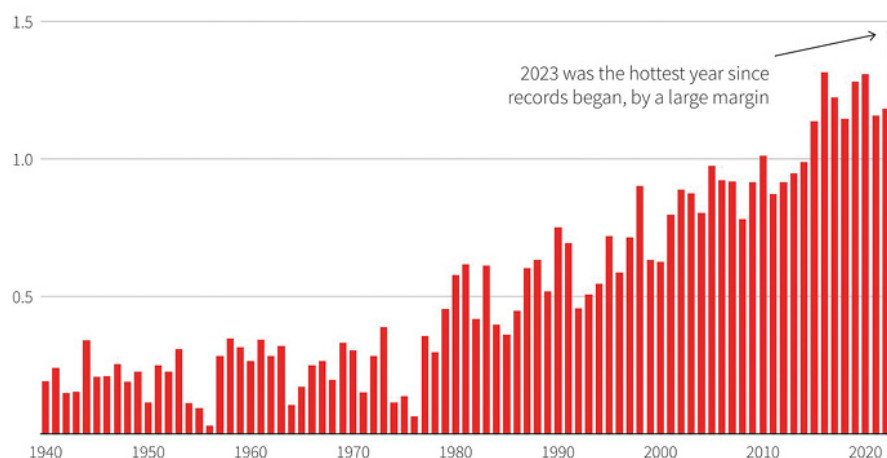


Figura 52

Aumento de la temperatura global en superficie respecto a la media durante el período preindustrial 1850-1900 (°C)
Fuente: Servicio de Cambio Climático de Copernicus/ECMWF

³⁵ Fuente: <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>

El principal climatólogo de la NASA, Gavin Schmidt, expresó su preocupación por las temperaturas récord de 2023. Según Gavin, estas temperaturas no sólo superaron los récords anteriores, sino que también indicaron la presencia de procesos de calentamiento desconocidos que sobrepasaron las tendencias a largo plazo típicas de los modelos anteriores. Afirmó: “Las tendencias a largo plazo, las entendemos, y están siendo impulsadas por los gases de efecto invernadero, por efectos antropogénicos.... Pero lo que ocurrió en 2023 fue eso, y luego algo más. Y ese ‘algo más’ es mucho mayor de lo que esperamos, o de lo que aún podemos explicar”³⁶.

Además, existe un desequilibrio creciente entre la radiación solar entrante y la radiación

saliente de la Tierra (Figura 53). El gráfico indica que la atmósfera terrestre está acumulando energía de forma exponencial. Esto se debe al aumento del calor procedente de las emisiones de gases de efecto invernadero y, además, del ascenso del magma desde las profundidades, así como a la disminución de la función del océano y la atmósfera para disipar eficazmente el calor de la superficie terrestre al espacio. En marzo de 2023, el Desequilibrio Energético de la Tierra (EEI) anual era de 1,61 vatios por metro cuadrado, lo que a escala mundial equivale a la energía de unas 13 bombas atómicas lanzadas cada segundo sobre la Tierra, de la misma potencia que se lanzaron sobre Hiroshima.

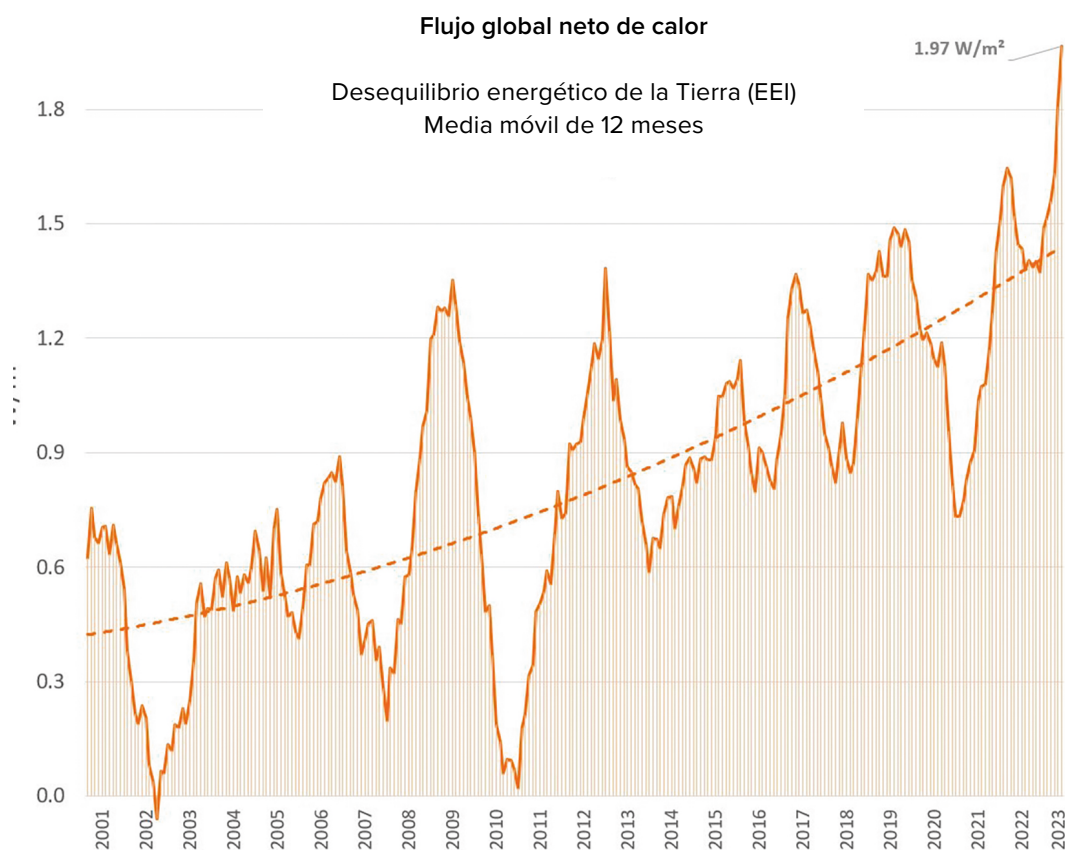


Figura 53

Crecimiento exponencial del Desequilibrio Energético de la Tierra (EEI), que indica la diferencia entre la radiación solar entrante y la radiación saliente de todas las fuentes. © Leon Simons

Fuente de datos: NASA CERES EBAF-TOA All-sky Ed4.2 Net flux, 2000/03-2023/05.

³⁶ Fuente: <https://phys.org/news/2024-01-driven-mystery-nasa-scientist.html>

Cambios en las capas superiores de la atmósfera

Es importante señalar que los cambios no sólo se producen en las capas inferiores de la atmósfera (troposfera), sino también en sus capas medias y superiores. La figura 54 ofrece una representación gráfica general de la estructura de la atmósfera.

La termosfera, una de las capas más altas de la atmósfera, ha experimentado una disminución récord de su densidad³⁷. Desde 2007, los científicos han observado una inexplicable reducción de la densidad de la termosfera a una altitud de 400 km entre un 1,7 % y un 7,4 % en 10 años³⁸. Así lo confirman los datos de más de 10.000 órbitas de satélites que atraviesan la termosfera. Si la reducción de la densidad de la termosfera continúa, el riesgo de colisión o avería de los satélites puede llegar a ser muy elevado. Además, la termosfera sufre importantes variaciones de densidad durante las tormentas geomagnéticas desencadenadas por erupciones solares. Si el adelgazamiento de la termosfera continúa al mismo ritmo, en combinación con una fuerte erupción solar, podría provocar la interrupción total de todas las redes de navegación y de satélites, incluida Internet.

También se han producido cambios en la mesosfera³⁹ (en altitudes de 50 a 90 km) y la estratosfera (en altitudes de 18 a 50 km), que se han enfriado significativamente en los últimos 30 años (Figuras 55-56). El descenso de la temperatura en la atmósfera media

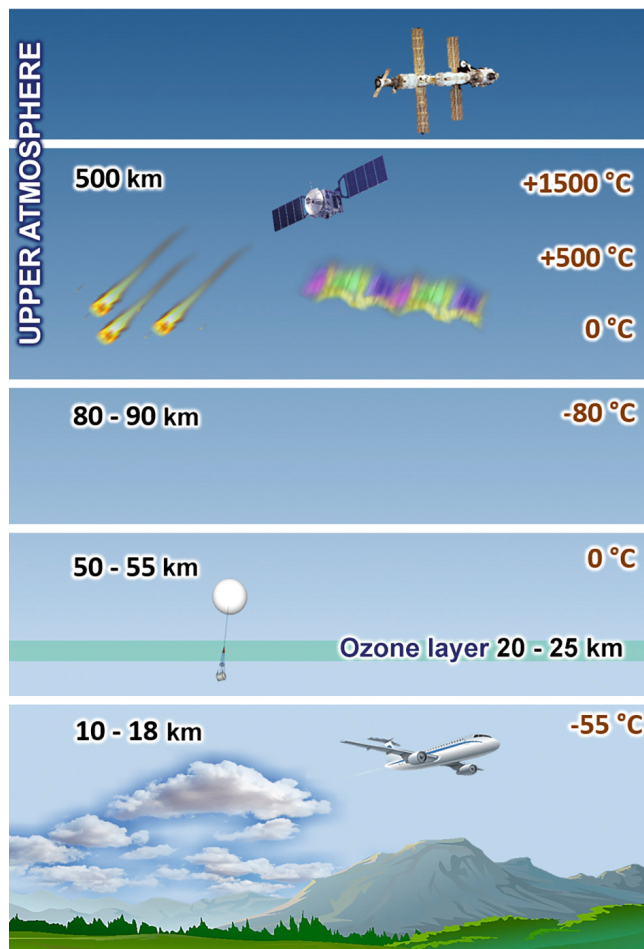


Figura 54

Capas atmosféricas

se ha establecido de forma fiable a partir de observaciones realizadas con diversos métodos⁴⁰. Según datos de los años 1980 a 2018, el espesor de la estratosfera disminuyó una media de 400 metros⁴¹.

³⁷ Emmert, J. T., Lean, J. L. y Picone, J. M. (2010). Record-low thermospheric density during the 2008 solar minimum [Densidad termosférica mínima histórica durante el mínimo solar de 2008]. *Geophysical Research Letters*, 37(12). <https://doi.org/10.1029/2010gl043671>

³⁸ Danilov, A. D. y Konstantinova, A. V. (2020). Dolgovremennye variatsii parametrov srednej i verhnjej atmosfery i ionosfery (obzor) [Variaciones a largo plazo de los parámetros de la atmósfera media y superior y de la ionosfera (reseña)]. *Geomagnetizm i aeronomija*, 60, 411–435. <https://doi.org/10.1134/S0016793220040040>

³⁹ Lübken, F.-J., Berger, U. y Baumgarten, G. (2013). Temperature trends in the midlatitude summer mesosphere [Tendencias de la temperatura en la mesosfera estival de latitudes medias]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(24), 13.347–13.360. <https://doi.org/10.1002/2013jd020576>

⁴⁰ Danilov, A. D. y Konstantinova, A. V. (2020). Dolgovremennye variatsii parametrov srednej i verhnjej atmosfery i ionosfery (obzor) [Variaciones a largo plazo de los parámetros de la atmósfera media y superior y de la ionosfera (reseña)]. *Geomagnetizm i aeronomija*, 60, 411–435. <https://doi.org/10.1134/S0016793220040040>

⁴¹ Pisoft, P., Sacha, P., Polvani, L. M., Afiel, J. A., de la Torre, L., Eichinger, R., Foelsche, U., Huszar, P., Jacobi, C., Karlicky, J., Kuchar, A., Miksovsky, J., Zak, M. y Rieder, H. E. (2021). Stratospheric contraction caused by increasing greenhouse gases [Contracción estratosférica causada por el aumento de los gases de efecto invernadero]. *Environmental Research Letters*, 16, 064038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfe2b>

Simultáneamente a la disminución de la densidad y la temperatura, se ha registrado un cambio en la composición química de la atmósfera, en particular una disminución de la concentración de oxígeno en la atmósfera superior (termosfera) de hasta un 60%. A una altitud de 130 km en latitudes medias, la

concentración de O₂ (oxígeno molecular) ha disminuido entre 2 y 4 veces^{42,43}. Además, también se observa una disminución de la concentración de oxígeno atómico en la atmósfera superior⁴⁴.

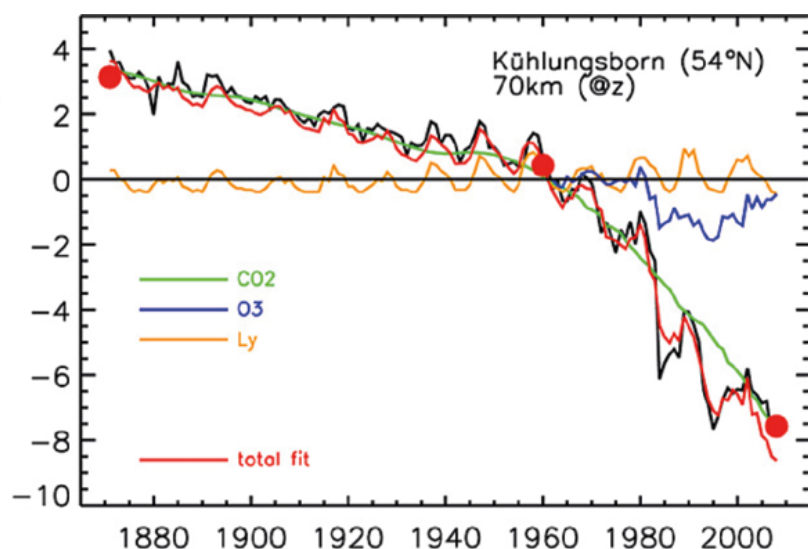


Figura 55

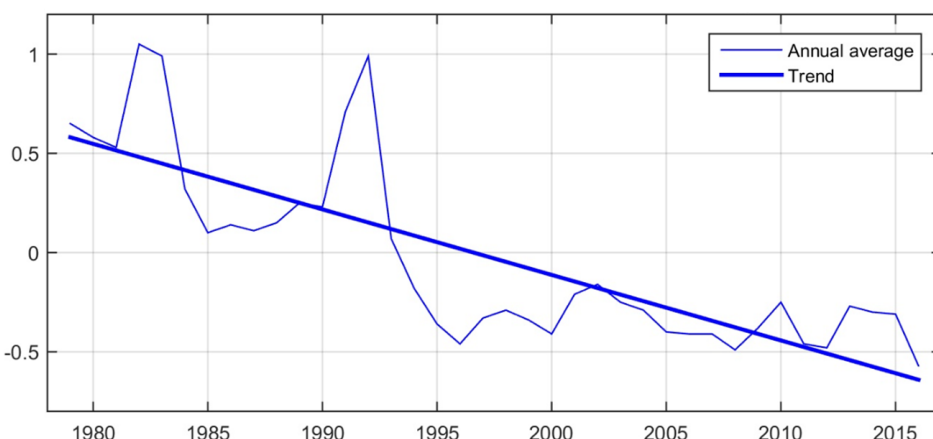
Anomalías de temperatura en la mesosfera. La temperatura en la mesosfera ha descendido aproximadamente 5-7 K en altitudes de presión y aún más (hasta 10-12 K) en altitudes geométricas. Fuente: Lübken, F.-J., Berger, U. y Baumgarten, G. (2013). Temperature trends in the midlatitude summer mesosphere [Tendencias de la temperatura en la mesosfera estival de latitudes medias]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(24), 13.347–13.360.

<https://doi.org/10.1002/2013jd020576>

Figura 56

Anomalías anuales medias de la temperatura global en la estratosfera. Anomalías de temperatura a partir de datos de la Universidad de Alabama en Huntsville (con respecto a 1981 - 2010) obtenidos de los satélites de órbita polar NOAA ajustadas según Fu et al. (2004). Fuente: www.ncdc.noaa.gov

Anomalías anuales medias de la temperatura global en la estratosfera



Todos los cambios en la atmósfera media y superior indican procesos de cambios globales dentro del sistema terrestre.

⁴²Givishvili, G. V. y Leshchenko, L. N. (2022). Mnogoletnij trend reakcii E-sloja ionosfery na solnechnye vspyshki [Tendencia a largo plazo de la respuesta de la capa E de la ionosfera a las erupciones solares]. *Solnechno-Zemnaya Fizika*, 8(1), 51-57. <https://doi.org/10.12737/szf-81202206>

⁴³Givishvili, G. V. y Leshchenko, L. N. (2022). O prichinah ohlazhdeniya i osedaniya srednej i verhnej atmosfery [Sobre las causas del enfriamiento y hundimiento de la atmósfera media y superior]. *Izvestija RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 58(5), 601-614. <https://doi.org/10.31857/S0002351522050042>

⁴⁴Danilov, A. D. y Konstantinova, A. V. (2014). Umen'shenie atomnogo kisloroda v verhnej atmosfere [Reducción del contenido de oxígeno atómico en la atmósfera superior]. *Geomagnetizm i Aeronomija*, 54(2), 239-245. <https://doi.org/10.1134/s0016793214020066>

Parte 2

CAUSAS DE LA CATÁSTROFE GLOBAL

Un aumento tan rápido y repentino de las catástrofes climáticas, atmosféricas y geodinámicas en todo el mundo sugiere que, junto con el factor antropogénico, existe una enorme cantidad de energía adicional en el interior de nuestro planeta. Bajo la corteza terrestre existe un complejo sistema termodinámico que lleva funcionando miles de millones de años. Gracias a su estabilidad, la vida en la Tierra es posible. Sin embargo, cualquier cambio en una de las capas subterráneas afecta a todo el sistema, incluida la capa superficial, donde viven los seres humanos.

LA ESTRUCTURA DE LA TIERRA

ATMÓSFERA TERRESTRE

Exosfera

Esta capa es la parte más externa de la atmósfera terrestre. Separa la atmósfera de la capa siguiente.

Termosfera

Capa extremadamente caliente con temperaturas muy elevadas, ya que absorbe gran parte de la radiación solar.

Mesosfera

La mesosfera está formada por aire enrarecido que contiene poco oxígeno y algunos gases.

Estratosfera

Capa con aire pesado y frío en la parte inferior y aire caliente en la superior. La capa de ozono se encuentra en la estratosfera. Nos protege de la radiación ultravioleta del Sol.

Troposfera

La capa más baja de la atmósfera terrestre. Casi todo el proceso de formación de nubes y los fenómenos meteorológicos se producen en esta capa.

Exosfera

700-10.000 kms / 140-6.200 millas

Termosfera

80-700 kms / 50-440 millas

Mesosfera

50-80 kms / 31-50 millas

Estratosfera

12-50 kms / 7,3-31 millas

Troposfera

0-12 kms / 0-7,5 millas

ESTRUCTURA INTERNA DE LA TIERRA

Litosfera

Capa exterior rígida de la Tierra incluyendo la corteza y la parte superior del manto.

Astenosfera

Zona extremadamente caliente bajo la litosfera formada por rocas parcialmente fundidas.

Manto

El manto superior e inferior está formado en su mayor parte por roca sólida.

Núcleo externo

Capa líquida formada principalmente por metales como hierro y níquel.

Núcleo interno

Bola caliente, densa y sólida formada por hierro.

Corteza continental

30 km / 19 millas

Corteza oceánica

6 km / 4 millas

Litosfera (sólida)

100 km / 62 millas

Astenosfera (parcialmente fundida)

180 km / 112 millas

Manto

(mayoritariamente sólido) 2.900 km / 1.802 millas

Núcleo externo (líquido)

2.200 km / 1.367 millas

Núcleo interno (sólido)

1.250 km / 777 millas

6.375 km / 3.961 millas

Cambios a escala planetaria en 1995

Consideremos los cambios en los parámetros geofísicos y geodinámicos de la Tierra que se han producido desde 1995. En ese año, laboratorios científicos de todo el mundo descubrieron de forma independiente alarmantes anomalías planetarias.

El polo magnético norte, que hasta entonces se había desplazado constantemente a una velocidad de 10 km por año, aumentó

repentinamente su velocidad a 55 km y cambió su trayectoria hacia la península de Taimyr, en Siberia (Figuras 57-58)⁴⁵. Actualmente, el polo magnético norte se ha desplazado más de mil kilómetros en dirección a Siberia. No se ha registrado un movimiento tan rápido del polo magnético en los últimos 10.000 años.⁴⁶

Velocidad del polo magnético norte (km/año)

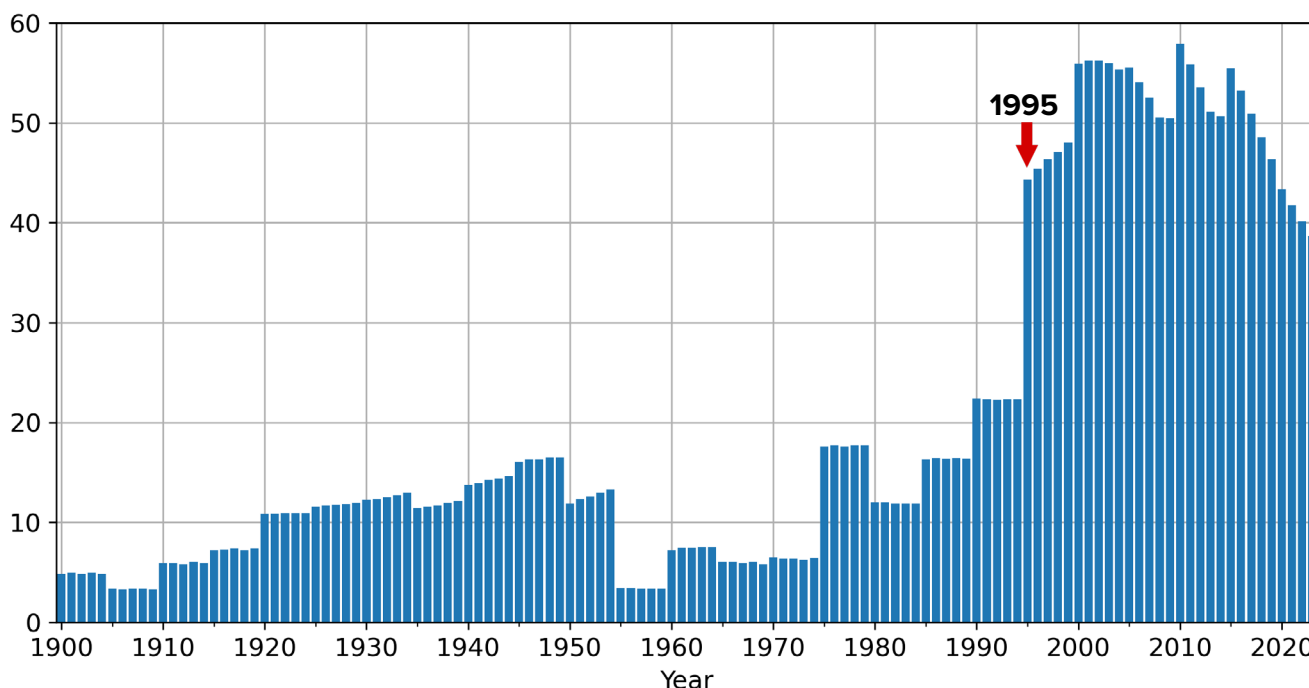


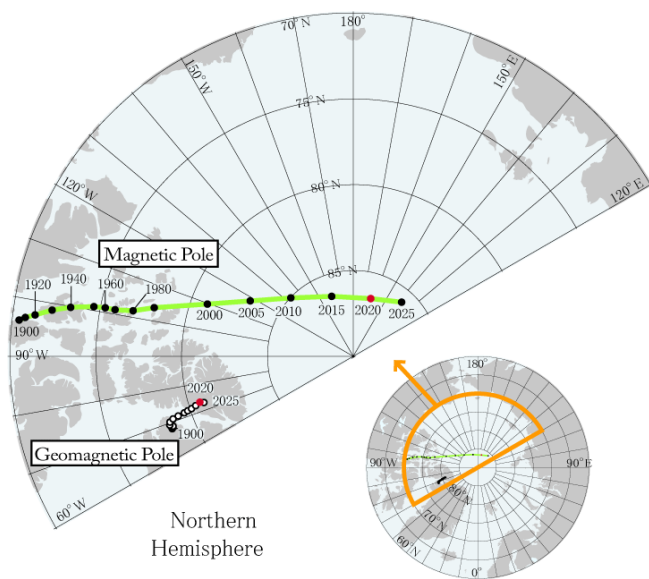
Figura 57

Velocidad de la deriva del Polo Magnético Norte, km/año.

Datos de la NOAA sobre la posición del polo magnético norte: <https://www.ngdc.noaa.gov/geomag/data/poles/NP.xy>

⁴⁵ Dyachenko, A. I. (2003). Magnitnye polyusa Zemli [Polos magnéticos de la Tierra] (p. 48). Moscú: MCCME.

⁴⁶ Androsova, N. K., Baranova, T. I. y Semykina D.V. (2020). Geologicheskoe proshloe i nastoyashchee magnitnykh polyusov zemli [Pasado y presente geológico de los polos magnéticos de la Tierra]. Nauki o Zemle / Colloquium-journal, 5(57). DOI:10.24411/2520-6990-2020-11388

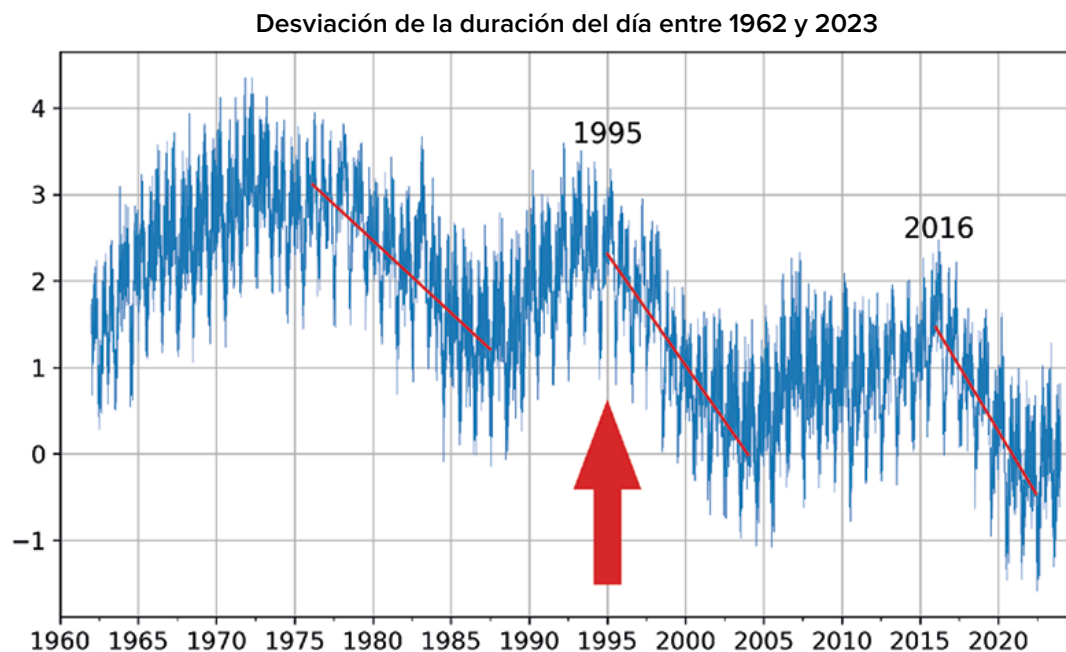
**Figura 58**

Ubicaciones de los polos geomagnéticos y magnéticos basadas en el IGRF-13 de 1900 a 2015 por 5 años y en 2020 (rojo) y 2025 (previsión).

Fuente: World Data Center for Geomagnetism, Kyoto

En 1995 se registró una alteración en la rotación de la Tierra: cambió la dirección del eje de rotación del planeta y su velocidad de movimiento aumentó 17 veces. Según las investigaciones, “el punto de ruptura de la deriva polar se estableció en octubre de 1995”⁴⁷.

Además, antes de 1995, los científicos observaban una ralentización de la rotación del planeta, y en 1995 y 2016 se produjeron saltos bruscos en la aceleración de la rotación de la Tierra, algo sin precedentes en la historia de las observaciones (Figura 59). Según los datos del Centro de Orientación de la Tierra del Observatorio de París, en 1995 y 2016, la duración del día empezó a disminuir varios milisegundos, lo que indica que la Tierra giraba más rápido de lo habitual. Nótese que la duración del día se define como el tiempo que tarda la Tierra en completar una rotación alrededor de su eje.

**Figura 59**

Desviación de la duración del día en milisegundos de 1962 a 2023. Las líneas rojas del gráfico representan líneas de tendencia que muestran el ritmo al que se acortan los días. Por ejemplo, la línea de la izquierda es menos pronunciada, mientras que la línea de la derecha, que representa la aceleración desde 2016, es casi vertical, lo que significa que los días se acortan muchas veces más rápido, indicando una rotación más rápida del planeta.

Fuente de datos: Centro de Orientación de la Tierra del Observatorio de París (IERS Earth Orientation Center of the Paris Observatory). Duración del día - Parámetros de orientación de la Tierra:

https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223

⁴⁷ Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L. y Bauer-Gottwein, P. (2021). Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes [La deriva polar de los años 90 explicada por los cambios en los depósitos terrestres de agua]. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

Así, en 1995, se produjo un cambio repentino y simultáneo en tres parámetros geofísicos de la Tierra:

- aceleración de la deriva del Polo Magnético Norte;
- cambio de dirección y aceleración del eje de rotación de la Tierra;
- aceleración de la rotación del planeta.

Cada uno de estos parámetros está interrelacionado con el estado del núcleo de la Tierra, es decir, el campo magnético es creado por el geodynamo en el núcleo de la Tierra, y la velocidad y el eje de rotación del planeta dependen del centro de masa de la Tierra (núcleo interno). De ello se deduce que en 1995 comenzaron a producirse cambios significativos y anómalos en el núcleo de la Tierra, cuyo proceso requiere una enorme energía.

El debilitamiento del campo magnético del planeta, que protege a todas las especies vivas de la mortífera radiación cósmica y solar, también

está asociado a estos cambios en el núcleo de la Tierra. Los científicos están preocupados por los cambios que se están produciendo en el campo geomagnético: en los últimos 50 años, se ha producido una fuerte caída de su intensidad⁴⁸, lo que significa que se está debilitando, y según las previsiones, esta tendencia continuará (Figura 60). Durante el siglo pasado, la intensidad del campo magnético disminuyó entre un 10 y un 15%, y en los últimos años este proceso se ha acelerado notablemente. Además, se trata del mayor debilitamiento de los últimos 12.000-13.000 años. El debilitamiento del campo magnético se produce de forma desigual en el planeta. Hay zonas en las que el campo magnético se ha debilitado en un 30%: esto ocurre en la parte sur del Océano Atlántico y en Sudamérica, en la zona denominada Anomalía del Atlántico Sur.

Valor del momento magnético dipolar de la Tierra de 1900 a 2020

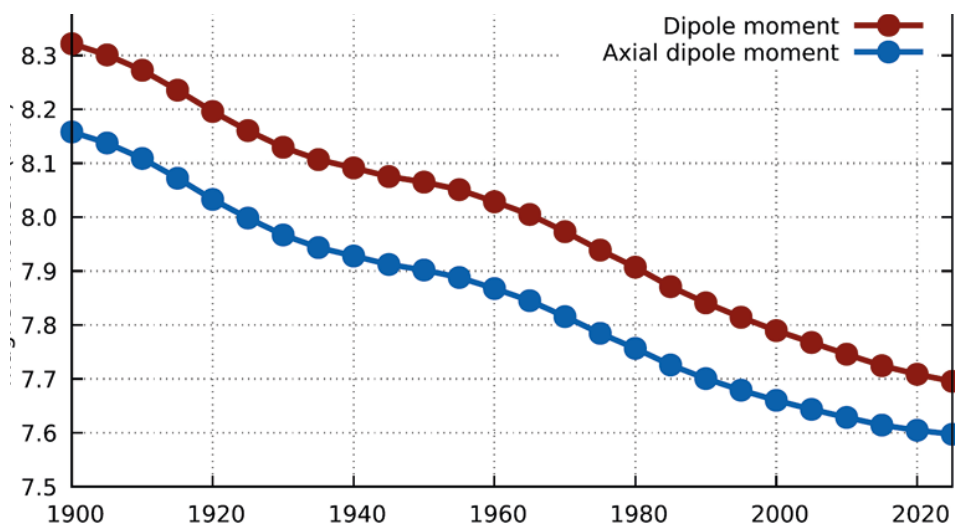


Figura 60

El valor del momento magnético dipolar de la Tierra desde 1900 hasta 2020. El gráfico muestra cómo ha disminuido la intensidad del campo magnético dipolar de la Tierra desde 1900 y cómo se prevé que siga disminuyendo. El color rojo indica que esta tendencia decreciente se ha mantenido hasta 2020 y se prevé que continúe hasta 2025.

Fuente: Alken, P., Thébaud, E., Beggan, C.D. et al. (2021). International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation [Campo Geomagnético Internacional de Referencia: la decimotercera generación]. *Earth Planets Space* 73, 49. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x>

⁴⁸ Tarasov, L. V. (2012). *Zemnoj magnetizm: Uchebnoe posobie* [Magnetismo terrestre: Un libro de texto] (p. 184). Dolgoprudny: Editorial Intellect.

Channell, J. E. T. y Vigliotti, L. (2019). The role of geomagnetic field intensity in Late Quaternary evolution of humans and large mammals [El papel de la intensidad del campo geomagnético en la evolución cuaternaria tardía de humanos y grandes mamíferos]. *Reviews of Geophysics*, 57. <https://doi.org/10.1029/2018RG000629>

Los científicos daneses llegaron a conclusiones similares tras analizar los resultados de las observaciones del campo magnético terrestre obtenidas desde el satélite danés Ørsted. En el sur del océano Atlántico y en el Ártico encontraron zonas con una intensidad anómalamente baja del campo magnético, que denominaron “agujeros magnéticos”. Los científicos creen que la presencia de tales “agujeros” entraña riesgos para el funcionamiento de los equipos de navegación de satélites, aviones y barcos, la interrupción de las comunicaciones por radio, la pérdida de orientación de las aves migratorias y muchos otros problemas, incluso más terribles e imprevisibles: como el aumento del cáncer, porque en las zonas de “agujeros magnéticos” la Tierra y todo lo que vive en ella quedan desprotegidos de la radiación cósmica.

En los últimos años se ha observado una manifestación anómala de las consecuencias del debilitamiento del campo magnético. Se registran auroras boreales rojas en regiones inusuales de la Tierra e incluso en lugares donde nunca antes se habían producido, de forma especialmente activa desde 2023.

Según la teoría actual, los flujos de hierro fundido que se mueven alrededor del núcleo sólido del planeta son los responsables de la formación del campo magnético. En 2013, científicos de la Universidad de Leeds descubrieron que todos estos cambios en el campo magnético comenzaron a producirse debido a la aceleración del flujo de hierro líquido en el núcleo externo de la Tierra⁴⁹ (Figura 61), que probablemente comenzó en 1995.

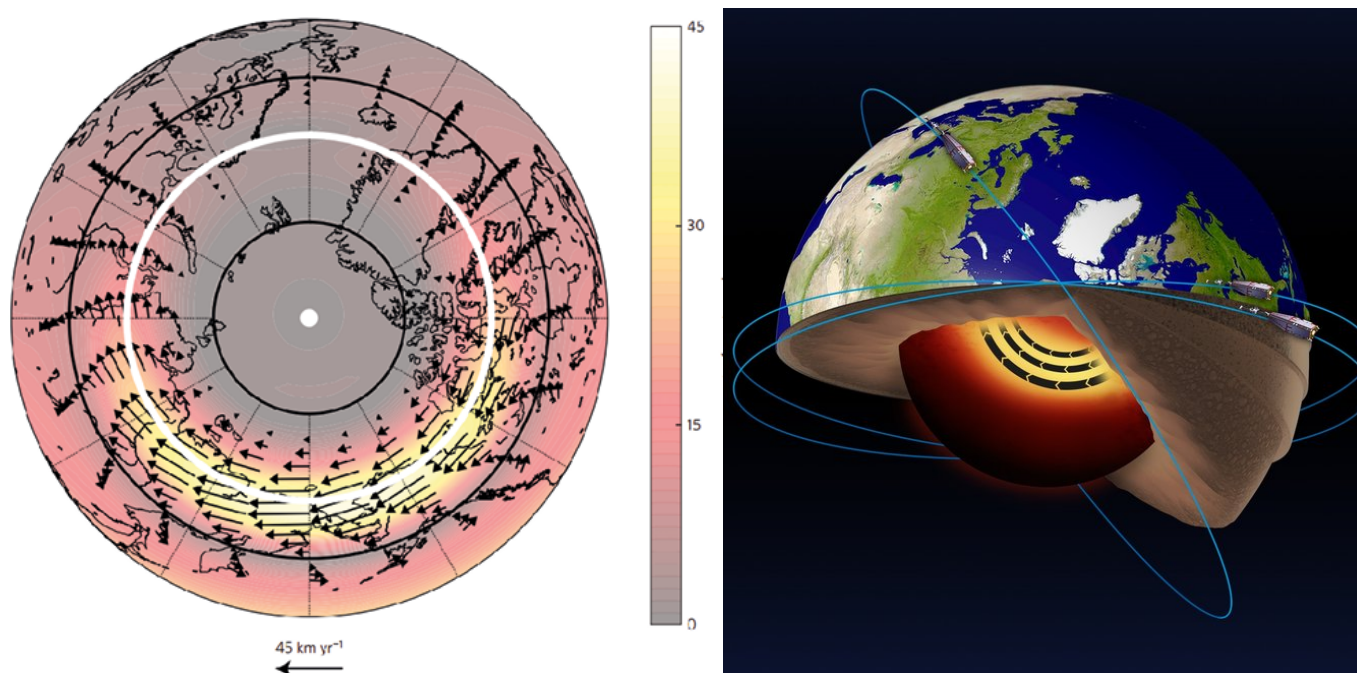


Figura 61

El análisis de los datos del satélite Swarm de la ESA ha revelado la presencia de una corriente en chorro en la parte de hierro líquido del núcleo de la Tierra, a una profundidad de 3.000 km por debajo de la superficie, y también que esta corriente en chorro se está acelerando. Fuente: ESA

Livermore, P. W., Hollerbach, R. y Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core [Un chorro acelerado de alta latitud en el núcleo de la Tierra]. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

⁴⁹Livermore, P. W., Hollerbach, R. y Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core [Un chorro acelerado de alta latitud en el núcleo de la Tierra]. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>

Desplazamiento del núcleo de la Tierra en 1998

En 1997-1998, al estudiar el centro de masa de la Tierra vía satélite, los científicos registraron un fenómeno sin precedentes: un desplazamiento del núcleo interno de la Tierra⁵⁰. Como resultado, el núcleo del planeta se desplazó hacia el norte, a lo largo de la línea que va desde la Antártida Occidental hasta Siberia Occidental, en dirección a la península de Taimyr, Rusia (Figura 62).

Al mismo tiempo, cuatro equipos de investigación diferentes registraron de forma independiente cambios anormales en diversos parámetros geofísicos de la Tierra, evidenciando este suceso. Según los datos de satélite, un equipo de autores de la Universidad Estatal de Moscú y del Instituto de Física de

la Tierra de la Academia de Ciencias de Rusia registró un desplazamiento del centro de masa de la Tierra en 1998⁵¹ (Figura 63). Durante el mismo período, el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) registró una fuerte aceleración de la rotación del planeta (Figura 64). Al mismo tiempo, en la estación de Medicina, en Italia, los científicos registraron un brusco cambio de la gravedad⁵² (Figura 65). Simultáneamente, se observó un brusco cambio en la forma de la Tierra⁵³ (Figura 66), registrado mediante un sistema telémetro láser de satélites estadounidenses. El planeta comenzó a expandirse anormalmente en la zona del ecuador, aunque antes la tendencia era la contraria.

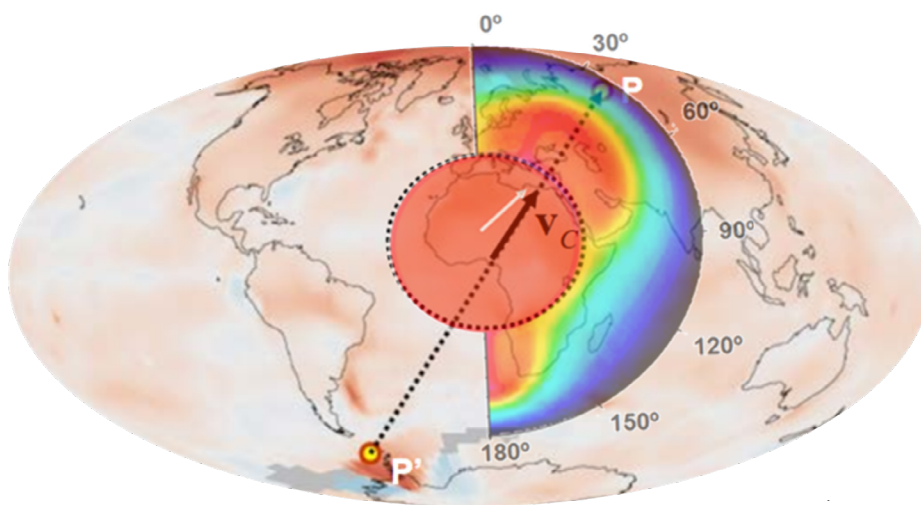


Figura 62

Desplazamiento del núcleo en 1997-1998 y ondas térmicas en el magma causadas por el desplazamiento del núcleo. (Barkin, Yu. V.) El mapa representa el vector de desplazamiento del núcleo interno desde la Antártida Occidental hasta Siberia Occidental, en dirección a la península de Taimyr. El esquema se superpone a un mapa de anomalías térmicas atmosféricas.

Fuente: Geofizicheskie sledstviya otnositel'nyh smeshchenij i kolebanij yadra i mantii Zemli [Implicaciones geofísicas de los desplazamientos y fluctuaciones relativas del núcleo y el manto de la Tierra]. Presentación de Yu.V. Barkin, Moscú, IFZ, OMTS. 16 de septiembre de 2014.

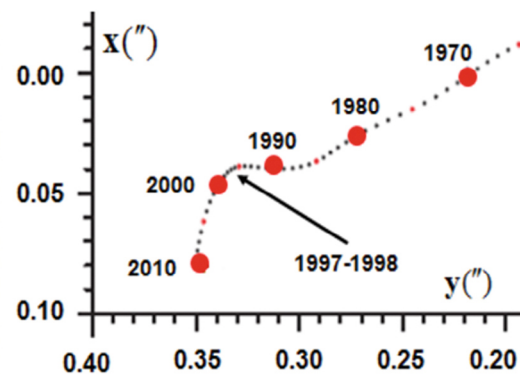
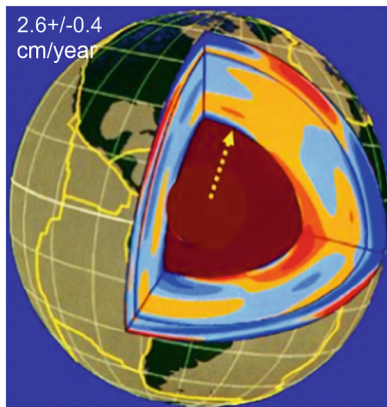
⁵⁰ Barkin, Y. V. (2011). Sinhronnye skachki aktivnosti prirodnyh planetarnykh processov v 1997-1998 gg. i h edinyj mekhanizm [Saltos sincrónicos en la actividad de los procesos planetarios naturales en 1997-1998 y su mecanismo unificado]. *Geologiya morej i okeanov: Materialy XIX Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii po morskoy geologii* [Geología de mares y océanos: Materiales de la XIX Conferencia Científica Internacional sobre Geología Marina]. Moscú: GEOS, 5, 28-32

⁵¹ Smolkov, G. Ya. (2018). Exposure of the solar system and the earth to external influences [Exposición del sistema solar y la Tierra a influencias externas]. *Physics & Astronomy International Journal*, 2(4), 310-321. <https://doi.org/10.15406/paij.2018.02.00104>

⁵² Zotov, L. V., Barkin, Y. V. y Lyubushin, A. A. (2009). Dvizhenie geocentra i ego geodinamika [Movimiento del geocentro y su geodinámica] (pp. 98-101). En 3ra. conf. Geodinámica espacial y modelización de procesos geodinámicos globales, Novosibirsk, 22-26 de septiembre de 2009, Rama siberiana de la Academia de Ciencias de Rusia. Novosibirsk: Geo.

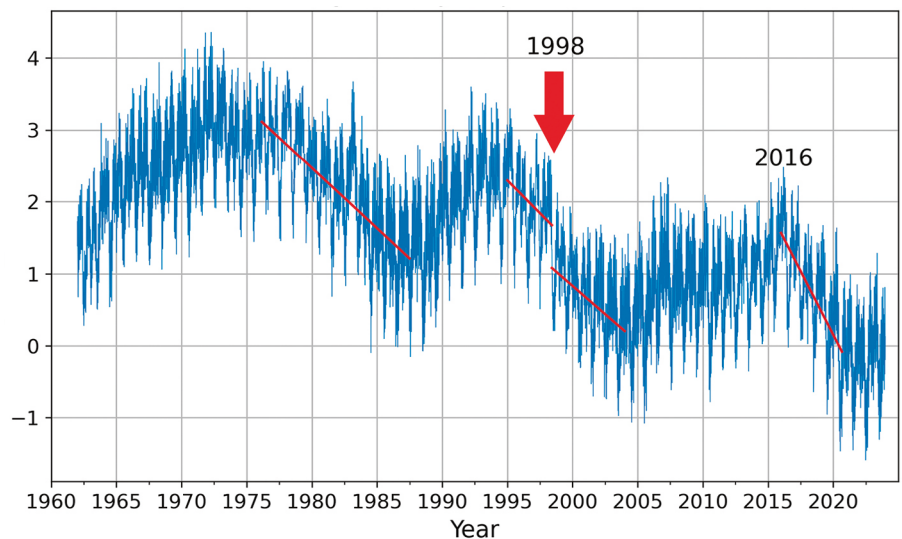
⁵³ Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C. y Ghirotti, M. (2003). Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations [Influencia de los efectos de consolidación y expansión térmica del suelo en las variaciones de altura y gravedad]. *Journal of Geodynamics*, 35(4-5), 521-539. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(03)00012-7)

⁵⁴ Cox, C. y Chao, B. F. (2002). Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998 [Detección de una redistribución de masa a gran escala en el sistema terrestre desde 1998]. *Science*, 297(5582), 831-833. <https://doi.org/10.1126/science.1072188>

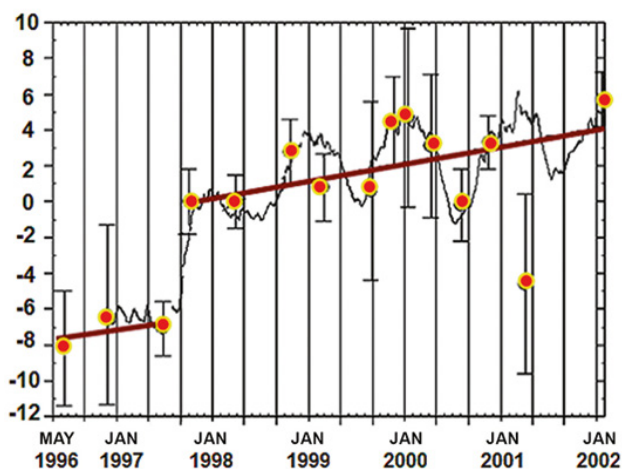
**Figura 63**

Estructura interna de la Tierra; la dirección de la deriva secular del centro de masa de la Tierra y la trayectoria de su polo a través de la superficie terrestre en 1990-2010 con un giro de casi 90 grados en 1997-1998 hacia la península de Taimyr. Fuente del gráfico: Barkin Yu.V. y Klige R.K., 2012

Desviación de la duración del día para el período de 1962 a 2023 en milisegundos

**Figura 64**

En 1998, el Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS) registró una fuerte aceleración de la rotación terrestre. Fuente de datos: Centro de Orientación de la Tierra, Observatorio de París. Duración del día - Parámetros de orientación de la Tierra: https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223

**Figura 65**

La estación gravimétrica de Medicina (Italia) registró un salto repentino de la gravedad terrestre en 1997-1998. Fuente: Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C. y Ghirotti, M. (2003). Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations [Influencia de los efectos de consolidación y expansión térmica del suelo en las variaciones de altura y gravedad]. *Journal of Geodynamics*, 35(4-5), 521-539. [https://doi.org/10.1016/s0264-3707\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/s0264-3707(03)00012-7)

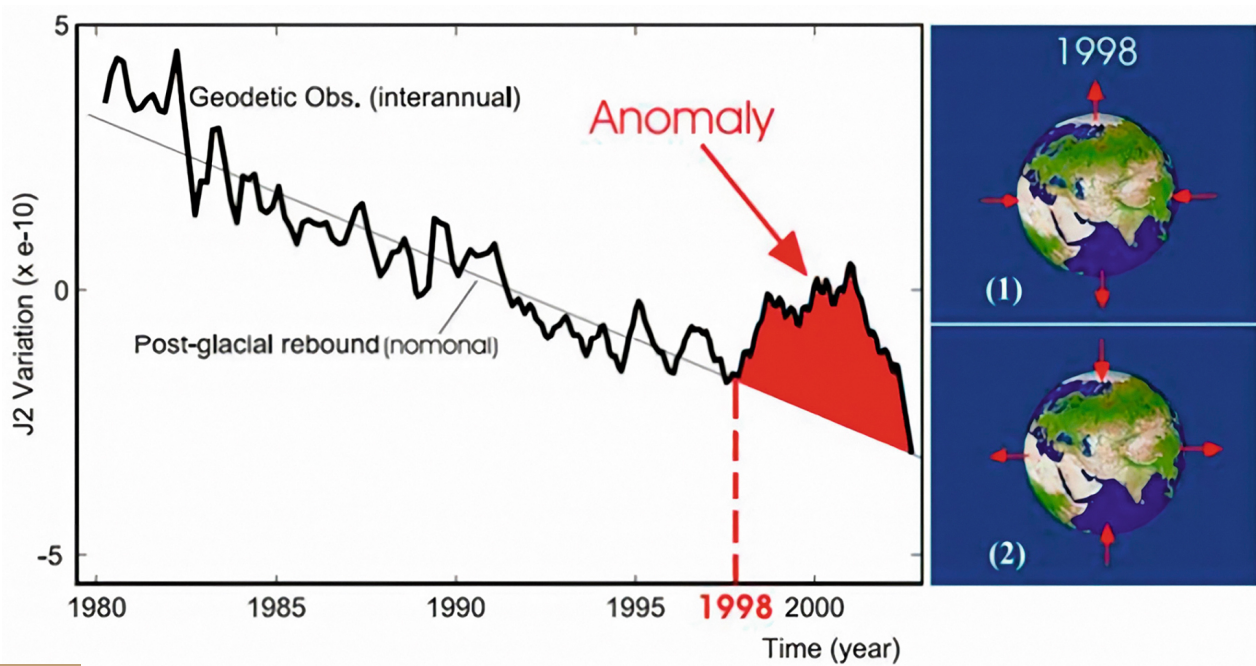


Figura 66

En 1998, según los datos obtenidos por el sistema de telémetro láser Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite (DORIS), Francia, se observó un cambio brusco en la forma de la Tierra: aumentó de volumen.

Fuente: Cox, C. y Chao, B. F. (2002). Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998 [Detección de una redistribución de masas a gran escala en el sistema terrestre desde 1998]. *Science*, 297(5582), 831-833.

<https://doi.org/10.1126/science.1072188>

Según el Profesor Yuri Barkin, Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas, Profesor Gennadi Smolkov⁵⁴, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor Mikhail Arushanov⁵⁵, Doctor en Ciencias Geográficas, Victor Khain⁵⁶, Doctor en Ciencias Geológicas y Mineralógicas, Académico de la Academia de Ciencias de Rusia y Profesor Honorario de la Universidad Estatal Lomonosov de Moscú, y muchos otros investigadores, el

desplazamiento del núcleo provocó cambios en todas las capas de la Tierra.

Un desplazamiento considerable del núcleo de la Tierra, cuyo tamaño es comparable al de la Luna, plantea la cuestión de la naturaleza y la escala de la influencia o las fuerzas capaces de provocar tales cambios en la estructura interna del planeta.

⁵⁴ Barkin, Yu. V. y Smolkov, G. Ya. (2013). Skachkoobraznye izmeneniya trendov geodinamicheskikh i geofizicheskikh yavleniy v 1997-1998 gg [Cambios bruscos en las tendencias de los fenómenos geodinámicos y geofísicos en 1997-1998]. En la Conferencia de toda Rusia sobre Física Solar-Terrestre, dedicada al centenario del nacimiento del Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias de Rusia Stepanov V. E. (16-21 de septiembre de 2013, Irkutsk), Irkutsk, 2013.

⁵⁵ Arushanov, M. L. (2023). Prichiny izmeneniya klimata zemli, kak rezul'tat kosmicheskogo vozdeystviya, razveivayushchee mif ob antropogennom global'nom poteplenii [Causas del cambio climático de la Tierra como resultado de la influencia espacial, disipando el mito sobre el calentamiento global antropogénico]. *Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft*, 53, 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>

⁵⁶ Khalilov, E. (Ed.). (2010). Global changes of the environment: Threatening the progress of civilization [Cambios globales del medio ambiente: amenaza para el progreso de la civilización]. *GEOCHANGE: Problems of Global Changes of the Geological Environment*, 1, Londres, ISSN 2218-5798.

Interconexiones entre los procesos geodinámicos y climáticos

Resumiendo los hechos anteriores, puede afirmarse que en las últimas décadas han empezado a producirse los siguientes cambios anómalos en diversas capas de la Tierra:

1. Cambio de los parámetros geofísicos del planeta

Aceleración anormal de la rotación de la Tierra desde 1995.

Desplazamiento brusco y aceleración de la deriva del eje de rotación del planeta en 1995.

2. Cambio de los parámetros geomagnéticos del núcleo terrestre

Aceleración repentina de la deriva del polo magnético norte en 1995.

Disminución de la intensidad del campo magnético; aumento del área de anomalías magnéticas.

3. Núcleo

Aceleración del flujo de hierro líquido en el núcleo externo desde 1995.

En 1997-1998, fuerte desplazamiento del núcleo interno a lo largo de la línea que va de la Antártida Occidental a Siberia Occidental, hacia la península de Taimyr.

4. Manto

Aumento drástico del número de terremotos de foco profundo a profundidades entre 300 y 750 km desde 1995.

5. Litosfera

Aumento de la actividad sísmica desde 1995; aparición de terremotos en regiones donde nunca antes se habían registrado.

Actividad volcánica y magmática anormal; cambios en la composición de las lavas expulsadas.

Derretimiento acelerado de los glaciares de abajo hacia arriba debido al aumento del calor procedente del interior, por encima de las plumas de magma desde 1995.

6. Océano

Aumento sin precedentes de las temperaturas de la superficie del océano y de la evaporación del agua oceánica.

7. Atmósfera

Enfriamiento de la estratosfera y la mesosfera; adelgazamiento de la termosfera; disminución de las concentraciones de oxígeno atómico y molecular en las distintas capas de la atmósfera. Aumento de la temperatura global del aire en la troposfera.

Aumento extremo de la potencia y el número de huracanes, inundaciones, incendios forestales, sequías y tornados.

Este informe presenta un modelo que ilustra la interacción entre los procesos geodinámicos y climáticos. El modelo se desarrolló para explicar la alteración simultánea del equilibrio en todas las capas de la Tierra y la aparición de anomalías en la geodinámica del planeta. Este fenómeno va acompañado de una mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos en la superficie terrestre. Un aspecto importante del modelo es subrayar el vínculo de estos procesos con la amenaza que suponen las actividades antropogénicas.

Al parecer, el núcleo está experimentando actualmente un desequilibrio y se está calentando, lo que se manifestó en una aceleración del flujo de hierro líquido en el núcleo externo en 1995 y un desplazamiento del núcleo interno en 1998. Esta aceleración del flujo de hierro líquido en el núcleo externo fue precisamente la razón por la que el polo norte magnético comenzó a desplazarse mucho más rápidamente. Según la hipótesis, el desplazamiento del núcleo provoca una aceleración de la rotación del planeta; la fuerza centrífuga del planeta y la deformación a lo largo del ecuador aumentan. Debido al aumento de la fuerza centrífuga, el magma en el manto comienza a ascender bruscamente hacia la superficie terrestre, erosionando y calentando la litosfera desde el interior más de lo habitual. La corteza oceánica es más delgada, por lo que es más susceptible a la presión del magma ascendente. Se supone que la intrusión del magma se produce por todo el fondo oceánico.

El contenido térmico de las aguas oceánicas está aumentando, y en el océano aparecen zonas anómalas con una temperatura elevada del agua del mar. Presumiblemente, es el magma ascendente el que provoca un aumento del flujo geotérmico desde el interior del planeta y un ascenso de las plumas de magma bajo los glaciares de la Antártida Occidental y el centro de Groenlandia, lo que acelera el deshielo de los glaciares de abajo arriba, en conjunción con las emisiones de gases de efecto invernadero. La temperatura de las aguas subterráneas está aumentando en Siberia Occidental y otras regiones con una corteza terrestre delgada. Es evidente que el ascenso del magma está provocando la activación de procesos volcánicos, sísmicos y tectónicos, y también es probable que aumente la frecuencia y la escala de fenómenos climáticos catastróficos como precipitaciones anormales, mayor frecuencia de huracanes, inundaciones e incendios forestales. Según el modelo, como consecuencia de los cambios en el núcleo, el campo magnético se está debilitando intensamente, lo que provoca cambios en las capas superiores de la atmósfera, su adelgazamiento y enfriamiento, y una disminución de las concentraciones de oxígeno debido a una penetración más intensa del viento solar. Estos factores, a su vez, probablemente se manifiesten en auroras boreales anómalas y atípicas.

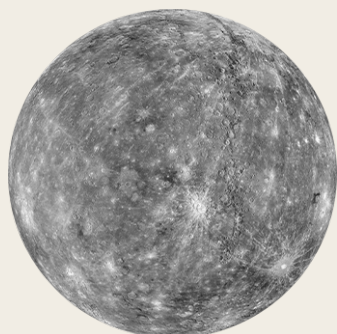
Cambios en otros planetas del sistema solar

Según las observaciones, en otros planetas del sistema solar, incluso en planetas “muertos”, comenzaron a producirse los mismos procesos en sus interiores de forma sincronizada con la Tierra: ha habido una aparición de actividad volcánica, actividad sísmica así como anomalías magnéticas. Según la hipótesis descrita en este informe, esto sólo puede ocurrir en el caso de que en los núcleos de los planetas del sistema solar se produzcan cambios similares a los que ocurren en la Tierra.

Como ya se ha señalado, se necesitan enormes cantidades de energía adicional para alterar la posición del núcleo interno y acelerar el

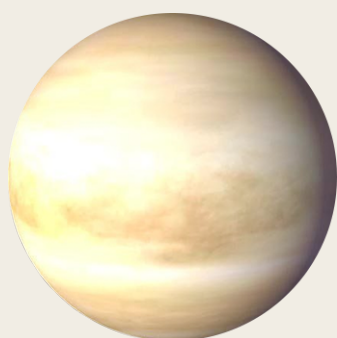
flujo de hierro en el núcleo externo. Es probable que esta energía comenzara a entrar en el sistema terrestre en cantidades significativas en 1995. Por lo tanto, los cambios sincronizados en otros planetas del sistema solar sugieren que existe alguna influencia cósmica externa que afecta a los núcleos de los planetas.

Las siguientes imágenes infográficas muestran los cambios sincronizados que se han producido en los planetas del sistema solar y sus satélites en las últimas décadas. Se proporcionan enlaces a fuentes científicas relevantes para confirmar y complementar esta información.



MERCURIO

2011-2015 19 CAMBIOS DE LA SUPERFICIE EN MERCURIO DEBIDOS A LA ACTIVIDAD ENDÓGENA
[DOI: 10.1029/2022GL100783](https://doi.org/10.1029/2022GL100783)



VENUS

2006-2012 INTENSIFICACIÓN DE LOS VIENTOS
[DOI: 10.1016/j.icarus.2013.05.018](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.05.018)

2006-2009 SE DESCUBRIERON PUNTOS CALIENTES MAGMÁTICOS
[DOI: 10.1126/science.1186785](https://doi.org/10.1126/science.1186785)

2012-2018 AUMENTA LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA
[DOI: 10.1051/0004-6361/201833511](https://doi.org/10.1051/0004-6361/201833511)

2020 UNA INVESTIGACIÓN REALIZADA EN 2020 CONFIRMÓ QUE VENUS TIENE ACTUALMENTE ACTIVIDAD VOLCÁNICA

[DOI: 10.1126/sciadv.aax7445](https://doi.org/10.1126/sciadv.aax7445)

[DOI: 10.3847/PSJ/ab8faf](https://doi.org/10.3847/PSJ/ab8faf)

[DOI: 10.1038/s41550-020-1174-4](https://doi.org/10.1038/s41550-020-1174-4)



TIERRA

- 1995** ACELERACIÓN DE LA DERIVA DEL POLO MAGNÉTICO NORTE
[DOI: 10.19080/IJESNR.2022.29.556271](https://doi.org/10.19080/IJESNR.2022.29.556271)
- DESDE 1995** LA ACTIVIDAD DE LOS HURACANES EN EL ATLÁNTICO HA AUMENTADO SIGNIFICATIVAMENTE
[DOI: 10.1038/nature06422](https://doi.org/10.1038/nature06422)
- 1997** (28 DE FEBRERO M7 Y 10 DE MAYO M6) TERREMOTOS EN IRÁN: MÁS DE 2.600 MUERTOS
- 1998** (4 DE FEBRERO Y 30 DE MAYO) TERREMOTOS EN AFGANISTÁN: MÁS DE 7.000 MUERTOS
- 1998** LA INUNDACIÓN MÁS GRAVE DE LA HISTORIA DE BANGLADESH: 65% DEL TERRITORIO DEL PAÍS INUNDADO
- 1998** DESLIZAMIENTO DE TIERRA EN MALPA, INDIA
- 26.05.1998** OLA DE CALOR EXTREMA QUE ALCANZA LOS 50°C EN LA INDIA
- 30.05.1998** TERREMOTO DE MAGNITUD 7 EN AFGANISTÁN
- 17.07.1998** TERREMOTO DE MAGNITUD 7 Y TSUNAMI DE 15 METROS EN PAPÚA NUEVA GUINEA
<https://pubs.usgs.gov/publication/70022643>
- JULIO DE 1998** LAS FUERTES LLUVIAS EN CHINA DESTRUYERON 2,9 MILLONES DE HOGARES Y DEVASTARON MÁS DE 9 MILLONES DE HECTÁREAS DE CULTIVOS
https://earth.esa.int/web/earth-watching/natural-disasters/floods/content/-/asset_publisher/zaop2IUloYKv/content/flood-yangtze-china-july-1998/
- 1997-1998** DESPLAZAMIENTO DEL NÚCLEO DEL PLANETA
Zotov L.V., Barkin Yu.V., Lyubushin A.A. (2009)
- 1998** CAMBIO DE LA FORMA DE LA TIERRA (COEFICIENTE J2)
[DOI: 10.1126/science.1072188](https://doi.org/10.1126/science.1072188)
- 2004** TSUNAMI EN INDONESIA
[DOI:10.1785/gssrl.76.3.312](https://doi.org/10.1785/gssrl.76.3.312) and [DOI:10.1186/s40562-014-0015-7](https://doi.org/10.1186/s40562-014-0015-7)
- 2005** TEMPORADA DE HURACANES CON MAYOR ÍNDICE DE ENERGÍA CICLÓNICA ACUMULADA (ACE)
[DOI:10.1175/2007MWR2074.1](https://doi.org/10.1175/2007MWR2074.1)
- 2005** HURACÁN KATRINA
[DOI:10.1257/jep.22.4.135](https://doi.org/10.1257/jep.22.4.135)



TIERRA

- 2008** **TERREMOTO EN CHINA**
[DOI:10.19044/esj.2023.v19n13p49](https://doi.org/10.19044/esj.2023.v19n13p49)
- 2010** **TERREMOTO EN HAITÍ**
[DOI:10.1029/2011GL049799](https://doi.org/10.1029/2011GL049799)
- 2011** **TERREMOTO EN JAPÓN. DETECTADO UN CAMBIO DE GRAVEDAD CO-SÍSMICO A LO LARGO DE LA COSTA ESTE JAPONESA**
[DOI:10.1016/j.geog.2015.10.002](https://doi.org/10.1016/j.geog.2015.10.002)
- 1979-2017** **INTENSIFICACIÓN EN LA ACTIVIDAD DE LOS HURACANES**
[DOI:10.1073/pnas.1920849117](https://doi.org/10.1073/pnas.1920849117)
- 2012-2017** **ANOMALÍAS EN LA VELOCIDAD DE ROTACIÓN DE LA TIERRA QUE SE CORRELACIONAN CON FUERTES TERREMOTOS**
[DOI:10.1016/j.geog.2019.06.002](https://doi.org/10.1016/j.geog.2019.06.002)
- 2020** **LA TEMPORADA DE HURACANES MÁS ACTIVA REGISTRADA EN EL ATLÁNTICO NORTE (EN TÉRMINOS DE CANTIDAD)**
[DOI:10.3390/atmos13121945](https://doi.org/10.3390/atmos13121945)
- 2016-2023** **ACELERACIÓN DE LA ROTACIÓN DE LA TIERRA**
datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOP-C04_14_62-NOW_IAU1980-LOD&id=223
- 2021-2022** **COMPOSICIÓN QUÍMICA Y PROPIEDADES ANÓMALAS DE LA LAVA. PROCEDE DE GRANDES PROFUNDIDADES. ERUPCIONES ANORMALMENTE RÁPIDAS**
[DOI:10.1038/s41586-022-04981-x](https://doi.org/10.1038/s41586-022-04981-x)
[DOI:10.1038/s41467-022-30905-4](https://doi.org/10.1038/s41467-022-30905-4) [DOI:10.1029/2023GL102763](https://doi.org/10.1029/2023GL102763)



LUNA

- 1997-1998** **DESPLAZAMIENTO DEL NÚCLEO LUNAR**
[DOI:10.18698/2308-6033-2014-10-1335](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2014-10-1335)
- 2022** **SE DETECTA UNA ANOMALÍA TÉRMICA EN LA REGIÓN COMPTON-BELKOVICH**
[DOI:10.1038/s41586-023-06183-5](https://doi.org/10.1038/s41586-023-06183-5)
- 2023** **ANOMALÍA TÉRMICA DEL SUELO LUNAR EN EL POLO SUR**
isro.gov.in/Ch3_first_observation_ChaSTE_Vikram_Lander.html
- 26.08.2023** **SE DETECTÓ UN TERREMOTO LUNAR**
https://www.isro.gov.in/Ch3_ILSA_Listens_Landing_Site.html



MARTE

- 2003-2006** SE DETECTARON EMISIONES ACTIVAS DE METANO PROCEDENTES DEL INTERIOR DE MARTE
[DOI:10.1126/science.1165243](https://doi.org/10.1126/science.1165243)
- 2014-2020** SE DETECTARON EMISIONES ACTIVAS DE METANO PROCEDENTES DEL INTERIOR DE MARTE
[DOI:10.1029/2021EA001915](https://doi.org/10.1029/2021EA001915)
- 2004** OBSERVADO POR PRIMERA VEZ UN NUEVO TIPO DE AURORA MARCIANA EN EL HEMISFERIO SUR
[DOI:10.1038/nature03603](https://doi.org/10.1038/nature03603)
- 2005** ENCOGIMIENTO REPENTINO DEL CASQUETE POLAR SUR
[DOI:10.1007/978-1-4614-4608-8_10](https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4608-8_10)
- 2014-2021** SE REGISTRARON 278 AURORAS POLARES DISCRETAS EN MARTE
[DOI:10.1029/2021JA029495](https://doi.org/10.1029/2021JA029495)
- 2015** DESCUBRIMIENTO DE AURORAS DE PROTONES
[DOI:10.1038/s41550-018-0538-5](https://doi.org/10.1038/s41550-018-0538-5)
- 2018** DESCUBIERTA AGUA LÍQUIDA BAJO LA CAPA DE HIELO DEL POLO SUR
[DOI:10.1029/2018GL080985](https://doi.org/10.1029/2018GL080985)
- 2019-2021** SE PRODUJERON MÁS DE 1.300 MARTEMOTOS
[DOI:10.1029/2022JE007503](https://doi.org/10.1029/2022JE007503)
- 2019-2020** MARTEMOTOS REPETITIVOS DE BAJA FRECUENCIA VINCULADOS A LA ACTIVIDAD VOLCÁNICA BAJO LA CERBERUS FOSSAE
[DOI:10.1038/s41467-022-29329-x](https://doi.org/10.1038/s41467-022-29329-x)
- 2022** EVIDENCIAS GEOFÍSICAS DE UNA PLUMA DEL MANTO GIGANTE BAJO ELYSIUM PLANITIA
[DOI:10.1038/s41550-022-01836-3](https://doi.org/10.1038/s41550-022-01836-3)
- 4.06.2022** EL MAYOR MARTEMOTO DETECTADO DE M4,7
[DOI:10.1029/2023GL103619](https://doi.org/10.1029/2023GL103619)
- 2022** LAS AURORAS BOREALES ABARCARON LA MITAD DEL PLANETA
twitter.com/HopeMarsMission/status/1519311155768008704



JÚPITER

- 1992-1996, 2005-2007** SE INTENSIFICÓ UNA ANOMALÍA MAGNÉTICA EN EL HEMISFERIO NORTE DE JÚPITER
[DOI:10.1029/2008JA013185](https://doi.org/10.1029/2008JA013185)
- 2000-2001** EL CALOR INTERNO DE JÚPITER AUMENTÓ UN 37% DESDE 1980, CUANDO SE REALIZARON LAS INVESTIGACIONES DE LAS VOYAGER. Y ESTE CALENTAMIENTO INTERNO ES MAYOR QUE LA ENERGÍA RECIBIDA DEL SOL
[DOI:10.1038/s41467-018-06107-2](https://doi.org/10.1038/s41467-018-06107-2)
- 2005-2006** POR PRIMERA VEZ, SE FORMÓ OTRA POTENTE MANCHA ROJA, JUNIOR
[DOI:10.1088/0004-6256/135/6/2446](https://doi.org/10.1088/0004-6256/135/6/2446)
- 2009-2020** LAS VELOCIDADES DEL VIENTO DENTRO DE LA GRAN MANCHA ROJA AUMENTARON UN 8%
[DOI:10.1029/2021GL093982](https://doi.org/10.1029/2021GL093982)
- 2012** EL CALENTAMIENTO ANÓMALO DE LA ATMÓSFERA SUPERIOR DE JÚPITER SOBRE LA GRAN MANCHA ROJA ES IMPULSADO DESDE ABAJO
[DOI:10.1038/nature18940](https://doi.org/10.1038/nature18940)
- 2016-2020** SE REGISTRARON RELÁMPAGOS ANÓMALOS EN LAS CAPAS ALTAS DE LA ATMÓSFERA
[DOI:10.1029/2020JE006659](https://doi.org/10.1029/2020JE006659)
- 2017** DETECTADO UN FUERTE CORRIENTE EN CHORRO ECUATORIAL
[DOI:10.1051/0004-6361/202141523](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141523)
- 2017** EL CAMPO MAGNÉTICO DE JÚPITER SUFRIÓ CAMBIOS GLOBALES EN COMPARACIÓN CON LA DÉCADA DE 1980, ESPECIALMENTE EN LA REGIÓN DE LA GRAN MANCHA AZUL
[DOI:10.1038/s41550-019-0772-5](https://doi.org/10.1038/s41550-019-0772-5)
- 2019** APARECIÓ OTRO HURACÁN EN EL POLO SUR, CUANDO SIEMPRE SÓLO HABÍA 5 HURACANES ALLÍ
nasa.gov/missions/juno/nasas-juno-navigators-enable-jupiter-cy-clone-discovery
- 2022** DETECTADO UN ESTRECHO CORRIENTE EN CHORRO ESTRATOSFÉRICO ECUATORIAL CON VIENTOS DE UNOS 515 KM/H
[DOI:10.1038/s41550-023-02099-2](https://doi.org/10.1038/s41550-023-02099-2)



ÍO

DÉCADA DE 2000

EL CICLO ERUPTIVO DEL VOLCÁN MÁS GRANDE DE ÍO, LOKI, SE INTERRUMPIÓ, COMENZÓ A ENTRAR EN ERUPCIÓN CON MÁS FRECUENCIA

[EPSC Abstracts Vol. 13, EPSC-DPS2019-769-1, 2019](#)

2003-2005

ERUPCIONES DE 4 NUEVOS VOLCANES JÓVENES

[DOI:10.1016/j.icarus.2015.12.054](#)

**2000, 2006,
2007**

GRANDES ERUPCIONES DEL VOLCÁN TVASHTAR

[DOI:0.1126/science.1147621](#)

2013-2018

DESCUBIERTOS NUEVOS PUNTOS CALIENTES Y ERUPCIONES ÚNICAS

[DOI:10.3847/1538-3881/ab2380](#)

[DOI:10.1016/j.icarus.2014.06.006](#)

[DOI:10.1016/j.icarus.2014.06.016](#)

[DOI:10.1016/j.icarus.2016.06.019](#)

2016-2022

DESCUBIERTOS SIETE NUEVOS EVENTOS VOLCÁNICOS MÁS ENERGÉTICOS

[DOI:10.3847/PSJ/acf57e](#)

2022

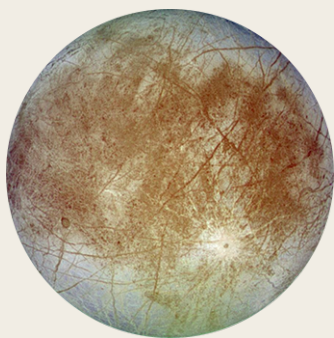
POTENTES ERUPCIONES VOLCÁNICAS

[DOI:10.1029/2023JE007872](#)

2022

DESCUBIERTO UN OCÉANO DE MAGMA SUBTERRÁNEO

[DOI:10.3847/PSJ/ac9cd1](#)



EUROPA

1997

PRIMERA EVIDENCIA DE UN PENACHO SURGIDO DEBIDO AL CALENTAMIENTO

[DOI:10.1038/s41550-018-0450-z](#)

2000

NO SE DETECTA ACTIVIDAD GEOLÓGICA IMPORTANTE POR COMPARACIÓN DE IMÁGENES DE SUPERFICIE DE VOYAGER Y GALILEO

[DOI:10.1029/1999je001139](#)

2016-2017

SE DESCUBRIÓ VAPOR DE AGUA POR ENCIMA DE LA SUPERFICIE

[DOI:10.1038/s41550-019-0933-6](#)

2018

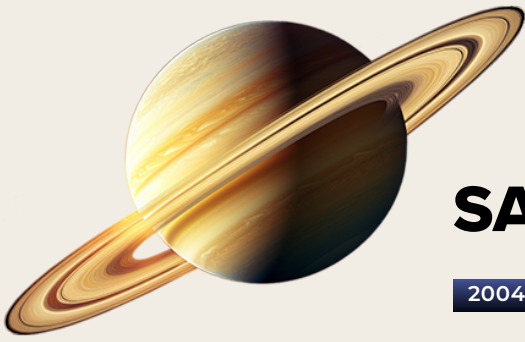
ANOMALÍAS TÉRMICAS SUPERFICIALES DETECTADAS MEDIANTE OBSERVACIONES DE ALMA

[DOI:10.3847/1538-3881/aada87](#)

2022

DETECTADO DIÓXIDO DE CARBONO ENDÓGENO EN EUROPA

[DOI:10.1126/science.adg4270](#)



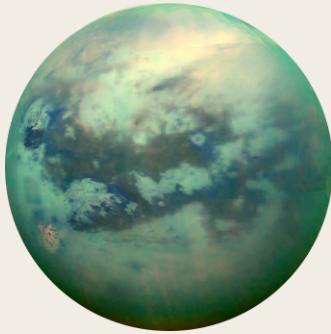
SATURNO

- 2004-2006** SE OBSERVARON TORMENTAS ELÉCTRICAS
[DOI:10.1016/j.icarus.2007.03.035](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2007.03.035)
- 2004** SE DESCUBRIÓ UN “PUNTO CALIENTE” EN EL POLO SUR DE SATURNO
[DOI:10.1126/science.1105730](https://doi.org/10.1126/science.1105730)
- 2006** AMPLIA ZONA DE AURORAS BOREALES
science.nasa.gov/resource/saturns-polar-aurora
- 2007-2010** UNA CADENA DE 23-26 CICLONES
[DOI:10.1016/j.icarus.2013.10.032](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2013.10.032)
- 2010** SE PRODUJO UNA GRAN TORMENTA BLANCA QUE RODEÓ AL PLANETA. LAS CONSECUENCIAS SE MANIFESTARON EN UN PLAZO DE 3 AÑOS
[DOI:10.1016/j.icarus.2012.12.013](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.12.013)
[DOI:10.1038/s41550-017-0271-5](https://doi.org/10.1038/s41550-017-0271-5)
- 2011** SE PRODUJO UN VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO
[DOI:10.1016/j.icarus.2012.08.024](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.08.024)
- 2018** UN NUEVO TIPO INTERMEDIO DE TORMENTAS
[DOI:10.1038/s41550-019-0914-9](https://doi.org/10.1038/s41550-019-0914-9)
- 2020** UNA TORMENTA CONVECTIVA POR PRIMERA VEZ CERCA DE LATITUDES POLARES, Y UN NUEVO EPISODIO DE TORMENTAS ESTE AÑO
[DOI:10.1029/2021GL092461](https://doi.org/10.1029/2021GL092461)



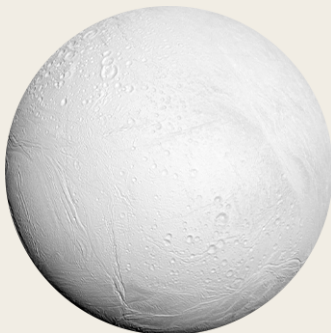
URANO

- 1999, 2004, 2005, 2011** DETECCIÓN DE CARACTERÍSTICAS BRILLANTES DE LAS NUBES
[DOI:10.1016/j.icarus.2004.11.016](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2004.11.016)
[DOI:10.1016/j.icarus.2012.04.009](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2012.04.009)
- 2011** SE FORMÓ UN VÓRTICE ESTRATOSFÉRICO
[DOI:10.1016/j.icarus.2014.12.037](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.12.037)
- 2014** ACTIVIDAD RÉCORD DE LAS TORMENTAS
[DOI:10.1016/j.icarus.2014.12.037](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2014.12.037)
- 2014** TEMPERATURA ATMOSFÉRICA MÁXIMA PARA OBSERVACIONES INDIVIDUALES
[DOI:10.1098/rsta.2018.0408](https://doi.org/10.1098/rsta.2018.0408)
- 2014** EL NÚMERO DE PATRONES NUBOSOS SIGNIFICATIVAMENTE MAYOR QUE EN AÑOS ANTERIORES
[DOI:10.1016/j.icarus.2015.05.029](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2015.05.029)
- 2021, 2022** INTENSIFICACIÓN DEL CICLÓN POLAR DEL NORTE
[DOI:10.1029/2023GL102872](https://doi.org/10.1029/2023GL102872)



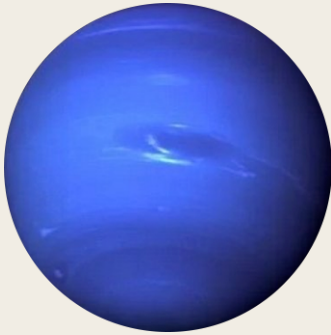
TITÁN

- 1995, 2004, 2008** ESTALLIDO REPENTINO DE NUBES - ACTIVIDAD TORMENTOSA
[DOI:10.1038/26920](https://doi.org/10.1038/26920) [DOI:10.1038/nature08193](https://doi.org/10.1038/nature08193)
[DOI:10.1016/j.icarus.2005.12.021](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2005.12.021)
- 2009** OBSERVACIÓN DE TORMENTAS DE POLVO
[DOI:10.1038/s41561-018-0233-2](https://doi.org/10.1038/s41561-018-0233-2)
- 2009** SE FORMÓ UN VÓRTICE POLAR QUE EN 2010-2011 PRODUJO UN PUNTO CALIENTE MESOSFÉRICO Y PROVOCÓ UN ENFRIAMIENTO EXTREMO DE LA MESOSFERA
[DOI:10.1038/s41467-017-01839-z](https://doi.org/10.1038/s41467-017-01839-z)
- 2010** TORMENTA “ARRAW” CERCA DEL ECUADOR
[DOI:10.1038/ngeo1219](https://doi.org/10.1038/ngeo1219)
- 2012** EVIDENCIAS DE VULCANISMO QUE PUEDEN ESTAR OCURRIENDO EN LA ACTUALIDAD
[DOI:10.1029/2019JE006036](https://doi.org/10.1029/2019JE006036)
- 2016** EL PRIMER EVENTO DE PRECIPITACIÓN DOCUMENTADO (LLUVIA DE METANO), QUE CUBRE UN ÁREA DE 120.000 KM²
[DOI:10.1029/2018GL080943](https://doi.org/10.1029/2018GL080943)



ENCÉLADO

- 2005** SE DESCUBRIÓ UN PUNTO CALIENTE POLAR SUR
[DOI:10.1126/science.1121661](https://doi.org/10.1126/science.1121661)
- 2005** SE DESCUBRIÓ UN SISTEMA DE PRODUCCIÓN Y TRANSPORTE DE CALOR POR DEBAJO DEL TERRENO POLAR SUR
[DOI:10.1038/s41550-017-0063](https://doi.org/10.1038/s41550-017-0063)
- 2022** EL ANÁLISIS DEL FLUJO DE CALOR DE ENCÉLADO MOSTRÓ SU ORIGEN ENDÓGENO
[DOI:10.5194/epsc2022-219](https://doi.org/10.5194/epsc2022-219)
- 2023** EL EQUIPO DEL TELESCOPIO WEBB DE LA NASA OBSERVÓ UN NUEVO GRAN PENACHO QUE ABARCA MÁS DE 6.000 MILLAS
nasa.gov/solar-system/webb-maps-surprisingly-large-plume-jetting-from-saturns-moon-enceladus



NEPTUNO

2015 DESCUBIERTO UN NUEVO VÓRTICE OSCURO QUE SE OBSERVÓ HASTA 2017

[DOI:10.3847/1538-3881/aaa6d6](https://doi.org/10.3847/1538-3881/aaa6d6)

2017 SE FORMÓ UNA TORMENTA ECUATORIAL

[DOI:10.1016/j.icarus.2018.11.018](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2018.11.018)

2018 FORMACIÓN DE UNA NUEVA GRAN MANCHA OSCURA

[DOI:10.1029/2019GL081961](https://doi.org/10.1029/2019GL081961)

2018-2020 AUMENTO ANÓMALO DE TEMPERATURA, CALENTAMIENTO DRAMÁTICO DEL POLO SUR

[DOI:10.3847/PSJ/ac5aa4](https://doi.org/10.3847/PSJ/ac5aa4)



PLUTÓN

2002 LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA SE HA DUPLICADO DESDE 1988

[DOI:10.1038/nature01762](https://doi.org/10.1038/nature01762)

2015 DETECCIÓN DE CO Y HCN EN LA ATMÓSFERA

[DOI:10.1016/j.icarus.2016.10.013](https://doi.org/10.1016/j.icarus.2016.10.013)

2015 LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA ALCANZÓ SU MÁXIMO, LUEGO DISMINUYÓ LIGERAMENTE Y, EN 2020, ERA CASI EQUIVALENTE A LOS NIVELES OBSERVADOS EN 2015

[DOI:10.1051/0004-6361/202141718](https://doi.org/10.1051/0004-6361/202141718)

2015 SE HALLARON NUMEROSOS RASGOS CRIOVOLCÁNICOS EN LA SUPERFICIE

[DOI:10.1038/s41467-022-29056-3](https://doi.org/10.1038/s41467-022-29056-3)

2019 DESCUBIERTO UN OCÉANO SUBTERRÁNEO

[DOI:10.1038/s41561-019-0369-8](https://doi.org/10.1038/s41561-019-0369-8)



SOL

- 4.08.1972**

UNA GRAN LLAMARADA SOLAR INTERRUPIÓ LAS COMUNICACIONES A LARGA DISTANCIA EN ALGUNOS ESTADOS DE EE. UU

[DOI:10.1029/2018SW002024](https://doi.org/10.1029/2018SW002024)
- 13.03.1989**

THE LARGEST MAGNETIC STORM OF THE 20TH CENTURY. AURORAS COULD BE SEEN AS FAR SOUTH AS CUBA AND FLORIDA

[DOI:10.1029/2019SW002278](https://doi.org/10.1029/2019SW002278)
- 14.07.2000**

LLAMARADA SOLAR. LOS SATÉLITES EN ÓRBITA SUFRIERON CORTOCIRCUITOS, ALGUNAS ESTACIONES DE RADIO SE APAGARON

[DOI:10.1029/2002GL014729](https://doi.org/10.1029/2002GL014729)
- 28-31.10.2003**

SUPERTORMENTA GEOMAGNÉTICA. INTERRUPIÓ LOS SISTEMAS DE SATÉLITES Y AVERIÓ UNA PARTE DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA DE ALTA TENSIÓN EN EL SUR DE SUECIA

[DOI:10.1029/2004SW000123](https://doi.org/10.1029/2004SW000123)
- SEPTIEMBRE DE 2005**

UNA POTENTE TORMENTA GEOMAGNÉTICA QUE AFECTÓ A LA TEMPERATURA Y COMPOSICIÓN DE LA MESOSFERA Y LA TERMOSFERA

[DOI:10.1029/2018JA025294](https://doi.org/10.1029/2018JA025294)
- 5.12.2006**

LLAMARADA SOLAR UNAS 10 VECES MAYOR QUE CUALQUIER EVENTO REPORTADO ANTERIORMENTE. SE PRODUJO CERCA DEL MÍNIMO SOLAR. EL SISTEMA GPS SE VIO SIGNIFICATIVAMENTE AFECTADO

[DOI:10.1029/2007SW000375](https://doi.org/10.1029/2007SW000375)
- 23.07.2012**

DOS GRANDES EYECCIONES DE MASA CORONAL HACIA LA ÓRBITA TERRESTRE. LA POTENCIA DE LA TORMENTA SUPERÓ LAS ESTIMACIONES DE LA TORMENTA CARRINGTON DE 1859

[DOI:10.1002/swe.20097](https://doi.org/10.1002/swe.20097)
- 21.06.2015**

LA TORMENTA GEOMAGNÉTICA APAGÓ LAS SEÑALES DE RADIO EN LAS AMÉRICAS DEL NORTE Y DEL SUR

[DOI:10.1007/s11207-018-1303-8](https://doi.org/10.1007/s11207-018-1303-8)
- 6.09.2017**

REGISTRADA LA LLAMARADA MÁS POTENTE DEL CICLO SOLAR 24 REGISTRADA

[DOI:10.1029/2018SW001969](https://doi.org/10.1029/2018SW001969)
- DICIEMBRE DE 2019**

EL CICLO 24 HA TERMINADO, EL CICLO 25 HA COMENZADO

weather.gov/news/201509-solar-cycle
- 2022**

SPACEX STARLINK PERDIÓ 38 SATÉLITES DURANTE SU PUESTA EN ÓRBITA DEBIDO A LA TORMENTA GEOMAGNÉTICA POR EYECCIÓN DE MASA CORONAL DEL 29 DE ENERO

[DOI:10.1029/2022SW003193](https://doi.org/10.1029/2022SW003193)
- 2023**

SE DESCUBRIÓ QUE LAS TORMENTAS SOLARES PROVOCAN RETRASOS ADICIONALES EN LOS VUELOS, QUE NO HARÁN SINO AUMENTAR EN LOS PRÓXIMOS AÑOS

[DOI:10.1038/s41598-023-30424-2](https://doi.org/10.1038/s41598-023-30424-2)
- 22.06.2023**

EL NÚMERO DIARIO DE MANCHAS SOLARES (240) SUPERÓ EL MÁXIMO DEL CICLO 24 (220)

sidc.be/silso/dayssnplot

Las suposiciones de que tales fenómenos en nuestro sistema solar están causados por la actividad solar no están respaldadas por los hechos. Los cambios anómalos en los planetas del sistema solar y sus satélites comenzaron durante el período de mínimo solar en 1995, es decir, cuando la actividad solar estaba en su mínimo. Un diagrama de los ciclos de actividad solar en la Figura 67 muestra que en 1995 el Sol estaba en su actividad mínima, por lo que no pudo haber causado todos estos cambios.

Por lo tanto, el Sol no podría haber tenido tal impacto en otros planetas. Además, de todo el sistema solar, el Sol fue el último en reaccionar a las influencias cósmicas, muy probablemente debido a su inmensa masa. Dado que los cambios se producen de forma sincronizada en todos los planetas del sistema solar, así como en el Sol, es lógico suponer que existe un determinado factor procedente del espacio cercano o profundo que desencadena la aparición de una gran cantidad de energía en el interior de los planetas.

Esta energía surge dentro de los sistemas planetarios, concentrándose alrededor del núcleo y eludiendo otras capas de los planetas. Como resultado, según la hipótesis, los núcleos planetarios se calientan y se desplazan. Ninguna de las influencias científicas conocidas -gravitatoria, electromagnética, acústica, radiación cósmica- elude nuestros instrumentos de medición mientras incide directamente en el núcleo.

Por lo tanto, según la teoría, ninguna de las influencias mencionadas puede causar los

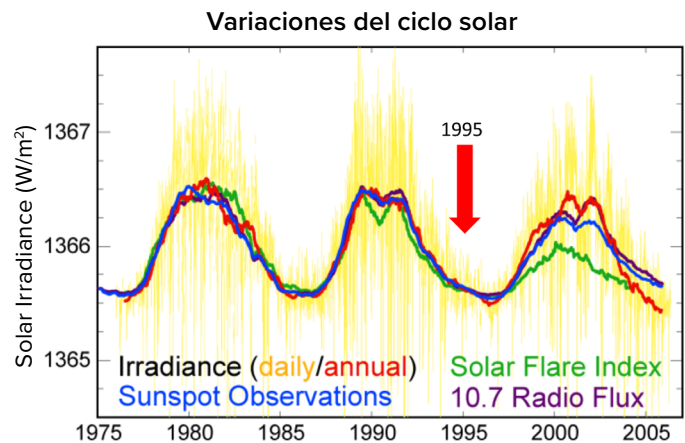


Figura 67

Variaciones del ciclo solar en los últimos 30 años. Esta figura muestra tres ciclos solares entre 1975 y 2005, medidos por la radiación solar, el número de manchas solares, la actividad de las erupciones solares y un flujo de radio de 10,7 cm. El gráfico indica claramente que en 1995 el Sol estaba en su actividad mínima, por lo que no podía ser la causa de los cambios en el núcleo de la Tierra y los núcleos de otros planetas en 1995.

Fuente: Imagen creada por Robert A.

Rohde a partir de datos publicados.

Fuente de datos: <https://www.pmodwrc.ch/en/research-development/solar-physics/tsi-composite/>

cambios que se observan actualmente en todos los planetas del sistema solar.

Basándose en los hechos expuestos, se ha desarrollado una hipótesis que sugiere que esta influencia opera sobre principios físicos inexplorados. La ciencia moderna se encuentra por primera vez con un fenómeno de este tipo. Se trata de un fenómeno no registrado oficialmente, pero cuyas manifestaciones pueden observarse. Según la hipótesis, esta energía reaviva incluso los planetas muertos donde la actividad sísmica y magmática comienza a crecer. Así lo confirma Marte, donde la actividad sísmica⁵⁷ y magmática⁵⁸ ha empezado a aumentar.

⁵⁷Dahmen, N., Clinton, J. F., Meier, M., Stähler, S., Ceylan, S., Kim, D., Stott, A. E. y Giardini, D. (2022). MarsQuakeNet: A more complete marsquake catalog obtained by deep learning techniques [MarsQuakeNet: Un catálogo de terremotos más completo obtenido mediante técnicas de aprendizaje profundo]. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127(11). <https://doi.org/10.1029/2022je007503>

Sun, W. y Tkalčić, H. (2022). Repetitive marsquakes in Martian upper mantle [Martemotos repetitivos en el manto superior marciano]. *Nature Communications*, 13, 1695. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29329-x>

Fernando, B., Daubar, I. J., Charalambous, C., Grindrod, P. M., Stott, A., Abdullah Al Ateqi, Atri, D., Ceylan, S., Clinton, J., Fillingim, M. O., Hauber, E., Hill, J. R., Kawamura, T., Li, J., Lucas, A., Lorenz, R. D., Ojha, L., Perrin, C., S. Piqueux y Stähler, S. C. Banerdt, W. B. (2023). A tectonic origin for the largest marsquake observed by InSight [El origen tectónico del mayor martemoto observado por InSight]. *Geophysical Research Letters*, 50(20). <https://doi.org/10.1029/2023gl103619>

⁵⁸Broquet, A. y Andrews-Hanna, J. C. (2022). Geophysical evidence for an active mantle plume underneath Elysium Planitia on Mars [Evidencia geofísica de una pluma del manto activa debajo de Elysium Planitia en Marte]. *Nature Astronomy*, 7, 160–169. <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01836-3>

Procesos astronómicos y su ciclicidad

Según la hipótesis, esta influencia, que consiste en un cierto tipo de energía, interactúa directa y únicamente con el núcleo interno de la Tierra, sin interactuar de ninguna manera con otras capas del planeta. Este tipo de interacción puede atribuirse al hecho de que el núcleo interno tiene una densidad extremadamente alta, y su estructura probablemente difiere de la teoría generalmente aceptada del hierro-níquel. Según la hipótesis del Dr. I.M. Belozero, Doctor en Ciencias Físicas y Matemáticas, el núcleo interno tiene una estructura completamente diferente, cercana a la estructura de una estrella de neutrones⁵⁹. Por su parte, el núcleo externo está compuesto, con toda probabilidad, de níquel, hierro y otras aleaciones metálicas. Según las suposiciones, los núcleos de otros planetas del sistema solar, incluso los gigantes gaseosos, tienen una estructura similar.

La hipótesis propuesta en este informe considera la naturaleza de esta influencia en la Tierra en un ejemplo asociativo del haz de luz de una linterna en la oscuridad. Imaginemos un haz de luz concentrado rodeado de iluminación dispersa. Según un análisis exhaustivo de todos los datos, actualmente sólo llega a la Tierra la parte dispersa de la luz. Según las observaciones de los procesos en curso, el haz concentrado aún no ha tocado la Tierra, pero ya se está produciendo un rápido aumento de la frecuencia e intensidad de los cataclismos en la Tierra. Además, según

los modelos matemáticos, se prevé que esta tendencia siga intensificándose. Es importante señalar que la Tierra no se enfrenta a este tipo de influencia por primera vez. La historia geológica de nuestro planeta indica que la Tierra ha experimentado repetidamente fases similares de cambio climático global y geodinámico de carácter sincrónico similar.

Basándose en estudios geocronológicos de sedimentos cuaternarios y en el examen de núcleos de hielo y rastros de extinciones a gran escala, incluidas extinciones de especies humanas, se puede concluir que en el pasado la Tierra se enfrentó a un drástico aumento de cataclismos climáticos a gran escala aproximadamente cada 12.000 años⁶⁰. Y cada 24.000 años, las catástrofes planetarias probablemente fueron muchas veces más potentes, como demuestran los exámenes de capas de ceniza de erupciones volcánicas en núcleos de hielo y otros estudios geocronológicos⁶¹. M. Arushanov, V. Bubnenkov, A. Baturin⁶², V. Bushuev⁶³, I. Kopylov⁶⁴, N. Petrov⁶⁵, Ye. Smotrin⁶⁶, Douglas Vogt⁶⁷, y muchos otros investigadores^{68,69,70,71} han llegado a comprender la naturaleza cíclica de los cataclismos globales en la Tierra con un período aproximado de 12-13 mil años, y ahora, según el análisis exhaustivo de los datos, la humanidad está entrando en la fase activa de este ciclo.

⁵⁹ Belozero, I. M. (2008). Priroda glazami fizika [La naturaleza vista por un físico]. International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology, 12(68).

<https://cyberleninka.ru/article/n/priroda-glazami-fizika/viewer>

Hruzov, V. I. (octubre de 2021). Nejtronnaja Vselennaja, Gl. 10. Raschjot nejtronnogo jadra Zemli [Universo de neutrones. Cap. 10. Cálculo del núcleo de neutrones de la Tierra]. Moscú: Libmonster Rusia: <https://libmonster.ru/m/articles/download/17227/4846>

⁶⁰ Arushanov, M. L. (2023). Prichiny izmeneniya klimata zemli, kak rezul'tat kosmicheskogo vozdejstviya, razveivayushchee mif ob antropogennom global'nom poteplenii [Causas del cambio climático terrestre como consecuencia de la influencia espacial, disipando el mito sobre el calentamiento global antropogénico]. Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft, 53, 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>

Arushanov, M. L. (2023). Dinamika klimata. Kosmicheskie faktory [Dinámica del clima. Factores cósmicos] (p. 144). Hamburg: LAMBERT Academic Publishing.

⁶¹ Sawyer, D. E., Urgeles, R. y Lo Iacono, C. (2023). 50,000 yr of recurrent volcanoclastic megabed deposition in the Marsili Basin, Tyrrhenian Sea [50.000 años de deposición recurrente de megalechos volcánicos en la cuenca de Marsili, mar Tirreno]. Geology, 51(11), 1001–1006. <https://doi.org/10.1130/g51198.1>

⁶² Baturin, A. M. (2001). Periodichnost globalnykh katastrof - 12166 let [Periodicidad de las catástrofes globales: 12.166 años] Monografía. Kursk CSTI.

⁶³ Bushuev, E. V. y Kopylov, I. P. (2005). Kosmos i Zemlja. Elektromekhanicheskie vzaimodejstviya [Espacio y Tierra. Interacciones electromecánicas]. Monografía. Moscú: Energía.

⁶⁴ Kopylov, I. P. (2001, 1 de noviembre) Elektromekhanika Solnechnoj sistemy [Electromecánica del sistema solar]. NVO.

https://nvo.ng.ru/nauka/2001-11-01/10_electro.html

⁶⁵ Petrov, N. V. (2015). Klimat Zemli: reshenie problemy izmeneniya klimata Zemli s pozicii zakona sohraneniya zhizni v kosmose [Clima de la Tierra: solución al problema del cambio climático de la Tierra desde la posición de la ley de preservación de la vida en el espacio]. Ekologiya i razvitie obshchestva: zhurn. / Mezhdunarodnaya akademiya nauk ekologii, bezopasnosti cheloveka i prirody, 4, 11-23. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001d/2551-ptr.pdf>

En geología, paleontología y arqueología existen numerosas pruebas de catástrofes anteriores del ciclo. Cada uno de esos acontecimientos catastróficos se caracterizó no sólo por cambios bruscos en el clima de la Tierra, sino también por una completa reestructuración geodinámica: debilitamiento y excursión del

campo magnético, desastrosas erupciones volcánicas generalizadas, reordenamientos tectónicos, fluctuaciones de la temperatura atmosférica en 10°C^{72} , cambios en el nivel del Océano Mundial y posteriores glaciaciones a gran escala (Figuras 68-72).

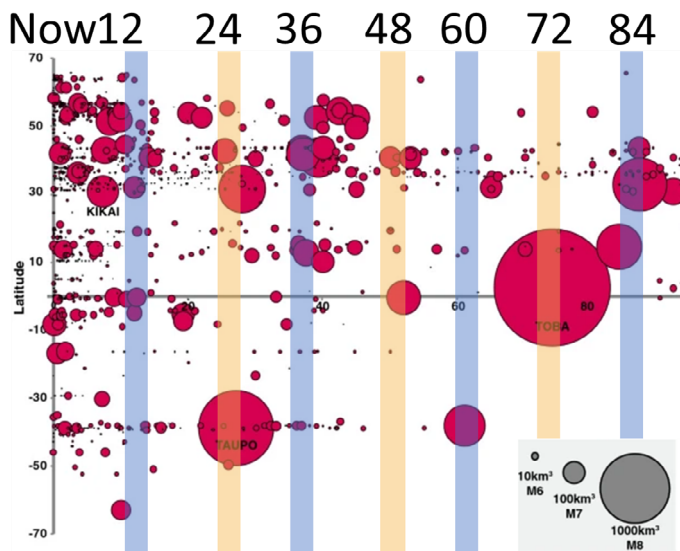


Figura 68

Erupciones a escala mundial desde 2013 dC hasta 100.000 años cal AP entre los 70° de latitud norte y los 70° de latitud sur. En la imagen se puede ver cuándo se produjeron dichas erupciones. El tamaño de los círculos refleja la escala de las erupciones. Obsérvese que los grandes círculos rojos indican que cada 24.000 años las erupciones volcánicas son más desastrosas.

Fuente: Brown, S. K., Croswell, H. S., Sparks, R. S. J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., Hobbs, L., Kiyosugi, K., Loughlin, S. C., Siebert, L. y Takarada, S. (2014). Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database [Caracterización del registro de erupciones del Cuaternario: análisis de la base de datos "Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions" (LaMEVE)]. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>

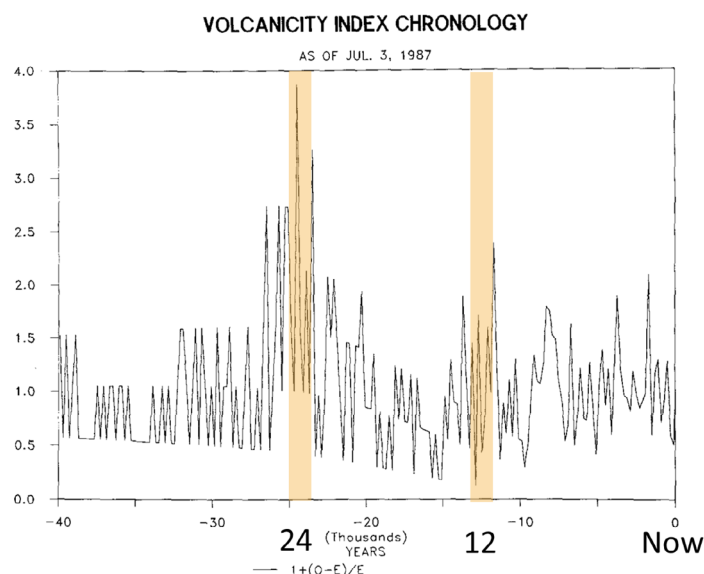


Figura 69

Escala de la actividad volcánica en los últimos 40.000 años según los datos de los núcleos de hielo.

Cronología del número de erupciones volcánicas basada en la datación por radiocarbono de los eventos y expresada como desviación relativa.

Fuente: Bryson, R. A. (1989). Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing [Modulación volcánica del Cuaternario tardío del forzamiento climático de Milankovitch]. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115-125.

<https://doi.org/10.1007/bf00868307>

⁶⁶ Smotrín E. G., candidato de ciencias militares. (1998). Stihii i katastrofy — glavnaya ugroza planetarnoj i evrazijskoj bezopasnosti pri vkhode v III tysyacheletie n. e. [Los desastres naturales y las catástrofes son la principal amenaza para la seguridad planetaria y euroasiática al entrar en el tercer milenio d.C.]. *Geostrategiya i tekhnologii XXI*. <http://www.geost-21.ru/node/1>

⁶⁷ Vogt, D. B. (2007). God's Day of Judgment: The real cause of global warming [El Día del Juicio de Dios: la verdadera causa del calentamiento global]. (1ª Ed.). Vector Associates.

⁶⁸ Davidson, B. (2021). The theory of multidimensional reality [La teoría de la realidad multidimensional]. Vector Associates.

⁶⁹ Davidson, B. (2021). The next end of the world [El próximo fin del mundo]. Space Weather News.

⁷⁰ Thomas, C. (1993). The Adam & Eve story: The history of cataclysms [La historia de Adán y Eva: la historia de los cataclismos]. Bengal Tiger Pr.

⁷¹ White, K. W. (1992). World in peril: The origin, mission, and scientific findings of the 46th/72nd Reconnaissance Squadron [Mundo en peligro: el origen, la misión y los hallazgos científicos del 46.º/72.º escuadrón de reconocimiento]. K. White.

⁷² Hapgood, C. H. (1958). Earth's shifting crust: A key to some basic problems of earth science [La corteza terrestre en movimiento: una clave para algunos problemas básicos de la ciencia de la Tierra]. Pantheon Books, Science.

⁷³ Easterbrook, D. J. (2016). Evidence-based climate science, data opposing CO2 emissions as the primary source of global warming [Ciencia climática basada en la evidencia, datos opuestos a las emisiones de CO2 como fuente primaria del calentamiento global] (2ª Ed.). Elsevier. Bellingham, EE. UU. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02097-4>

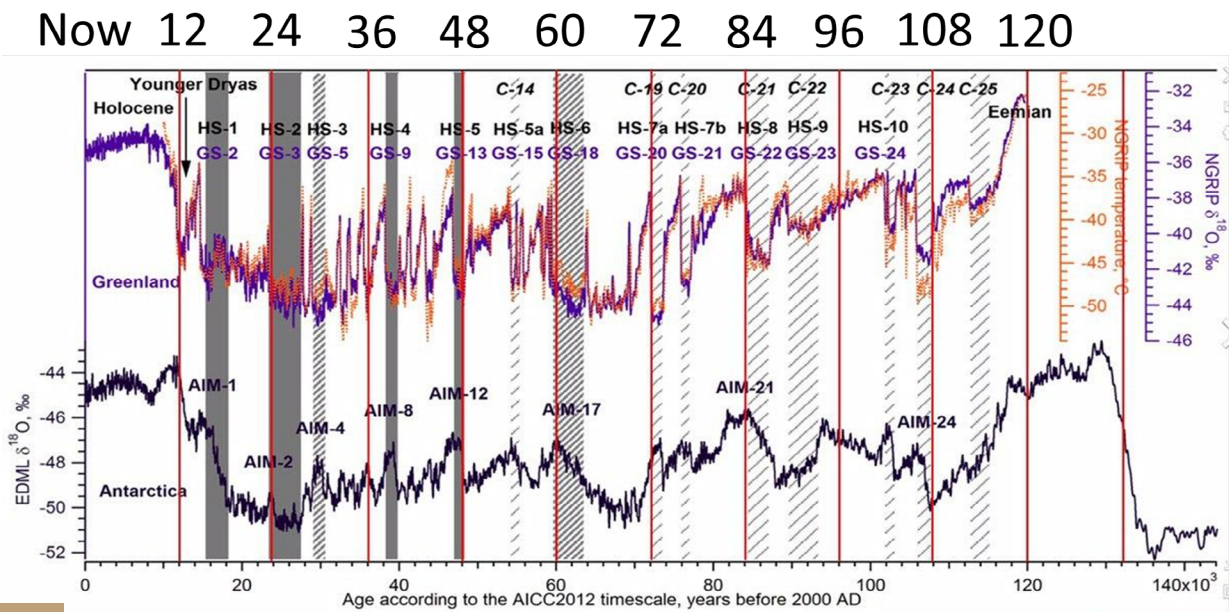


Figura 70

Anomalías de temperatura a partir de datos de núcleos de hielo de Groenlandia y la Antártida.
Fuente: Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years [Origen y consecuencias del desplazamiento en balsa de hielo cíclico en el Océano Atlántico Nororiental durante los últimos 130.000 años]. *Quaternary Research*, 29(2), 142-152. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9)

Event	Age in thousands of years before present		
	Hemming (2004)	Bond & Lotti (1995)	Vidal et al.. (1999)
H0	~12		
H1	16.8		14
H2	24	23	22
H3	~31	29	
H4	38	37	35
H5	45		45
H6	~60		

H1 and H2 are identified using radiocarbon dating, H3-6 are correlated with GISP2.

Figura 71

Posición relativa aproximada de los sucesos Heinrich registrados inicialmente en núcleos de sedimentos marinos del Océano Atlántico Norte.
Fuente: Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years [Origen y consecuencias del desplazamiento en balsa de hielo cíclico en el Océano Atlántico Nororiental durante los últimos 130.000 años]. *Quaternary Research*, 29(2), 142-152. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9)

Esta hipótesis sugiere que los cambios geodinámicos de la Tierra son principalmente derivados de procesos astronómicos y de su ciclicidad. Al igual que en ciclos anteriores, un factor significativo del aumento de catástrofes en la actualidad es la acumulación de energía adicional en el interior de la Tierra procedente de la influencia cósmica externa. Sin embargo, este ciclo se ve exacerbado por el impacto antropogénico sobre el sistema terrestre, que aumenta la cantidad de

Time (Years Ago)	Magnetic Event	Volcanic Candidates	Biosphere Stresses
~12,000	Gothenburg	Eifel Complex (German), Phlegrean Fields (Italy)	Mega-Faunal Extinction, Global
~25,000	Lake Mungo	Aira Caldera (Japan), Taupo (New Zealand)	Mega-Faunal Extinction, Australia/Eurasia, W.Africa Human Abandonment
~36,000	Mono Lake	Campi Flegrei (Italy), Gorley (Russia)	Mega-Faunal Extinction, North America
~47,000	Laschamp	Kulie Lake (Russia), Lake Shikotsu (Japan)	Mega-Faunal Extinction, Global, Neanderthal Extinction
~60,000	Vostok	(None VEI 7 or Greater)	(No Major Discoveries)
~72,000	Toba	Toba (Indonesia), Santorini (Greece)	Largest Human Bottleneck, <5000 Humans Survived
~84,000	(unnamed)	Atitlan (Guatemala)	(No Major Discoveries)
~96,000	(unnamed)	Mount Aso (Japan)	(No Major Discoveries)
~105,000	Blake?	(None VEI 7 or Greater)	Mega-Faunal Extinction?
~120,000	Blake?	Mount Aso (Japan)	Mega-Faunal Extinction?

Figura 72

Deriva del polo magnético, debilitamiento del campo magnético, erupciones catastróficas y extinciones cada 12.000 años.
Fuente: Davidson, B. (2021). The next end of the world [El próximo fin del mundo]. *Space Weather News*.

calor en las profundidades del planeta. Como consecuencia de la entropía -la conversión de energía adicional en calor-, el manto terrestre se calienta, el magma se vuelve más fluido, aumenta el flujo de calor endógeno del interior a la superficie y se forman nuevas plumas de magma. Hoy en día, por ejemplo, tales enormes plumas se elevan muy rápidamente bajo Siberia, en parte debido al desplazamiento del núcleo en esa dirección.

Calentamiento anormal de Siberia

Siberia y el Ártico Siberiano son regiones donde las tasas de calentamiento son de 2 a 3 veces superiores a la media mundial (Figura 73). Según la hipótesis, esto está relacionado con la formación de cámaras de magma debido a un desplazamiento del núcleo de la Tierra, que provoca tensiones en el manto de esta región (Figuras 74-76). Esto se ve corroborado por estudios recientes de científicos chinos, que han descubierto que la corteza bajo Siberia se está fundiendo y adelgazando debido a la actividad del magma⁷³. Este proceso es progresivo y reduce la resistencia de la placa. Es probable que la actividad de las plumas de magma se manifieste también en un deshielo adicional

del permafrost de abajo arriba, un aumento de la actividad sísmica en la región, el ascenso de aguas calientes a la superficie e incendios bajo la nieve por encima de las zonas de fallas. En las latitudes septentrionales, se observa un aumento de las emisiones de metano e hidrógeno desde las profundidades, crece el número de socavones por explosiones de gas natural y se intensifica el vulcanismo de lodo en la plataforma ártica. Según los modelos tectonofísicos, una ruptura de magma bajo Siberia forzaría la salida a la superficie de materia fundida a alta presión. Esto podría suponer una amenaza directa para la existencia de Rusia y del mundo entero.

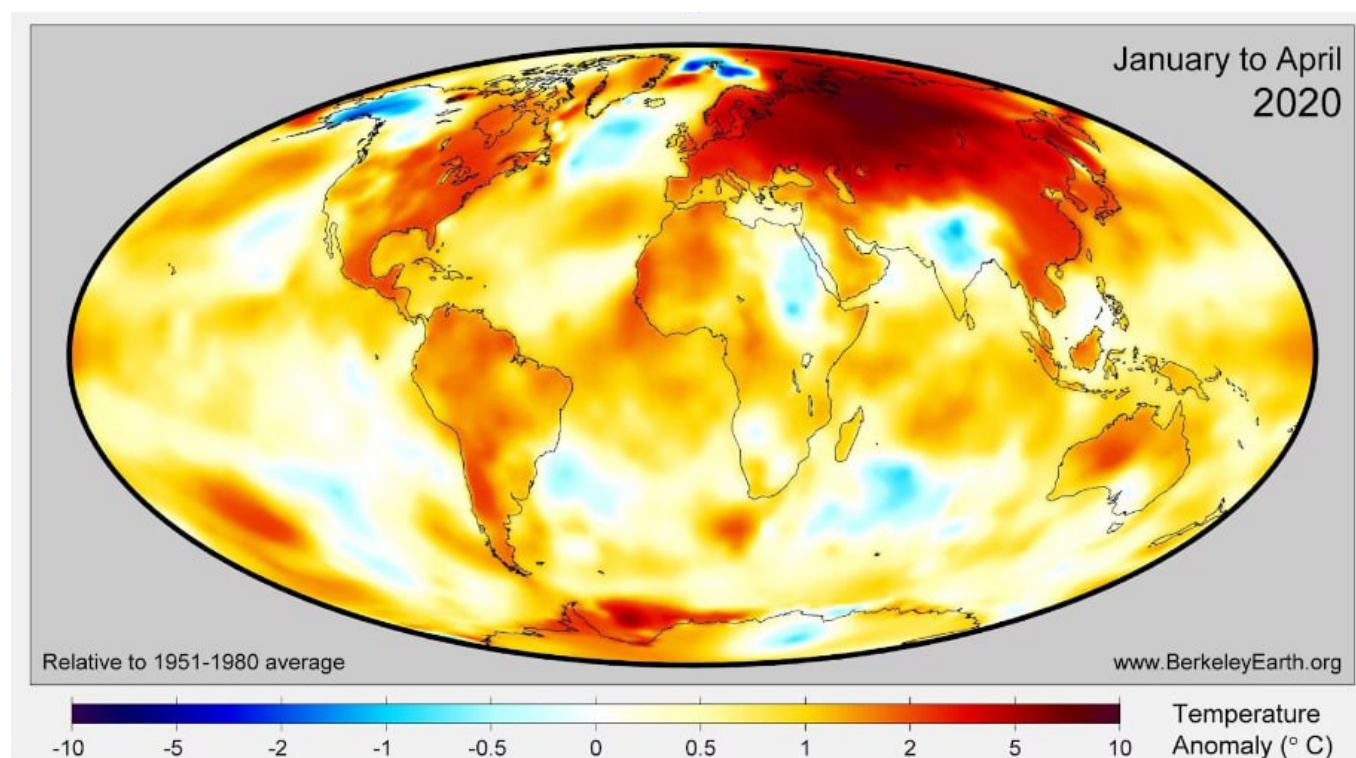
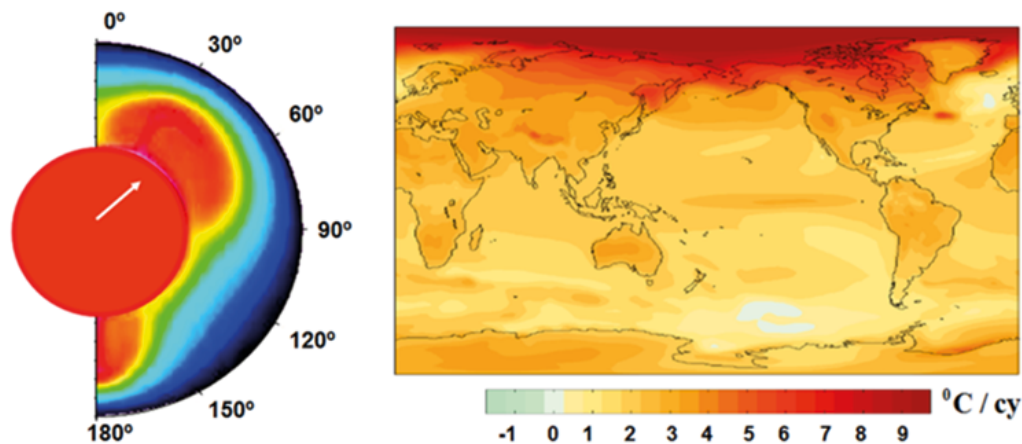


Figura 73

Anomalías de temperatura en el mundo para el período de enero a abril de 2020 en relación con la norma de 1951-1980. El calentamiento de la región siberiana supera la anomalía de la temperatura mundial en un factor de 3 a 6, lo que indica la existencia de un factor adicional causante del calentamiento de esta región.

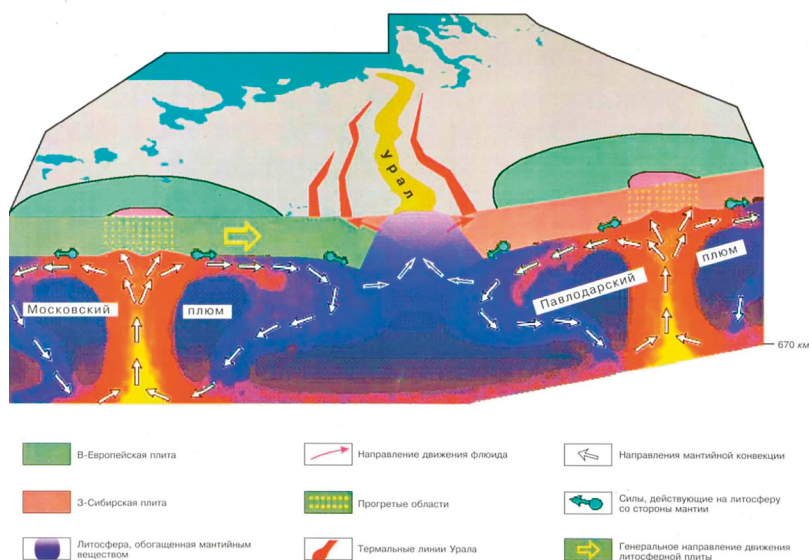
Fuente de datos: [BerkeleyEarth.org](https://www.berkeleyearth.org)

⁷³Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J. y Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data [Resto del superpluma del Pérmico tardío que generó los traps siberianos, inferido a partir de datos geomagnéticos]. Nature Communications, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>

**Figura 74**

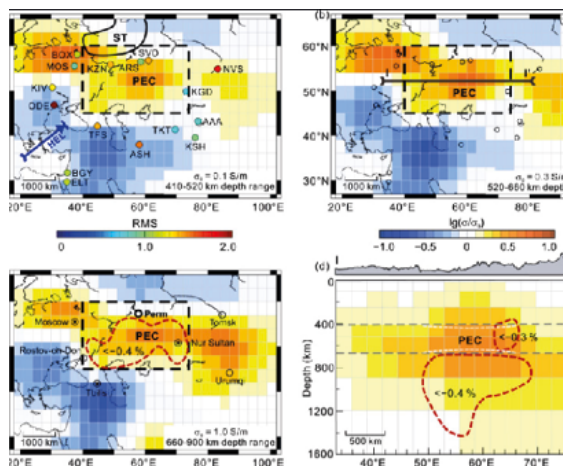
Desplazamiento relativo forzado del núcleo y el manto y esquema de suministro asimétrico de calor a las capas superiores del manto (a la izquierda). Tendencias lineales del calentamiento de la superficie (en °C por siglo) según los datos NCAR CCSM3 promediados según un escenario especial http://www.realclimate.org/bitz_fig3.png (a la derecha).

Fuente: Barkin, Yu.V. (2009). Ciklicheskie inversionnye izmeneniya klimata v severnom i juzhnom polusharijah Zemli [Cambio climático cíclico de inversión en los hemisferios norte y sur de la Tierra]. Geologiya morej i okeanov: Materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii [Geología de los mares y océanos: Materiales de la XVIII Conferencia Científica Internacional (Escuela) de Geología Marina] (Vol. III, pp. 4-8). Moscú: GEOS.

**Figura 75**

Esquema del movimiento de los fluidos de hidrocarburos en las estructuras plumetectónicas de Moscú y Pavlodar.

Fuente: Gorny, V. I. et al. (2001). Model' mantijno-litosfernogo vzaimodejstviya po dannym kompleksirovaniya na geotrasverse Uralsejsmorazvedki i distancionnogo geotermicheskogo metoda [Modelo de la interacción manto-litosférica basado en los datos de la geotravesía de los Urales para la prospección sísmológica y el método geotérmico a distancia] (pp. 227-238). Glubinnoe stroenie i geodinamika Yuzhnogo Urala. Tver: Izd. GERS

**Figura 76**

Científicos de la Universidad Jilin (Jilin University) y de la Universidad Shijiazhuang Tiedao (Shijiazhuang Tiedao University) utilizaron datos del campo geomagnético de 16 estaciones del norte de Asia para calcular la conductividad eléctrica del manto a distintas profundidades. Descubrieron un notable aumento de la conductividad en relación con la conductividad media mundial en la región situada bajo los Traps Siberianos (zonas amarilla y marrón en los diagramas). Los investigadores descubrieron que estas zonas, situadas a profundidades de entre 400 y 900 km, son por término medio 250 grados más calientes que el manto circundante. En estas zonas hay una fracción del manto fundido.

Fuente: Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J. y Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data [Resto del superpluma del Pérmico tardío que generó los traps siberianos, inferido a partir de datos geomagnéticos]. Nature Communications, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>

A modo de comparación, una activación del supervolcán de Yellowstone en EE. UU., que también muestra signos de actividad anormal, puede causar la destrucción de todo el continente americano, pero aún habría una posibilidad de supervivencia para la humanidad.

Sin embargo, en el caso de una irrupción de magma a través de la placa litosférica bajo Siberia, se puede afirmar que esto haría imposible la vida para todos los seres vivos del planeta Tierra.

El ciclo actual del planeta Tierra

A finales de 2024, es posible que se produzca un aumento de la actividad volcánica, causado por el ascenso del magma y la erosión de las placas litosféricas por los flujos magmáticos. Ello podría provocar frecuentes terremotos y erupciones volcánicas. Esta conclusión se basa en las siguientes observaciones: los parámetros geofísicos y geodinámicos de la Tierra sufrieron cambios bruscos en 1995 y 1998, lo que desencadenó una tendencia exponencial en el aumento de la actividad sísmica y la desestabilización del interior del planeta. Esto indica una acumulación de energía y tensión en las profundidades de la Tierra y una liberación de energía que aumenta exponencialmente. El océano y la atmósfera reaccionan con retraso a los procesos de las profundidades, pero ya se aprecia una tendencia exponencial en los gráficos de sus cambios.

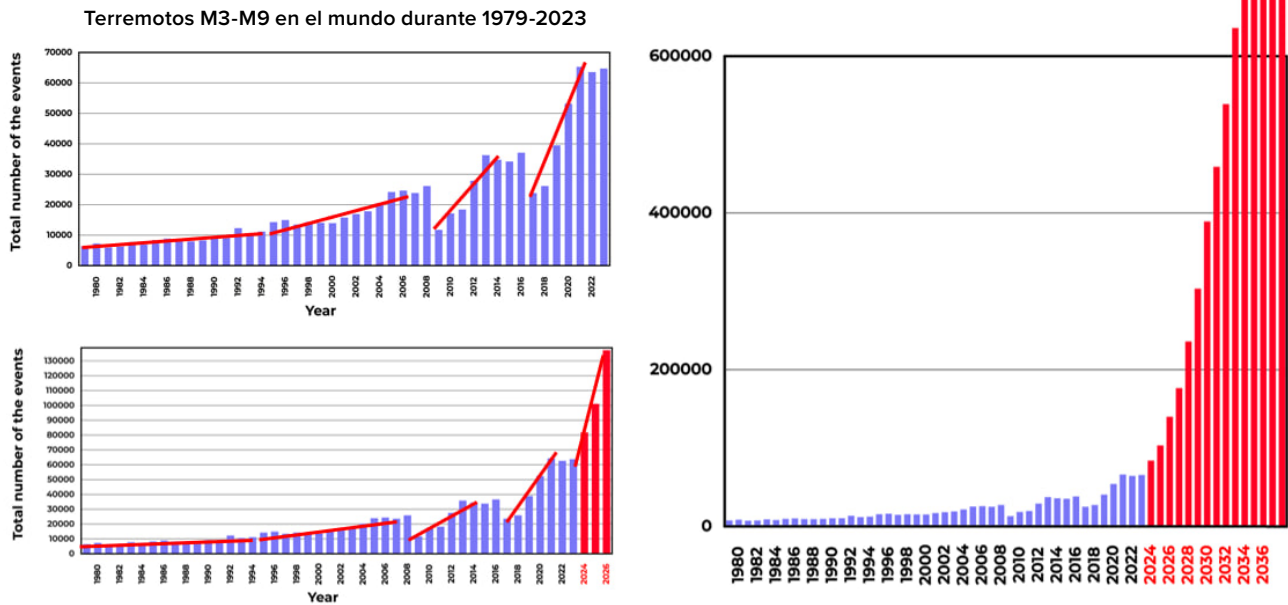
Basándose en la actual progresión exponencial del aumento de los terremotos en todo el mundo, se realizó un análisis de la tendencia exponencial del gráfico y, sobre esta base, se construyó un modelo para predecir el crecimiento del número de terremotos en los próximos años (Figura 77).

Los resultados de la modelización son los siguientes: en 2028 se producirán en la Tierra 1.000 terremotos diarios de magnitud igual o superior a 3,0, mientras que en la actualidad se producen unos 125 al día. Según los cálculos del

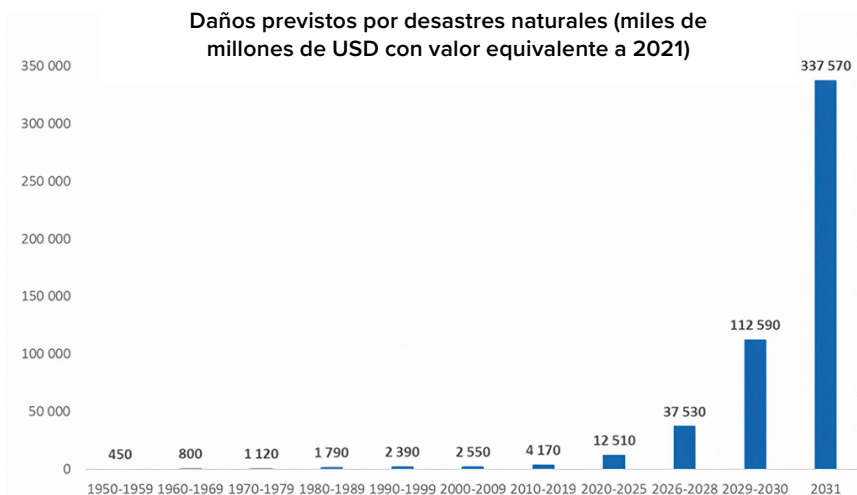
modelo, en 2030 es probable que el número de terremotos aumente hasta tal punto que resulte imposible adaptarse a las nuevas condiciones.

Se prevé que el aumento del número de eventos sísmicos de pequeña magnitud, que indican un aumento de la actividad magmática y un incremento generalizado de la actividad volcánica, provocará con toda probabilidad un aumento del número de terremotos fuertes. Existe una alta probabilidad de que, ya en un plazo de 6 años, se produzcan diariamente terremotos equivalentes en destructividad al terremoto ocurrido en Turquía y Siria el 6 de febrero de 2023.

Como consecuencia de los cambios previstos, muchas ciudades y estados pueden sufrir graves destrucciones. La aplicación de la función exponencial para evaluar los daños de las catástrofes climáticas muestra que la economía mundial podría tener dificultades para compensar las pérdidas en los próximos 4-6 años, lo que podría desembocar en una crisis económica. Las previsiones indican un posible colapso de los negocios mundiales durante este período. Los modelos matemáticos sugieren que, en los próximos 10 años, las condiciones para la vida en la Tierra podrían cambiar significativamente.

**Figura 77**

Modelo de crecimiento exponencial del número de cataclismos naturales en el ejemplo de los terremotos hasta 2036.

**Figura 78**

Pérdidas económicas previstas por desastres naturales, según el modelo de crecimiento exponencial del número de catástrofes geodinámicas y climáticas (miles de millones de USD con valor equivalente a 2021).
Fuente: AON (Catastrophe Insight).

Basándose en esta tendencia, puede predecirse un aumento del número de todas las demás catástrofes naturales en todo el mundo en un futuro próximo. Los hechos científicos confirman la inevitable progresión de las catástrofes climáticas y, al día de hoy, nada frena la escalada de cataclismos en todo el mundo. Las erupciones solares hoy en día ya pueden causar interrupciones en el funcionamiento de los satélites, lo que subraya la importancia de prepararse para posibles problemas tecnológicos. Las previsiones sugieren que podrían producirse cambios significativos en los próximos 4-6 años, que afectarían a la viabilidad de muchas

regiones. Según la progresión posterior del modelo descrito, podrían producirse acontecimientos críticos que podrían afectar a la integridad del planeta.

En ciclos anteriores de catástrofes que ocurrían cada 12.000 años, se produjeron extinciones de especies, pero el planeta atravesó estos ciclos sin cambios significativos en la integridad de sus sistemas. En el ciclo actual, caracterizado por catástrofes más graves debido a un ciclo de 24.000 años, se ha añadido otro factor que amenaza la existencia del planeta como entidad habitable.

Este factor antropogénico mencionado anteriormente en el informe desempeña un papel crucial en el empeoramiento significativo de la situación del planeta. Este impacto antropogénico se manifiesta en la contaminación del principal mecanismo de refrigeración del planeta: la contaminación de las aguas del Océano Mundial con microplásticos.

El océano desempeña un papel crucial en la termorregulación del planeta. Cubre aproximadamente el 70% de la superficie de la Tierra y se adentra en la corteza terrestre. En el pasado, el océano era el principal mecanismo regulador del equilibrio térmico de la Tierra, ya que disipaba el exceso de calor del interior del planeta hacia la atmósfera y, posteriormente, hacia el espacio exterior. Sin embargo, como consecuencia de la actividad humana, la conductividad térmica del océano se ha visto considerablemente alterada. Esto se debe al aumento de la contaminación de sus aguas con productos petrolíferos y polímeros sintéticos. Como consecuencia de la contaminación, el océano se ha vuelto menos eficaz para disipar el calor de las placas litosféricas, que se calientan por el ascenso del magma durante el ciclo de catástrofes de 12.000 años (Figura 79). El Océano Mundial nunca había estado tan contaminado. Como resultado de la extracción de petróleo, el transporte y los accidentes relacionados, hasta 30 millones de toneladas de hidrocarburos entran anualmente en el océano⁷⁴. La superficie total de “islas de plástico” de basura en la superficie del océano es casi equivalente a la superficie terrestre combinada de Estados Unidos y Australia. Sin embargo, esto constituye sólo el 1% de la contaminación total, ya que el 99% del plástico se dispersa dentro del agua del océano⁷⁵.

Además de la contaminación de los océanos

con microplásticos, las actividades antropogénicas, incluida la quema de hidrocarburos, provocan un aumento de la concentración en la atmósfera de gases de efecto invernadero como el metano (CH₄) y el dióxido de carbono (CO₂). El deshielo de los glaciares y del permafrost agrava este efecto, aumentando la concentración de metano en la atmósfera. Esto es especialmente peligroso porque el metano tiene un efecto invernadero 25 veces mayor que el del dióxido de carbono: una tonelada de metano produce el mismo efecto de calentamiento que 25 toneladas de dióxido de carbono.

Además, la acidificación de los océanos provoca una descomposición más rápida de los microplásticos en nanoplásticos, lo que agrava aún más la situación al aumentar la acumulación de calor en el océano.

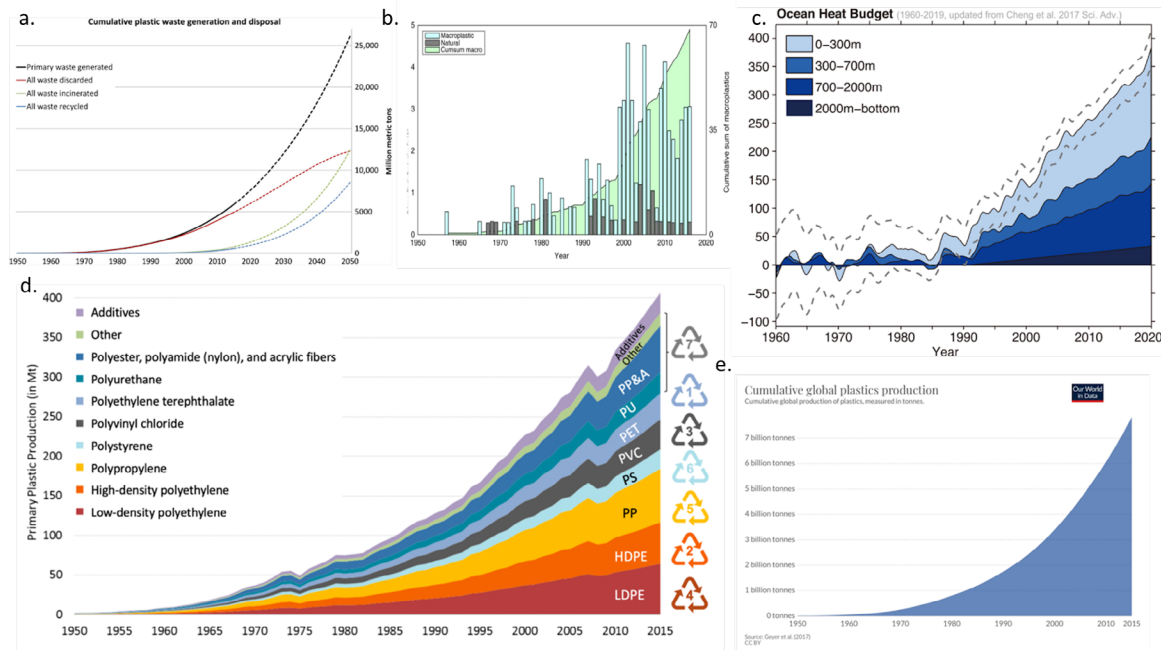
El uso de hidrocarburos, en particular metano y petróleo, para la combustión de carburantes y la producción de plásticos ha empeorado considerablemente la situación ecológica del planeta, provocando la acumulación de un exceso de calor tanto en los océanos como en la atmósfera. El aumento anómalo de las temperaturas atmosféricas y oceánicas indica una reducción sin precedentes de la capacidad de los océanos para absorber el calor de las profundidades de la Tierra, lo cual es críticamente necesario durante la afluencia de energía adicional al núcleo del planeta durante el ciclo de 12.000 años.

El estudio de los arrecifes de coral en el océano también nos permite comprender que, en el pasado, el océano disipaba eficazmente el calor. En la actualidad, los arrecifes de coral están pereciendo⁷⁶ debido al sobrecalentamiento, a pesar de que existen desde hace miles de años y han sobrevivido a los anteriores ciclos de 12.000 años de catástrofes naturales.

⁷⁴ Alexeev, G. V., Borovkov, M. I. y Titova, N. E. (2018). Sovremennyye sredstva dlja ochistki vody ot maslo-zhirovyyh jemul'sij i nefteproduktov. [Medios modernos de purificación del agua de las emulsiones de aceite y grasa y de los productos petrolíferos]. *Colloquium-journal*, 7(18), 4-6.

⁷⁵ Lebreton, L., Egger, M. y Slat, B. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean [Un presupuesto masivo global para desechos macroplásticos que flotan positivamente en el océano]. *Scientific Reports*, 9, 12922. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>

⁷⁶ Hughes, T. P., Kerry, J. T., Baird, A. H., Connolly, S. R., Dietzel, A., Eakin, C. M., Heron, S. F., Hoey, A. S., Hoogenboom, M. O., Liu, G., McWilliam, M. J., Pears, R. J., Pratchett, M. S., Skirving, W. J., Stella, J. S. y Torda, G. (2018). Global warming transforms coral reef assemblages [El calentamiento global transforma los conjuntos de arrecifes de coral]. *Nature*, 556, 492-496. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0041-2>

**Figura 79**

Diagramas de los cambios en la temperatura del océano entre 1960 y 2019 y su comparación con los diagramas de crecimiento de la producción de polímeros sintéticos, su uso en diversos sectores de la economía y la eliminación de residuos plásticos en el océano (de diversas fuentes).

a. Cantidad total de residuos de plástico producidos y reciclados

Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made [Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados]. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

b. Cantidad total de microplásticos en el océano y totales anuales

Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M. y Johns, D. G. (2019). The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series [El aumento de los plásticos oceánicos evidenciado a partir de una serie temporal de 60 años]. *Nature Communications*, 10(1622). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>

c. Cambio global de la temperatura oceánica de 1960 a 2019

(Purkey y Johnson, 2010; con una actualización de Cheng et al., 2017)

Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y. y Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019 [El calentamiento récord de los océanos continúa en 2019]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37, 137–142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

d. Producción mundial de plástico primario por tipo de polímero

Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made [Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados]. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

e. Cantidad total de plástico producida desde 1950

Fuente de datos: Plastic Marine Pollution Global Dataset

Debido al aumento del calentamiento del interior de la Tierra y a la pérdida de la capacidad de enfriamiento del planeta por factores antropogénicos, existe la amenaza de que esta vez la Tierra no pueda hacer frente al ciclo de sucesos catastróficos, lo que podría conducirla a un destino similar al de Marte. La modelización tectonofísica ha permitido examinar un posible escenario para el desarrollo posterior de los acontecimientos hasta el punto previsto de no retorno.

Los procesos descritos que se observan actualmente en el interior de la Tierra están impulsados por factores antropogénicos y por el sobrecalentamiento del núcleo del planeta debido a la afluencia de un exceso de energía procedente del espacio. El núcleo sobrecalienta el magma, lo que provoca la fusión del manto y que el magma ejerza presión sobre la corteza terrestre. Como resultado de esta presión, la corteza se fractura, se rompe y forma vías para la liberación del magma profundo.

Modelización tectonofísica y matemática del punto de no retorno previsto para 2036

Existe un lugar específico en la Tierra que supone una amenaza crítica para todo el planeta. Es el único punto de la Tierra donde se combinan condiciones únicas: la corteza más delgada y una elevada actividad magmática bajo ella. Además, en este lugar, la corteza está fuertemente comprimida tanto por el magma ascendente desde abajo como por la capa de agua oceánica que se encuentra por encima, de aproximadamente 11 kilómetros de espesor. Este lugar, conocido como la Fosa de las Marianas, es el más profundo de la Tierra y actualmente representa la mayor amenaza para nuestro planeta.

Revisemos el primer gráfico (Figura 80), que ilustra la tendencia en el aumento de terremotos de foco profundo en la región de la Fosa de las Marianas en las últimas tres décadas. Desde 1995 se ha producido un fuerte aumento del

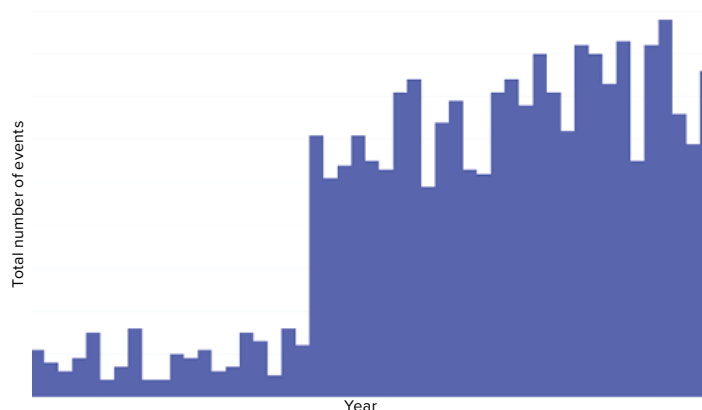


Figura 80

Número total de terremotos de foco profundo M1+ en la zona de la Fosa de las Marianas de 1970 a 2023.

Fuente de datos: Centro Internacional de Sismología (International Seismological Centre)

<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin>

número de terremotos de foco profundo en la región de la Fosa de las Marianas.

Los terremotos de foco profundo, que se producen a profundidades de entre 300 y 800 kilómetros en el manto, pueden liberar energía comparable a explosiones nucleares de inmenso poder destructivo. La Fosa de las Marianas es una de las regiones más geodinámicamente activas del mundo donde se producen este tipo de sucesos. Esto indica que se están produciendo procesos activos en el manto bajo la Fosa de las Marianas.

El segundo gráfico de la Figura 81 muestra el aumento del número de terremotos superficiales en la Fosa de las Marianas. Este aumento puede describirse mediante una función exponencial. Hasta ahora, no hay signos de disminución de esta tendencia.

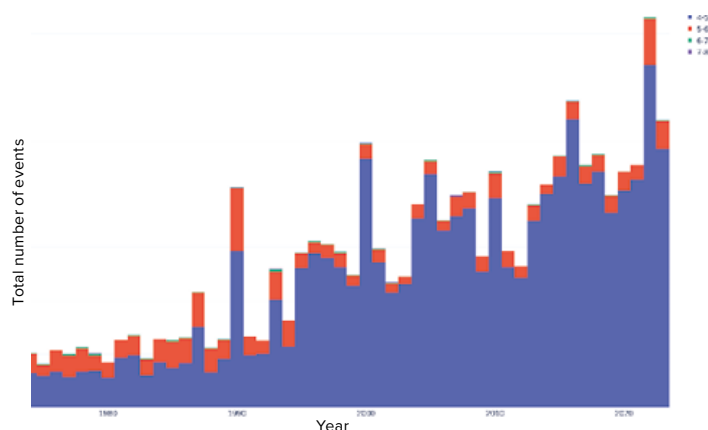


Figura 81

Número total de terremotos superficiales M4+ en la zona de la Fosa de las Marianas de 1970 a 2023.

Fuente de datos: Centro Internacional de Sismología (International Seismological Centre)

<http://www.isc.ac.uk/iscbulletin>

Según datos del USGS⁷⁷, los días 24 y 25 de noviembre de 2023 se registraron en la región de la Fosa de las Marianas más de 120 terremotos consecutivos con magnitudes superiores a 4,0. Se trata del mayor número de terremotos en un día en la zona en toda la historia de las observaciones. Esta reciente actividad sísmica sugiere que la situación bajo la Fosa de las Marianas no hace más que empeorar.

Según la modelización matemática y tectonofísica, la actividad sísmica y magmática seguirá aumentando exponencialmente, lo que provocará los siguientes acontecimientos en 2036.

Como resultado de la intensificación de la actividad geológica en el interior de la Tierra, el magma podría penetrar a través de la corteza terrestre en la zona de la Fosa de las Marianas. Bajo la presión extrema, en esta zona podría producirse una ruptura a gran escala. Miles de millones de metros cúbicos de agua a aproximadamente 0°C se encontrarían con miles de millones de metros cúbicos de magma a una temperatura de 1.600°C, provocando una explosión miles de veces más potente que el arsenal de todas las armas nucleares de la Tierra. Este acontecimiento podría elevar una enorme columna de vapor mezclado con polvo a más de 500 km de altura y desgarrar la termosfera. Según la modelización, la atmósfera, al perder su integridad, podría enrollarse alrededor del planeta debido a los cambios en la tensión superficial y también podría ser fácilmente arrastrada por el viento solar. Cabe señalar que el desarrollo de tal escenario provocaría la pérdida de la atmósfera, los océanos y el campo magnético y, probablemente, la rotación del núcleo de la Tierra se detendría, de forma similar

a lo que ha ocurrido, según los hechos, en Marte.

La Fosa de las Marianas en la Tierra, similar al Valles Marineris en Marte, es una región con una corteza planetaria relativamente delgada. Alrededor del Valles Marineris son visibles extensos flujos de lava volcánica, lo que indica que Valles Marineris fue un lugar de importantes cambios geológicos que influyeron en la degradación del estado de Marte. En la actualidad se observan procesos geológicos similares en la Fosa de las Marianas, que probablemente se produjeron en el Valles Marineris de Marte. Se prevé que tales procesos podrían tener consecuencias significativas para la Tierra y sus formas de vida biológica. Sin embargo, si las tendencias exponenciales actuales en el desarrollo de los cambios en la Tierra siguen avanzando, la humanidad probablemente no podrá presenciar la transición de la Tierra a un estado como el de Marte, ya que corre el riesgo de desaparecer antes por otras causas.

Según datos actualizados, el ritmo de aumento de las catástrofes supera incluso las previsiones más pesimistas. Esto significa que a la humanidad prácticamente no le queda tiempo para hacer frente a las consecuencias de la contaminación antropogénica de los océanos y a la cuestión de la influencia cósmica externa. La tendencia exponencial en el número e intensidad de los desastres climáticos y geodinámicos de la Tierra sitúa a la humanidad al borde de la extinción en los próximos 10 años.

¿Hay alguna razón para creer que los cambios climáticos actuales se detendrán por sí solos? Los datos científicos indican que ni siquiera el cese actual de todas las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono detendría los cambios climáticos en curso.

⁷⁷ USGS. (s.f.). Search results: Seismic activity in the Mariana Trench region according to USGS data [Resultados de la búsqueda: Actividad sísmica en la región de la Fosa de las Marianas según datos del USGS].

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/map/?extent=-15.62304,98.08594&extent=45.39845,196.52344&range=search&search=%7B%22name%22:%22Search%20Results%22,%22params%22:%7B%22starttime%22:%222023-11-23%2000:00:00%22,%22endtime%22:%222023-11-26%2023:59:59%22,%22maxlatitude%22:29.075,%22minlatitude%22:6.49,%22maxlongitude%22:155.215,%22minlongitude%22:133.242,%22minmagnitude%22:2.5,%22orderby%22:%22time%22%7D%7D>

La razón por la que la humanidad avanza hacia un punto previsto de no retorno es el factor antropogénico: las funciones de dispersión del calor del océano se han visto comprometidas por su contaminación con micro y nanoplásticos, coincidiendo con la afluencia de energía cósmica adicional al interior de la Tierra.

¿Hay alguna razón para creer que los cambios climáticos actuales se detendrán por sí solos? Los datos científicos indican que ni siquiera el cese actual de todas las emisiones antropogénicas de dióxido de carbono detendría los cambios climáticos en curso. La razón por la que la humanidad avanza hacia un punto previsto de no retorno es el factor antropogénico: las funciones de dispersión del calor del océano se han visto comprometidas por su contaminación con micro y nanoplásticos, coincidiendo con la afluencia de energía cósmica adicional al interior de la Tierra.

Por consiguiente, ni siquiera el cese total de la actividad industrial mejoraría radicalmente el equilibrio climático, pues los procesos globales de calentamiento del interior de la Tierra ya se han puesto en marcha. Por ello, una de las soluciones a esta crítica situación es estudiar la influencia cósmica externa que afecta

actualmente al núcleo de nuestro planeta y a los núcleos de otros planetas del Sistema Solar.

Para mitigar esta amenaza es necesario desarrollar soluciones eficaces. A pesar del limitado conocimiento científico de esta influencia, podemos observar que los núcleos de los planetas interactúan con ella. Por lo tanto, cabe concluir que la influencia cósmica externa es un fenómeno físico desconocido. Dado que este problema es de naturaleza física, su solución también entra dentro del ámbito de la física. Para abordar esta cuestión, es necesario reunir a los científicos más destacados de todo el mundo para que puedan concentrar todos sus esfuerzos en el estudio de este problema físico.

Para lograr este objetivo, es crucial concienciar a la comunidad mundial sobre este problema. Sólo tendremos una oportunidad para la vida, para nuestro futuro y el de nuestros hijos, cuando surja una demanda universal que inste a los gobernantes a crear las condiciones para unir a los científicos del mundo en la búsqueda de soluciones a los problemas climáticos.

Parte 3

LA SOLUCIÓN ES POSIBLE

Quizá surja la pregunta de por qué no se difunde públicamente la información sobre la magnitud real de la amenaza climática ni se debate a alto nivel sobre ella entre científicos y políticos. La respuesta está en las peculiaridades del trabajo del subconsciente humano. El subconsciente está estructurado de tal manera que si no ve una salida a una situación crítica, simplemente bloquea la realidad y niega la existencia de una amenaza.

Por esta misma razón, muchas de las personas que se han familiarizado con los hechos mencionados y han recibido pruebas exhaustivas de una catástrofe planetaria inminente, no actúan adecuadamente a la situación. No creen que la humanidad sea capaz de hacer frente a este desafío y sobrevivir. El objetivo clave de este informe es aportar pruebas de que existe una solución al problema del colapso climático.

Restauración de los océanos

Un requisito importante para la supervivencia de la humanidad es la restauración de la función del océano de disipar el calor del interior de la Tierra. De lo contrario, como se ha mencionado anteriormente, el planeta Tierra puede alcanzar un punto previsto de no retorno durante este ciclo. Profundicemos en los procesos que desempeñan el papel más significativo en la manifestación del peligro catastrófico de ruptura en la zona de la Fosa de las Marianas por el magma.

Durante el ciclo de 12.000 años, la influencia cósmica externa hace que el núcleo del planeta sobrecaliente el manto. En este ciclo, el calor excesivo no sale del manto debido a un fallo en la función de refrigeración del océano, atribuido a factores antropogénicos. Esto contribuye a un aumento anormal de la temperatura del magma y a una fusión intensiva del manto.

El magma, situado muy cerca del núcleo, se vuelve extremadamente caliente y fluido, erosionando activamente el manto y formando nuevas vías hacia la superficie terrestre. Según el modelo, esto conduce a la formación de conductos y ríos magmáticos en el manto. Las pruebas sugieren que este proceso ya es observable en Siberia.

Según la hipótesis, cuando los ríos magmáticos colisionan se producen explosiones dentro del manto, causadas por reacciones nucleares que liberan grandes cantidades de energía. Estas explosiones desestabilizan el núcleo de la Tierra y aumentan aún más la temperatura en el interior del planeta y la actividad sísmica dentro de la corteza.

Los cálculos matemáticos indican que el ritmo de fusión del manto terrestre se está acelerando. A finales de 2024, cuando se intensifique la influencia cósmica externa sobre el núcleo, el calentamiento y la fusión del magma aumentarán significativamente. Se prevé que, con el tiempo,

el magma se irá acercando cada vez más a la superficie.

La modelización tectonofísica muestra que, cuando todo el manto se derrita, cesarán los terremotos de foco profundo y la corteza terrestre podrá ser atravesada fácilmente por el magma en la zona de la Fosa de las Marianas.

Por ello, restablecer el funcionamiento del océano es una condición vital para la supervivencia de la humanidad y del planeta.

Otra consecuencia de la alteración de la función de disipación de calor de los océanos por factores antropogénicos es el exceso de humedad atmosférica.

Al aumentar la temperatura de las aguas oceánicas del planeta, la humedad se evapora intensamente. Cuando el agua se evapora, también lleva energía térmica del océano a la atmósfera. A medida que el aire húmedo asciende y alcanza las capas más frías de la atmósfera, el vapor de agua se condensa, lo que significa que vuelve a convertirse en agua líquida. Esto da lugar a la formación de nubes y, finalmente, a precipitaciones anormales, crecidas primaverales e inundaciones.

Se produce una paradoja: hay más vapor de agua en la atmósfera y aumentan las inundaciones extremas en todo el mundo, pero al mismo tiempo la mitad del planeta sufre sequías. Esto ocurre debido al aumento de la temperatura atmosférica. Cuanto mayor es la temperatura del aire, más humedad puede contener. Al evaporarse, la humedad permanece en la atmósfera durante mucho tiempo sin volver a la tierra en forma de precipitaciones. Esto provoca largos períodos de sequía en ciertas regiones del mundo.

La atmósfera cálida y húmeda también favorece la formación de ciclones tropicales y aumenta su poder destructivo.

El aire cálido y húmedo, debido a su menor densidad, asciende formando zonas de baja presión, lo que aumenta la velocidad del viento. Cuando el agua de la atmósfera se condensa, libera toda la energía térmica acumulada que fue absorbida durante la evaporación. Esta energía térmica es la principal fuente de energía de los ciclones tropicales. Cuando el viento, el agua y la energía térmica se combinan, adquieren poder destructivo.

El restablecimiento de las funciones del océano, incluida su capacidad para disipar el calor del interior de la Tierra y mantener la estabilidad medioambiental, puede lograrse mediante el uso generalizado de dispositivos que extraen agua del aire, a saber, los generadores de agua atmosférica (GAA). No sólo proporcionarán agua suficiente para toda la población mundial, sino que también ayudarán a limpiar los océanos del mundo de micro y nanoplásticos. Como ya se comentó en la Parte 2 de este informe, los plásticos y microplásticos, debido a su composición química única, alteran la conductividad térmica del océano, impidiendo así la disipación del calor de su interior. Con la adopción masiva de los GAA, el agua que se evapora del océano y contiene microplásticos pasará a través de los filtros del dispositivo, que eliminarán todos los contaminantes. Las sustancias que queden en el filtro se reciclarán y reutilizarán. La eliminación de estos contaminantes restablecerá la capacidad del océano para disipar el calor de la corteza terrestre a la atmósfera y más allá, al espacio. Además, la conductividad térmica de la atmósfera mejorará, lo que significa que el calor se disipará al espacio de forma más eficiente a medida que la atmósfera se libere del exceso de humedad, metano y CO₂.

Actualmente, se ha registrado una disminución de la densidad y un descenso de las capas superiores de la atmósfera. Mientras que con la extracción intensiva de humedad de la atmósfera, ésta se normalizará en altura y sus capas superiores se volverán más densas. La cantidad de

humedad en la atmósfera también se estabilizará, lo que reducirá la aparición de precipitaciones y vientos extremos. Esto será posible con una transición completa del consumo actual de aguas superficiales y subterráneas al uso de agua atmosférica obtenida de estos dispositivos tanto a nivel doméstico como industrial.

Exploremos las etapas necesarias para restablecer el intercambio de humedad y calor entre el océano, la atmósfera y la corteza terrestre.

La primera etapa debería implicar una transición completa al uso de generadores de agua atmosférica (GAA) en todo el planeta. Esto eliminará la necesidad de extraer agua de fuentes superficiales y subterráneas. Los GAA pueden producir la cantidad de agua necesaria tanto para las necesidades potables como las industriales. Se convertirán en vitales en el contexto de una crisis hídrica y garantizarán la resiliencia de los suministros de agua, permitiendo la plena realización de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas como:

Objetivo 6. Garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos;

Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación;

Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos;

Objetivo 14. Conservar y utilizar sosteniblemente los océanos, los mares y los recursos marinos;

Objetivo 15. Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad;

Objetivo 17. Revitalizar la Alianza Mundial para el Desarrollo Sostenible.

El segundo paso importante será la adopción de generadores sin combustible (GSC), que son esenciales para proporcionar a los GAA la energía necesaria y asequible debido a su elevado consumo.

Además, la humedad para las plantas de generación de agua debe reponerse a partir de fuentes naturales, que deben purificarse previamente. Para ello, también deben eliminarse los embalses abiertos y las presas. La introducción de los GSC reducirá la dependencia de la energía hidroeléctrica y brindará la oportunidad de abrir las presas. Los ríos volverán a sus cauces naturales, restaurando su caudal natural. Esto eliminará el estancamiento del agua y devolverá la vida a los ríos, asegurando el flujo de agua limpia hacia el océano, y evitará que los contaminantes entren en el océano desde los continentes.

Estas medidas también ayudarán a alcanzar una serie de los siguientes Objetivos de Desarrollo Sostenible, adoptados por la Asamblea General de las Naciones Unidas:

Objetivo 7. Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna;

Objetivo 8. Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente para todos;

Objetivo 9. Construir infraestructuras resilientes, promover la industrialización sostenible y fomentar la innovación;

Objetivo 11. Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles;

Objetivo 13. Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos.

En la tercera etapa del restablecimiento del intercambio de humedad y calor entre el océano, la atmósfera y la superficie de la corteza terrestre, es necesario reconstruir los sistemas de alcantarillado. Las aguas residuales no deben verterse en masas de agua abiertas. Deben fluir hacia el suelo y someterse a una depuración natural a través de las capas del suelo antes de llegar a las masas de agua.

Los enfoques científicos y prácticos propuestos pueden convertirse en una nueva revolución científica y tecnológica. Tienen como objetivo garantizar el abastecimiento sostenible de agua y el uso equilibrado de los recursos

hídricos. Pero lo más importante es que reducirán el impacto negativo sobre el sistema climático del planeta. Estas medidas tienen un enorme potencial para cambiar significativamente la situación medioambiental, haciendo que nuestro planeta sea más resistente a los desafíos climáticos.

El efecto previsto de la extracción de agua de la atmósfera se estima de la siguiente manera: el 70% de los problemas relacionados con el deterioro del clima pueden resolverse extrayendo agua de la atmósfera. El 30% restante de los problemas se resolverá mediante el tratamiento de las aguas residuales, por lo que esta tarea también es de primordial importancia.

Si se aplican las medidas propuestas, según las estimaciones preliminares, los resultados tangibles serán perceptibles en 2-3 años. La situación puede agravarse durante el primer año tras la aplicación, pero en unos 8 a 14 meses el intercambio de calor y humedad entre el océano y la atmósfera empezará a mejorar. Los primeros resultados positivos se esperan para dentro de 2 años. La naturaleza empezará a revitalizarse y los fenómenos atmosféricos se volverán más equilibrados. En un plazo de 5 a 8 años, será claramente visible hasta qué punto las aguas comenzarán a purificarse. Esto restaurará la función del océano de enfriar el planeta. Las inundaciones y las sequías serán cosa del pasado, y disminuirán los vientos indeseados y las fluctuaciones de temperatura. Se espera que el clima se vuelva más suave y predecible.

Sin embargo, es importante comprender que estas medidas no resolverán el problema de las catástrofes geodinámicas, ya que la causa de estos cambios no está en la atmósfera. La aplicación generalizada de los GAA sólo podrá mitigar los efectos del cambio climático y acelerar la restauración del medio ambiente del planeta, siempre que lo protejamos de la influencia cósmica externa.

CONCLUSIONES

Proporcionalmente al aumento de la frecuencia e intensidad de los desastres naturales, también aumentarán las pérdidas económicas. Es sumamente importante calcular los daños potenciales de los próximos desastres climáticos teniendo en cuenta la progresión exponencial que corresponde a la tendencia mundial de aumento de los cataclismos.

Así, cuanto más intensos y extendidos sean los fenómenos climáticos extremos, mayor será la probabilidad de que se disparen los precios y menor la estabilidad de la economía de todo el mundo. Esto es especialmente importante en el contexto de las catástrofes globales causadas por factores geodinámicos y antropogénicos que se han descrito en este informe.

Una solución eficaz a este problema requiere la cooperación internacional de científicos que puedan unir sus esfuerzos y recursos para desarrollar y adoptar medidas integrales.

Hoy en día, la ciencia contemporánea está dividida y fragmentada en campos y disciplinas científicas de propósito estrecho que no colaboran entre sí. En tales condiciones de desunión global, es naturalmente imposible analizar exhaustivamente e investigar a fondo la actual amenaza planetaria. Si se crean las condiciones para una cooperación abierta, los científicos no tendrán que empezar de cero, puesto que ya existen avances reales y una comprensión de las relaciones causa-efecto en este ámbito.

Ahora, es necesario actuar con prontitud y utilizar el tiempo restante con sensatez.

Apéndice 1

Método de fusión de bases de datos sísmicos

Recopilamos datos de terremotos de múltiples bases de datos, como el Centro Internacional de Sismología (ISC)⁷⁸, el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS)⁷⁹, las Instituciones Incorporadas de Investigación Sismológica (IRIS)⁸⁰, el Centro Sismológico Euromediterráneo (EMSC)⁸¹ y el recurso de agregación de terremotos Volcano Discovery (VD)⁸². Para obtener la visión más completa de la situación sísmica, creamos una base de datos que fusiona los sucesos de todas estas fuentes. Naturalmente, algunos están presentes en varias bases de datos, por lo que es necesario identificar los sucesos idénticos y agruparlos en el proceso de fusión. Sin embargo, cada agencia sismológica evalúa los parámetros del terremoto, como el hipocentro, la hora del terremoto y su magnitud, utilizando sus propios algoritmos y conjuntos particulares de sismógrafos. Por lo tanto, es imposible realizar una comparación estricta y precisa de los sucesos utilizando únicamente los parámetros de hora, hipocentro y magnitud. Por eso empleamos el método de coincidencia difusa (fuzzy matching) de sucesos entre dos bases de datos utilizando el siguiente algoritmo.

Definimos el suceso A de la primera base de datos D_1 posiblemente relacionado con el suceso B de la segunda base de datos D_2 si la distancia de sus epicentros ($D_{diff}(A,B)$) es inferior o igual a 300 km, la diferencia en la hora del suceso ($T_{diff}(A,B)$) es inferior a 90 segundos y la diferencia en la magnitud estimada ($M_{diff}(A,B)$) es inferior o igual a 1. Por ejemplo, en el catálogo

del ISC se presentan múltiples estimaciones de magnitud para el mismo suceso. Por lo tanto, $M_{diff}(A,B)$ se define como la diferencia mínima de magnitudes $\min(\text{abs}(M_a - M_b))$ donde M_a es una magnitud del suceso A y M_b es una magnitud del suceso B restringida por el siguiente algoritmo:

Si A y B tienen magnitudes del tipo Mw, entonces M_a y M_b se seleccionan de entre los tipos Mw;

Si A y B tienen magnitudes del tipo Ms, entonces M_a y M_b se seleccionan de entre los tipos Ms;

Si A y B tienen magnitudes del tipo mb, M_a y M_b se seleccionan de entre los tipos mb;

Si A y B tienen magnitudes de tipo ML, M_a y M_b se seleccionan de entre los tipos ML;

En todos los demás casos: se elige cualquier magnitud de A y cualquier magnitud de B para cumplir la condición: $\text{abs}(M_a - M_b)$ es mínima.

Para dos sucesos relacionados A y B, definimos el valor de su relación como:

$$V(A,B) = 36 - 16 * T_{diff}(A,B)^2 / 8100 - 16 * D_{diff}(A,B)^2 / 90000 - 4 * M_{diff}(A,B)^2,$$

donde $T_{diff}(A,B)$ se mide en segundos, $D_{diff}(A,B)$ se mide en kilómetros y $M_{diff}(A,B)$ se mide en magnitudes. Para dos sucesos A y B totalmente idénticos, el valor de $V(A,B)$ es igual a 36. Para dos sucesos A y B en el límite de estar posiblemente relacionados, el valor de $V(A,B)$ es igual a 0.

⁷⁸ ISC Bulletin: event catalogue search [Boletín del ISC: búsqueda en el catálogo de sucesos] <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin/search/catalogue/>

⁷⁹ USGS Search Earthquake Catalog [Catálogo de búsqueda de terremotos USGS] <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>

⁸⁰ IRIS Wilber 3: Select Event [IRIS Wilber 3: Seleccionar suceso] http://ds.iris.edu/wilber3/find_event

⁸¹ EMSC Search earthquakes [Búsqueda de terremotos EMSC] https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/

⁸² Volcano Discovery Earthquakes [Terremotos Volcano Discovery] <https://www.volcanodiscovery.com/earthquakes/lists.html>

Para encontrar una coincidencia entre sucesos de las bases de datos D_1 y D_2 , es necesario que cada suceso de una base de datos se corresponda con no más de un suceso de la otra base de datos, y que la suma de todos los valores $V(A,B)$ de los pares de sucesos seleccionados sea máxima.

Técnicamente, podemos definir un grafo G con el conjunto de vértices formado por todos los sucesos de D_1 y D_2 y el conjunto de aristas formado por pares de sucesos posiblemente relacionados. El valor de una arista entre los vértices A y B se establece en $V(A,B)$. El problema de optimización que formulamos anteriormente se conoce como emparejamiento de peso máximo en grafos bipartitos y puede resolverse mediante algoritmos estándar⁸³.

A partir del algoritmo, obtenemos la coincidencia de peso máximo entre los sucesos de D_1 y D_2 y consideramos que los sucesos correspondidos son idénticos. Así, la base de datos fusionada D_m se forma a partir de sucesos de D_1 y sucesos no coincidentes de D_2 . Si un suceso de D_1 coincide con algún suceso de D_2 , los datos de magnitud de D_2 se añaden al conjunto de estimaciones de magnitud del suceso coincidente de D_m .

Comenzando con la base de datos ISC y fusionando secuencialmente las bases de datos de USGS, IRIS, EMSC y Volcano Discovery (VD) con ella, hemos obtenido la base de datos fusionada final (Merged).

Para trazar gráficos que comparen los recuentos de terremotos en diferentes bases de datos, normalmente necesitamos restringir los datos a un cierto rango de magnitudes. Para evitar diferencias en los recuentos de terremotos debidas a las distintas estimaciones de magnitud entre las bases de datos, utilizamos la base de datos fusionada para seleccionar los sucesos en un rango de magnitud determinado y trazar los

gráficos (puede contener varias estimaciones de magnitud para cada suceso). Empleamos dos métodos diferentes:

1. El primer método consiste en incluir un suceso en una selección de sucesos si cualquier estimación de magnitud para el suceso se encuentra en el intervalo de magnitud deseado.
2. El segundo método, más complejo, consiste en seleccionar una estimación de magnitud preferida e incluir el suceso en una selección si la estimación preferida se encuentra en el intervalo de magnitud deseado. Seleccionamos la estimación de magnitud preferida buscando los siguientes tipos de magnitud entre las estimaciones (en el orden de preferencia): Mw, ML, MS, mb, MVD (esta es la estimación de magnitud procedente de la base de datos Volcano Discovery porque el tipo de magnitud no está disponible en esa base de datos), MD y MV. Si se encuentra cualquier estimación de magnitud de un tipo determinado para un suceso, entonces se utilizan todas las estimaciones de magnitud del tipo seleccionado para ese suceso. A continuación, se calcula la mediana para ellas y se selecciona la magnitud que coincide con la mediana. Si no hay ninguna estimación de ninguno de los tipos anteriores (lo cual es poco frecuente, sólo un pequeño porcentaje de todos los sucesos de toda la base de datos), entonces se selecciona cualquier tipo de valor de magnitud que coincida con el valor de la mediana calculado para todas las magnitudes de este suceso.

⁸³ Nitish Korula. Combinatorial Optimization. Maximum Weight Matching in Bipartite Graphs [Optimización combinatoria. Emparejamiento de peso máximo en grafos bipartitos] <https://courses.engr.illinois.edu/cs598csc/sp2010/lectures/lecture10.pdf>

La diferencia en los recuentos de sucesos obtenidos al utilizar el primer y el segundo método de selección de sucesos en un intervalo de magnitud dado es insignificante, por regla general, no superior a unos pocos puntos porcentuales.

Para el gráfico del número de sismos por año (Figuras 7,9) en cada base de datos, se utilizó el primer método de selección de sucesos de la base de datos fusionada. Para los gráficos

del número de sucesos sísmicos únicos (Figura 10) presentes en las diferentes bases de datos, se utilizó el segundo método de selección de terremotos dentro de un rango de magnitud especificado.



Referencias

- Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) (2024). U.S. Billion-Dollar Weather and Climate Disasters [Desastres meteorológicos y climáticos con miles de millones de dólares en daños] (2024). NOAA National Centers for Environmental Information (NCEI). (<https://www.ncei.noaa.gov/access/billions/>), DOI: 10.25921/stkw-7w73
- Alexeev, G. V., Borovkov, M. I. y Titova, N. E. (2018). Sovremennye sredstva dlja ochistki vody ot maslo-zhirovyyh jemul'sij i nefteproduktov. [Medios modernos de purificación del agua de las emulsiones de aceite y grasa y de los productos petrolíferos]. *Colloquium-journal*, 7(18), 4-6.
- Alken, P., Thébault, E., Beggan, C.D. et al. (2021). International Geomagnetic Reference Field: the thirteenth generation [Campo Geomagnético Internacional de Referencia: la decimotercera generación]. *Earth Planets Space* 73, 49. <https://doi.org/10.1186/s40623-020-01288-x>
- Androsova, N. K., Baranova, T. I. y Semykina D.V. (2020). Geologicheskoe proshloe i nastoyashchee magnitnyh polyusov zemli [Pasado y presente geológico de los polos magnéticos de la Tierra]. *Nauki o Zemle / "Colloquium-journal"*, 5(57). DOI:10.24411/2520-6990-2020-11388
- AON. (2023). Weather, Climate and Catastrophe Insight [Perspectiva sobre la meteorología, el clima y las catástrofes] (p. 42). <https://www.aon.com/getmedia/f34ec133-3175-406c-9e0b-25cea768c5cf/20230125-weather-climate-catastrophe-insight.pdf>
- Arushanov, M. L. (2023). Prichiny izmeneniya klimata zemli, kak rezul'tat kosmicheskogo vozdejstviya, razveivayushchee mif ob antropogennom global'nom potepnenii [Causas del cambio climático de la Tierra como resultado de la influencia espacial, disipando el mito sobre el calentamiento global antropogénico]. *Deutsche Internationale Zeitschrift Für Zeitgenössische Wissenschaft*, 53, 4-14. <https://doi.org/10.5281/zenodo.7795979>
- Arushanov, M. L. (2023). Dinamika klimata. Kosmicheskie faktory [Dinámica del clima. Factores cósmicos] (p. 144). Hamburgo: LAMBERT Academic Publishing.
- Aubourg, L. (2024, 12 de enero). Editors' notes 2023's record heat partly driven by 'mystery' process: NASA scientist [Notas del editor: El calor récord de 2023 se debe en parte a un proceso 'misterioso': científico de la NASA]. <https://phys.org/news/2024-01-driving-mystery-nasa-scientist.html>
- Barkin, Yu. V. (2009). Ciklicheskie inversionnye izmeneniya klimata v severnom i juzhnom polusharijah Zemli [Cambio climático cíclico de inversión en los hemisferios norte y sur de la Tierra]. *Geologiya morej i okeanov: Materialy XVIII Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii (Shkoly) po morskoy geologii* [Geología de los mares y océanos: Materiales de la XVIII Conferencia Científica Internacional (Escuela) de Geología Marina] (Vol. III, pp. 4-8). Moscú: GEOS.
- Barkin, Yu.V. y Barkin, M. Yu., (2014). Novaja analiticheskaja teorija vrashheniya Zemli [Nueva teoría analítica de la rotación de la Tierra]. *Engineering Journal: Science and Innovation*, 12(36). <https://istina.msu.ru/publications/article/7735956/>
- Barkin, Yu. V. y Smolkov, G. Ya. (2013). Skachkoobraznye izmeneniya trendov geodinamicheskikh i geofizicheskikh yavlenij v 1997-1998 gg [Cambios bruscos en las tendencias de los fenómenos geodinámicos y geofísicos en 1997-1998]. En la Conferencia de toda Rusia sobre Física Solar-Terrestre, dedicada al centenario del nacimiento del Miembro Correspondiente de la Academia de Ciencias de Rusia Stepanov V. E. (16-21 de septiembre de 2013, Irkutsk), Irkutsk, 2013.
- Barletta, V. R., Bevis, M., Smith, B. E., Wilson, T., Brown, A., Bordoni, A., Willis, M., Khan, S. A., Rovira-Navarro, M., Dalziel, I., Smalley, R., Kendrick, E., Konfal, S., Caccamise, D. J., Aster, R. C., Nyblade, A. y Wiens, D. A. (2018). Observed rapid bedrock uplift in Amundsen Sea Embayment promotes ice-sheet stability [La rápida elevación observada del lecho rocoso en la ensenada del mar de Amundsen favorece la estabilidad de la capa de hielo]. *Science*, 360(6395), 1335–1339. <https://doi.org/10.1126/science.aao1447>
- Baturin, A. M. (2001). Periodichnost globalnykh katastrof - 12166 let [Periodicidad de las catástrofes globales: 12.166 años]. Monografía. CNTI de Kursk.
- Belozerov, I. M. (2008). Priroda glazami fizika [La naturaleza vista por un físico]. *International Scientific Journal for Alternative Energy and Ecology*, 12(68). <https://cyberleninka.ru/article/n/priroda-glazami-fizika/viewer>
- Bowling, J. S., Livingstone, S. J., Sole, A. J. y Chu, W. (2019). Distribution and dynamics of Greenland subglacial lakes [Distribución y dinámica de los lagos subglaciales de Groenlandia]. *Nature Communications*, 10(2810). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10821-w>
- Briner, J. P., Cuzzone, J. K., Badgley, J. A., Young, N. E., Steig, E. J., Morlighem, M., Schlegel, N.-J., Hakim, G. J., Schaefer, J. M., Johnson, J. V., Lesnek, A. J., Thomas, E. K., Allan, E., Bennike, O., Cluett, A. A., Csatho, B., de Vernal, A., Downs, J., Larour, E. y Nowicki, S. (2020). Rate of mass loss from the Greenland Ice Sheet will exceed Holocene values this century [La tasa de pérdida de masa de la capa de hielo de Groenlandia superará los valores del Holoceno este siglo]. *Nature*, 586(7827), 70–74. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2742-6>
- Broquet, A. y Andrews-Hanna, J. C. (2022). Geophysical evidence for an active mantle plume underneath Elysium Planitia on Mars [Evidencia geofísica de una pluma del manto activa debajo de Elysium Planitia en Marte]. *Nature Astronomy*, 7, 160–169. <https://doi.org/10.1038/s41550-022-01836-3>
- Brown, S. K., Croswell, H. S., Sparks, R. S. J., Cottrell, E., Deligne, N. I., Guerrero, N. O., Hobbs, L., Kiyosugi, K., Loughlin, S. C., Siebert, L. y Takarada, S. (2014). Characterisation of the Quaternary eruption record: analysis of the Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions (LaMEVE) database [Caracterización del registro de erupciones del Cuaternario: análisis de la base de datos "Large Magnitude Explosive Volcanic Eruptions" (LaMEVE)]. *Journal of Applied Volcanology*, 3(5). <https://doi.org/10.1186/2191-5040-3-5>

Bryson, R. A. (1989). Late quaternary volcanic modulation of Milankovitch climate forcing [Modulación volcánica del Cuaternario tardío del forzamiento climático de Milankovitch]. *Theoretical and Applied Climatology*, 39, 115-125. <https://doi.org/10.1007/bf00868307>

Bushuev, E. V. y Kopylov, I. P. (2005). *Kosmos i Zemlja. Elektromekhanicheskie vzaimodejstviya* [Espacio y Tierra. Interacciones electromecánicas]. Monografía. Moscú: Energía.

Canadell, J., Meyer, C., Cook, G., Dowdy, A., Briggs, P., Knauer, J., Pepler, A. y Haverd, V. (2021). Multi-decadal increase of forest burned area in Australia is linked to climate change [El aumento de varias décadas de la superficie forestal quemada en Australia está relacionado con el cambio climático]. *Nature Communications*, 12, 6921. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-27225-4>

Centro de Orientación de la Tierra del Observatorio de París (IERS Earth Orientation Center of the Paris Observatory) (s.f.). Duración del día - Parámetros de orientación de la Tierra: https://datacenter.iers.org/singlePlot.php?plotname=EOPC04_14_62-NOWIAU1980-LOD&id=223

Centro Internacional de Sismología (International Seismological Centre) (s.f.). Bulletin of the International Seismological Centre [Boletín del Centro Internacional de Sismología]. <http://www.isc.ac.uk/iscbulletin> <https://doi.org/10.31905/D808B830>

Cesca, S., Sukan, M., Rudzinski, L., Vajedian, S., Niemz, P., Plank, S., Petersen, G., Deng, Z., Rivalta, E., Vuan, A., Plasencia Linares, M. P., Heimann, S. y Dahm, T. (2022). Massive earthquake swarm driven by magmatic intrusion at the Bransfield Strait, Antarctica [Enjambre de terremotos masivos impulsado por una intrusión magmática en el estrecho de Bransfield, Antártida]. *Communications Earth & Environment*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s43247-022-00418-5>

Chadwick, J., Keller, R., Kamenov, G., Yogodzinski, G. y Lupton, J. (2014). The Cobb hot spot: HIMU-DMM mixing and melting controlled by a progressively thinning lithospheric lid [Punto caliente de Cobb: Mezcla y fusión HIMU-DMM controladas por una tapa litosférica que se adelgaza progresivamente]. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, 15(8), 3107-3122. <https://doi.org/10.1002/2014gc005334>

Channell, J. E. T. y Vigliotti, L. (2019). The role of geomagnetic field intensity in Late Quaternary evolution of humans and large mammals [El papel de la intensidad del campo geomagnético en la evolución de los humanos y los grandes mamíferos en el Cuaternario tardío]. *Reviews of Geophysics*, 57. <https://doi.org/10.1029/2018RG000629>

Cheng, L., Abraham, J., Zhu, J., Trenberth, K. E., Fasullo, J., Boyer, T., Locarnini, R., Zhang, B., Yu, F., Wan, L., Chen, X., Song, X., Liu, Y. y Mann, M. E. (2020). Record-Setting Ocean Warmth Continued in 2019 [El calor oceánico récord continuó en 2019]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 37(2), 137-142. <https://doi.org/10.1007/s00376-020-9283-7>

Copernicus (2024, 9 de enero). Copernicus: 2023 is the hottest year on record, with global temperatures close to the 1.5°C limit [Copernicus: 2023 es el año más caluroso registrado, con temperaturas globales cercanas al límite de 1,5°C] <https://climate.copernicus.eu/copernicus-2023-hottest-year-record>

Cox, C. y Chao, B. F. (2002). Detection of a large-scale mass redistribution in the terrestrial system since 1998 [Detección de una redistribución masiva a gran escala en el sistema terrestre desde 1998]. *Science*, 297(5582), 831-833. <https://doi.org/10.1126/science.1072188>

Dahmen, N., Clinton, JF, Meier, M., Stähler, S., Ceylan, S., Kim, D., Stott, AE y Giardini, D. (2022). MarsQuakeNet: A more complete marsquake catalog obtained by deep learning techniques [MarsQuakeNet: Un catálogo de martemotos más completo obtenido mediante técnicas de aprendizaje profundo]. *Journal of Geophysical Research: Planets*, 127(11) <https://doi.org/10.1029/2022je007503>

Damiani, T. M., Jordan, T. A., Ferraccioli, F., Young, D. A. y Blankenship, D. D. (2014). Variable crustal thickness beneath Thwaites Glacier revealed from airborne gravimetry, possible implications for geothermal heat flux in West Antarctica [Espesor variable de la corteza debajo del glaciar Thwaites revelado por gravimetría aérea, posibles implicaciones para el flujo de calor geotérmico en la Antártida Occidental]. *Earth and Planetary Science Letters*, 407, 109-122. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2014.09.023>

Danilov, A. D. y Konstantinova, A. V. (2014). Umen'shenie atomnogo kisloroda v verhnej atmosfere [Reducción del contenido de oxígeno atómico en la atmósfera superior]. *Geomagnetizm i Aeronomiya*, 54(2), 224-229. <https://doi.org/10.1134/S0016793214020066>

Danilov, A.D., Konstantinova, A.V. (2020). Dolgovremennye variacii parametrov srednej i verhnej atmosfery i ionosfery (obzor) [Variaciones a largo plazo de los parámetros de la atmósfera media y superior y de la ionosfera (reseña)]. *Geomagnetizm i aeronomiya*, 60, 411-435. <https://doi.org/10.1134/S0016793220040040>

Davidson, B. (2021). The next end of the world [El próximo fin del mundo]. *Space Weather News*. ISBN 9781098357788

Deng, S., Liu, S., Mo, X., Jiang, L. y Bauer-Gottwein, P. (2021). Polar Drift in the 1990s Explained by Terrestrial Water Storage Changes [La deriva polar de los años 90 explicada por los cambios en los depósitos terrestres de agua]. *Geophysical Research Letters*, 48(7). <https://doi.org/10.1029/2020gl092114>

Dyachenko, A. I. (2003). *Magnitnye polyusa Zemli* [Polos magnéticos de la Tierra] (p. 48). Moscú: MCCME.

Dziadek, R., Ferraccioli, F. y Gohl, K. (2021). High geothermal heat flow beneath Thwaites Glacier in West Antarctica inferred from aeromagnetic data [El alto flujo de calor geotérmico debajo del glaciar Thwaites en la Antártida occidental inferido a partir de datos aeromagnéticos]. *Communications Earth & Environment*, 2(16). <https://doi.org/10.1038/s43247-021-00242-3>

Earth Observatory (s.f.). Antarctic warming trends [Tendencias del calentamiento antártico]. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/36736/antarctic-warming-trends>

Easterbrook, D. J. (2016). Evidence-based climate science, data opposing CO2 emissions as the primary source of global warming [Ciencia climática basada en la evidencia, datos opuestos a las emisiones de CO2 como fuente primaria del calentamiento global] (2ª Ed.). Elsevier. Bellingham, EE. UU. <https://doi.org/10.1016/C2015-0-02097-4>

EM-DAT. (s.f.). Inventorying hazards & disasters worldwide since 1988 [Inventario de peligros y desastres en todo el mundo desde 1988]. <https://www.emdat.be>

Emmert, J. T., Lean, J. L. y Picone, J. M. (2010). Record-low thermospheric density during the 2008 solar minimum [Densidad termosférica mínima histórica durante el mínimo solar de 2008]. *Geophysical Research Letters*, 37(12). <https://doi.org/10.1029/2010gl043671>

EMSC (s.f.). EMSC Search earthquakes [Búsqueda de terremotos EMSC]. https://www.emsc-csem.org/Earthquake_information/
 Fernando, B., Daubar, I. J., Charalambous, C., Grindrod, P. M., Stott, A., Abdullah Al Ateqi, Atri, D., Ceylan, S., Clinton, J., Fillingim, M. O., Hauber, E., Hill, J. R., Kawamura, T., Li, J., Lucas, A., Lorenz, R. D., Ojha, L., Perrin, C., S. Piqueux y Stähler, S. C.... Banerdt, W. B. (2023). A tectonic origin for the largest marsquake observed by InSight [El origen tectónico del mayor terremoto observado por InSight]. *Geophysical Research Letters*, 50(20). <https://doi.org/10.1029/2023gl103619>

Frattasi, P. (8 de mayo de 2023). Ai Campi Flegrei 675 terremoti ad aprile 2023: è il mese con più scosse degli ultimi 20 anni [En Campi Flegrei, 675 terremotos en abril de 2023: es el mes con más temblores en los últimos 20 años]. *Fangage.it* <https://www.fangage.it/napoli/campi-flegrei-675-terremoti-aprile-2023/>

Gase, A., Bangs, N. L., Saffer, D. M., Han, S., Miller, P., Bell, R., Arai, R., Henrys, S. A., Shiraishi, K., Davy, R., Frahm, L. y Barker, D. (2023). Subducting volcanoclastic-rich upper crust supplies fluids for shallow megathrust and slow slip [La corteza superior subductora, rica en volcanoclásticos, suministra fluidos para la megafalla superficial y el deslizamiento lento]. *Science Advances*, 9(33). <https://doi.org/10.1126/sciadv.adh0150>

GeoNet (2022, 2 de diciembre). Strong M5.6 earthquake consistent with continued minor volcanic unrest at Taupō. Volcanic Alert Level remains at Level 1 [Fuerte terremoto de M5,6 consistente con una actividad volcánica menor continua en Taupō. Nivel de Alerta Volcánica se mantiene en Nivel 1]. *Volcanic Activity Bulletin*. <https://www.geonet.org.nz/vabs/7tu66IDztDnlaYDG0LYSgI>

Geyer, R., Jambeck, J. R. y Law, K. L. (2017). Production, use, and fate of all plastics ever made [Producción, uso y destino de todos los plásticos jamás fabricados]. *Science Advances*, 3(7). <https://doi.org/10.1126/sciadv.1700782>

Givishvili, G. V. y Leshchenko, L. N. (2022). Mnogoletnij trend reakcii E-sloya ionosfery na solnechnye vspyshki [Tendencia a largo plazo de la respuesta de la capa E de la ionosfera a las erupciones solares]. *Solnechno-Zemnaya Fizika*, 8(1), 51-57. <https://doi.org/10.12737/szf-81202206>

Givishvili, G. V. y Leshchenko, L. N. (2022). O prichinah ohlazhdeniya i osedaniya srednej i verhnej atmosfery [Sobre las causas del enfriamiento y hundimiento de la atmósfera media y superior]. *Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana*, 58(5), 601-614. <https://doi.org/10.31857/S0002351522050042>

Gorny, V. I. et al. (2001). Model' mantijno-litosfernogo vzaimodejstviya po dannym kompleksirovaniya na geotraverse Uralsejsmorazvedki i distancionnogo geotermicheskogo metoda [Modelo de la interacción manto-litosférica basado en los datos de la geotravesía de los Urales para la prospección sísmológica y el método geotérmico a distancia] (pp. 227-238). *Glubinnoe stroenie i geodinamika Yuzhnogo Urala*. Tver: Izd. GERS

Hapgood, C. H. (1958). Earth's shifting crust: A key to some basic problems of earth science [La corteza terrestre en movimiento: una clave para algunos problemas básicos de las ciencias de la Tierra]. *Pantheon Books, Science*.

Heinrich, H. (1988). Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years [Origen y consecuencias del desplazamiento en balsa de hielo cíclico en el Océano Atlántico Nororiental durante los últimos 130.000 años]. *Quaternary Research*, 29(2), 142–152. [https://doi.org/10.1016/0033-5894\(88\)90057-9](https://doi.org/10.1016/0033-5894(88)90057-9)

Hruzdov, V. I. (octubre de 2021). Nejtronnaja Vselennaja, Gl. 10. Raschjot nejtronnogo jadra Zemli [Universo de neutrones. Cap. 10. Cálculo del núcleo de neutrones de la Tierra]. Moscú: Libmonster Rusia. <https://libmonster.ru/m/articles/download/17227/4846>

Hughes, T. P., Kerry, J. T., Baird, A. H., Connolly, S. R., Dietzel, A., Eakin, C. M., Heron, S. F., Hoey, A. S., Hoogenboom, M. O., Liu, G., McWilliam, M. J., Pears, R. J., Pratchett, M. S., Skirving, W. J., Stella, J. S. y Torda, G. (2018). Global warming transforms coral reef assemblages [El calentamiento global transforma los conjuntos de arrecifes de coral]. *Nature*, 556, 492–496. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0041-2>

IRIS (s.f.). IRIS Wilber 3: Select Event [IRIS Wilber 3: Seleccionar suceso] http://ds.iris.edu/wilber3/find_event

Kamis, J. E. (s.f.). Geologically Induced Northern Atlantic Ocean “Warm Blob” Melting Southern Greenland Ice Sheet [La mancha cálida del Océano Atlántico Norte, inducida geológicamente, derrite la capa de hielo del sur de Groenlandia]. *Plate Climatology*. <https://www.plateclimatology.com/geologically-induced-northern-atlantic-ocean-warm-blob-melting-southern-greenland-ice-sheet>

Kamis, J. E. (3 de noviembre de 2016). West Antarctic glacial melting from deep earth geological heat flow not global warming [El derretimiento de los glaciares de la Antártida Occidental debe al flujo de calor geológico de la Tierra profunda, no al calentamiento global]. *Plate Climatology*. <https://www.plateclimatology.com/west-antarctic-glacial-melting-from-deep-earth-geological-heat-flow-not-global-warming>

Khalilov, E. (Ed.). (2010). Global changes of the environment: Threatening the progress of civilization [Cambios globales del medio ambiente: amenaza para el progreso de la civilización]. *GEOCHANGE: Problems of Global Changes of the Geological Environment*, 1, Londres, ISSN 2218-5798.

Kopylov, I. (2001, 1 de noviembre) Elektromekhanika Solnechnoj sistemy [Electromecánica del sistema solar]. NVO.

Korula, N. (18 de febrero de 2010). Combinatorial Optimization. Maximum Weight Matching in Bipartite Graphs [Optimización combinatoria. Coincidencia de peso máximo en gráficos bipartitos]. Conferencia CS 598CSC: Combinatorial Optimization <https://courses.engr.illinois.edu/cs598csc/sp2010/lectures/lecture10.pdf>

Laufkötter, C., Zscheischler, J. y Frölicher, T. L. (2020). *Science*, 369(6511), 1621–1625. <https://doi.org/10.1126/science.aba0690>

Lebreton, L., Egger, M. y Slat, B. (2019). A global mass budget for positively buoyant macroplastic debris in the ocean [Un presupuesto masivo global para desechos macrolásticos que flotan positivamente en el océano]. *Scientific Reports*, 9, 12922. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-49413-5>

- Li, S., Li, Y., Zhang, Y., Zhou, Z., Guo, J. y Weng, A. (2023). Remnant of the late Permian superplume that generated the Siberian Traps inferred from geomagnetic data [Resto del superpluma del Pérmico tardío que generó los traps siberianos, inferido a partir de datos geomagnéticos]. *Nature Communications*, 14, 1311. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-37053-3>
- Livermore, P. W., Hollerbach, R. y Finlay, C. C. (2017). An accelerating high-latitude jet in Earth's core [Un chorro acelerado de alta latitud en el núcleo de la Tierra]. *Nature Geoscience*, 10, 62–68. <https://doi.org/10.1038/ngeo2859>
- Loose, B., Naveira Garabato, A. C., Schlosser, P., Jenkins, W. J., Vaughan, D. y Heywood, K. J. (2018). Evidence of an active volcanic heat source beneath the Pine Island Glacier [Evidencia de una fuente de calor volcánica activa debajo del glaciar Pine Island]. *Nature Communications*, 9(2431). <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04421-3>
- Lübken, F.-J., Berger, U. y Baumgarten, G. (2013). Temperature trends in the midlatitude summer mesosphere [Tendencias de la temperatura en la mesosfera estival de latitudes medias]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(24), 13.347–13.360. <https://doi.org/10.1002/2013jd020576>
- Lushvin, P., (27 de marzo de 2018). Prirodnye ravninnye pozhary i kak ih minimizirovat' — 2 [Incendios naturales en llanuras y cómo minimizarlos — 2]. *Regnum*. <https://regnum.ru/article/2395754>
- Lushvin, P., (2019). Prirodnye ravninnye pozhary i kak ih minimizirovat' [Incendios naturales en llanuras y cómo minimizarlos]. Presentación en la 26ª reunión del Seminario-Conferencia Interdisciplinario de toda Rusia de las Facultades de Geología y Geografía de la Universidad Estatal de Moscú “Sistema Planeta Tierra”, 30 de enero - 2 de febrero de 2018.
- Lushvin, P. y Buyanova, M. (2021). Development of Ice Cover in Water Areas during Methane [Desarrollo de la cubierta de hielo en zonas acuáticas durante el metano]. *International Journal of Geosciences*, 12(9), 927-940. <https://doi.org/10.4236/ijg.2021.129047>
- Lushvin, P., Buyanova, M. (2021). History of Observations of Seismogenic Phenomena in the Atmosphere and Formalization of Their Decryption [Historia de las observaciones de fenómenos sismogénicos en la atmósfera y formalización de su descifrado]. *International Journal of Atmospheric and Oceanic Sciences*, 5(1), 13-19. <https://doi.org/10.11648/j.ijaos.20210501.13>
- Malinin V. N. y Vaynovsky P. A. (2021). Trendy komponent vlagoobmena v sisteme okean–atmosfera v usloviyah global'nogo potepleniya, po dannym arhiva Reanalysis-2 [Tendencias de los componentes del intercambio de humedad en el sistema océano-atmósfera en condiciones de calentamiento global, según el archivo Reanalysis-2]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniâ Zemli iz kosmosa*, 18(3), 9-25. DOI : 10.21046/2070-7401-2021-18-3-9-25
- Meinen, C. S., Pérez, R. C., Dong, S., Piola, A. R. y Campos, E. (2020). Observed ocean bottom temperature variability at four sites in the northwestern argentine basin: Evidence of decadal deep/abyssal warming amidst hourly to interannual variability during 2009–2019 [Variabilidad observada de la temperatura del fondo oceánico en cuatro sitios de la Cuenca del Noroeste Argentino: Evidencia de calentamiento decadal profundo/abisal en medio de variabilidad horaria a interanual durante 2009-2019]. *Geophysical Research Letters*, 47(18). <https://doi.org/10.1029/2020gl089093>
- Mersereau, D., (9 de septiembre de 2023). A world first, every tropical ocean saw a Category 5 storm in 2023 [Por primera vez en el mundo, todos los océanos tropicales vieron una tormenta de categoría 5 en 2023]. *The Weather Network*. <https://www.theweathernetwork.com/en/news/weather/severe/a-world-first-every-tropical-ocean-saw-a-category-5-hurricane-cyclone-in-2023>
- Mikhaylova R.S. (2014). Sil'nye zemletryaseniya v mantii i ih vliyaniye v blizhnej i dal'nej zone [Fuertes terremotos en el manto y su impacto en la zona cercana y lejana]. *Servicio Geofísico de la Academia de Ciencias de Rusia*. <http://www.emsd.ru/conf2013lib/pdf/seism/Mihaylova.pdf>
- Mikhailova, R. S., Ulubieva, T. R., Petrova N. V. (2021). Gindukushskoe zemletryasenie 26 oktyabrya 2015 g. s Mw=7.5, 10~7: predshestvuyushchaya seismichnost' i aftershokovaya posledovatel'nost' [El terremoto de Hindú Kush del 26 de Octubre de 2015, con Mw=7.5, 10~7: Sismicidad precedente y secuencia de réplicas]. *Zemletryaseniya Severnoj Evrazii*, 24, 324-339. <https://doi.org/10.35540/1818-6254.2021.24.31>
- Morton, A. (27 de diciembre de 2019). Hot blob: vast patch of warm water off New Zealand coast puzzles scientists [Mancha caliente: una vasta mancha de agua caliente frente a las costas de Nueva Zelanda desconcierta a los científicos]. *The Guardian*. <https://www.theguardian.com/world/2019/dec/27/hot-blob-vast-and-unusual-patch-of-warm-water-off-new-zealand-coast-puzzles-scientists>
- Nippon. (2018, 16 de mayo). Sakurajima, Japan's Most Active Volcano [Sakurajima, el volcán más activo de Japón]. <https://www.nippon.com/en/features/h00194/>
- Oppo, D. (31 de octubre de 2013). Is global heating hiding out in the oceans? [¿Se esconde el calentamiento global en los océanos?] *Columbia Climate School. The Earth Institute*. <https://www.earth.columbia.edu/articles/view/3130>
- Ostle, C., Thompson, R. C., Broughton, D., Gregory, L., Wootton, M. y Johns, D. G. (2019). The rise in ocean plastics evidenced from a 60-year time series [El aumento de los plásticos oceánicos evidenciado a partir de una serie temporal de 60 años]. *Nature Communications*, 10(1622). <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09506-1>
- Otosaka, I. N., Horwath, M., Mottram, R. y Nowicki, S. (2023). Mass Balances of the Antarctic and Greenland Ice Sheets Monitored from Space [Balances de masa de las capas de hielo de la Antártida y Groenlandia monitoreados desde el espacio]. *Surveys in Geophysics*, 44, 1615–1652. <https://doi.org/10.1007/s10712-023-09795-8>
- Petrov, N. V. (2015). Klimat Zemli: reshenie problemy izmeneniya klimata Zemli s pozicii zakona sohraneniya zhizni v kosmose [Clima de la Tierra: solución al problema del cambio climático de la Tierra desde la posición de la ley de preservación de la vida en el espacio]. *Ekologiya i razvitie obshchestva: zhurn. / Mezhdunarodnaya akademiya nauk ekologii, bezopasnosti cheloveka i prirody*, 4, 11-23. <http://www.trinitas.ru/rus/doc/0016/001d/2551-ptr.pdf>

Pissoft, P., Sacha, P., Polvani, L. M., Añel, J. A., de la Torre, L., Eichinger, R., Foelsche, U., Huszar, P., Jacobi, C., Karlicky, J., Kuchar, A., Miksovsky, J., Zak, M. y Rieder, H. E. (2021). Stratospheric contraction caused by increasing greenhouse gases [Contracción estratosférica causada por el aumento de gases de efecto invernadero]. *Environmental Research Letters*, 16, 064038. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abfe2b>

PMODWRC (s.f.). Solar Constant: Construction of a Composite Total Solar Irradiance (TSI) Time-Series from 1978 to the Present [Constante solar: construcción de una serie temporal compuesta de irradiancia solar total (TSI) desde 1978 hasta el presente] <https://www.pmodwrc.ch/en/research-development/solar-physics/tsi-composite/>

Reteyum, A. Yu. (2020, 11 de abril). Epidemii v obstanovke bol'shogo solnechnogo minimala [Epidemias en el contexto de un gran mínimo solar]. *Regnum*. <https://regnum.ru/article/2913426>

Reteyum, A. Yu. (2020, 11 de abril). Opasnyj mif antropogennogo poteplenija [El peligroso mito del calentamiento antropogénico]. *Regnum*. <https://regnum.ru/article/3101660>

Rezvanbehbahani, S., Stearns, L. A., Kadivar, A., Walker, J. D. y van der Veen, C. J. (2017). Predicting the geothermal heat flux in Greenland: A machine learning approach [Predicción del flujo de calor geotérmico en Groenlandia: un enfoque de aprendizaje automático]. *Geophysical Research Letters*, 44(24), 12.271-12.279. <https://doi.org/10.1002/2017gl075661>

Rogozhina, I., Petrunin, A. G., Vaughan, A. P. M., Steinberger, B., Johnson, J. V., Kaban, M. K., Calov, R., Rickers, F., Thomas, M. y Koulakov, I. (2016). Melting at the base of the Greenland ice sheet explained by Iceland hotspot history [Deshielo en la base de la capa de hielo de Groenlandia explicado por la historia del punto caliente de Islandia]. *Nature Geoscience*, 9, 366-369. <https://doi.org/10.1038/ngeo2689>

Romagnoli, C., Zerbini, S., Lago, L., Richter, B., Simon, D., Domenichini, F., Elmi, C. y Ghirotti, M. (2003). Influence of soil consolidation and thermal expansion effects on height and gravity variations [Influencia de los efectos de consolidación y expansión térmica del suelo en las variaciones de altura y gravedad]. *Journal of Geodynamics*, 35(4-5), 521-539. [https://doi.org/10.1016/S0264-3707\(03\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0264-3707(03)00012-7)

Rosenthal, Y., Linsley, B. K. y Oppo, D. W. (2013). Pacific ocean heat content during the past 10,000 years [Contenido de calor del océano Pacífico durante los últimos 10.000 años]. *Science*, 342(6158), 617–621. <https://doi.org/10.1126/science.1240837>

Rysgaard, S., Bendtsen, J., Mortensen, J. y Sej, M. K. (2018). High geothermal heat flux in close proximity to the Northeast Greenland Ice Stream [Alto flujo de calor geotérmico muy cerca de la corriente de hielo del noreste de Groenlandia]. *Scientific Reports*, 8(1344). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-19244-x>

Sawyer, D. E., Urgeles, R. y Lo Iacono, C. (2023). 50,000 yr of recurrent volcanoclastic megabed deposition in the Marsili Basin, Tyrrhenian Sea [50.000 años de deposición recurrente de megalechos volcánicos en la cuenca de Marsili, mar Tirreno]. *Geology*, 51(11), 1001–1006. <https://doi.org/10.1130/g51198.1>

Seroussi, H., Ivins, E. R., Wiens, D. A. y Bondzio, J. (2017). Influence of a West Antarctic mantle plume on ice sheet basal conditions [Influencia de una pluma del manto de la Antártida Occidental en las condiciones basales de la capa de hielo]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 122(9), 7127–7155. <https://doi.org/10.1002/2017jb014423>

Seroussi, H., Morlighem, M., Rignot, E., Mouginot, J., Larour, E., Schodlok, M. y Khazendar, A. (2014). Sensitivity of the Dynamics of Pine Island Glacier, West Antarctica, to climate forcing for the next 50 years [Sensibilidad de la dinámica del glaciar Pine Island, Antártida Occidental, al forzamiento climático para los próximos 50 años]. *The Cryosphere*, 8(5), 1699–1710. <https://doi.org/10.5194/tc-8-1699-2014>

Smolkov, G. Ya. (2018). Exposure of the solar system and the earth to external influences [Exposición del sistema solar y la Tierra a influencias externas]. *Physics & Astronomy International Journal*, 2(4), 310-321. <https://doi.org/10.15406/paij.2018.02.00104>

Smotrin E. G., candidato de ciencias militares. (1998). Stihii i katastrofy — glavnaya ugroza planetarnoj i evrazijskoj bezopasnosti pri vhode v III tysyacheletie n. e. [Los desastres naturales y las catástrofes son la principal amenaza para la seguridad planetaria y euroasiática al entrar en el tercer milenio d.C.]. *Geostrategiya i tekhnologii XXI*. <http://www.geost-21.su/ru/node/1>

Strass, V. H., Rohardt, G., Kanzow, T., Hoppema, M. y Boebel, O. (2020). Multidecadal warming and density loss in the Deep Weddell Sea, Antarctica [Calentamiento multidecenal y pérdida de densidad en las profundidades del mar de Weddell, Antártida]. *Journal of Climate*, 33(22), 9863–9881. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-20-0271.1>

Sun, D., Li, F., Jing, Z., Hu, S. y Zhang, B. (2023). Frequent marine heatwaves hidden below the surface of the global ocean [Frecuentes olas de calor marinas ocultas bajo la superficie del océano mundial]. *Nature Geoscience*, 16(12), 1099–1104. <https://doi.org/10.1038/s41561-023-01325-w>

Sun, W. y Tkalčić, H. (2022). Repetitive marsquakes in Martian upper mantle [Martemotos repetitivos en el manto superior marciano]. *Nature Communications*, 13, 1695. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-29329-x>

Swiss Re Institute. (2023, 14 de diciembre). Natural catastrophes in focus: Tornados, hail and thunderstorms [Catástrofes naturales en foco: tornados, granizo y tormentas eléctricas]. <https://www.swissre.com/risk-knowledge/mitigating-climate-risk/tornados-hail-thunderstorms.html>

Tarasov, L. V. (2012) Zemnoj magnetizm: Uchebnoe posobie [Magnetismo terrestre: un libro de texto] (p. 184). Dolgoprudny: Editorial Intellect

Thomas, C. (1993). The Adam & Eve story: The history of cataclysms [La historia de Adán y Eva: la historia de los cataclismos]. Bengal Tiger Pr. Toyokuni, G., Matsuno, T. y Zhao, D. (2020). P Wave Tomography Beneath Greenland and Surrounding Regions: 1. Crust and Upper Mantle [Tomografía de ondas P bajo Groenlandia y regiones circundantes: 1. Corteza y manto superior]. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 125(12).

