



Los satélites de observación de la Tierra se han convertido en una de las herramientas más importantes para vigilar el estado de nuestro planeta. Entre las tareas de la Agencia Espacial Europea, la teledetección por satélite se ha convertido en un elemento clave que proporciona no sólo a las sociedades europeas información inestimable sobre su entorno y su desarrollo.

Con el Atlas Escolar de la ESA, eoVision y la ESA continúan una larga historia de cooperación proporcionando a profesores y estudiantes de secundaria material didáctico actualizado que introduce el uso de datos satelitales y utiliza el enorme potencial de la observación de la Tierra para responder a los importantes retos de nuestro tiempo.

El Atlas Escolar de la ESA consta de este atlas impreso y de una versión adicional en línea que proporciona una gran cantidad de estudios de casos para una gran variedad de temas:



[www.esa-schoolatlas.eu](http://www.esa-schoolatlas.eu)

ISBN 978-3-902834-36-2



9 783902 183436  
[www.eovision.at](http://www.eovision.at)

La Tierra vista desde el espacio

ATLAS ESCOLAR DE LA ESA

eoVISION  
MEDIA

AGENCIA ESPACIAL EUROPEA

# ATLAS ESCOLAR DE LA ESA

## La Tierra vista desde el espacio





# ATLAS ESCOLAR DE LA ESA

la Tierra vista desde el espacio

# ATLAS ESCOLAR DE LA ESA

## la Tierra vista desde el espacio

1. Edición del atlas, 2024

© 2024 eoVision GmbH  
Franz-Josef-Strasse 19  
5020 Salzburg, Austria  
Tel.: +43 662 243217  
office@eovision.at  
www.eovision.at

#### **Coordinación**

Markus Eisl

#### **Edición de imágenes**

Markus Eisl, Gerald Mansberger

#### **Idea y concepto**

Markus Eisl, Gerald Mansberger

#### **Editor**

Markus Eisl

#### **Layout**

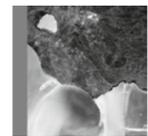
eoVision, Salzburgo

Printed in the European Union

ISBN: 978-3-902834-36-2

# Índice

Prólogo	6
Utilización del Atlas	7
Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	7



## La Agencia Espacial Europea

8

<b>La Agencia Espacial Europea</b>	8
<b>Instalaciones</b>	9
<b>Ciencia espacial</b>	10
<b>Vuelo espacial</b>	
Lanzaderas	11
Vuelos espaciales tripulados	11
<b>Observación de la Tierra</b>	12
<b>Programa educativo</b>	13
<b>Copernicus</b>	
Seguimiento del estado de la Tierra	14
Servicios de información Copernicus	14
La flota de satélites Sentinel	15



## Observación de la Tierra

16

<b>Tipos de satélites</b>	16
<b>Órbitas</b>	17
<b>Datos ópticos de satélite</b>	18
<b>Satélites Radar</b>	19

<b>Evaluación de datos de satélite</b>	20
<b>De los datos de satélite a los mapas</b>	21
<b>Visión global desde el espacio</b>	22



## Litosfera

24

<b>Tectónica</b>	
Placas tectónicas	24
Montañas plegables – Himalaya	24
Valle del Rift de África Oriental	25
<b>Formación del paisaje</b>	
Erosión glaciar – Himalaya	26
Erosión fluvial – El Grand Canyon	27
<b>Vulcanismo</b>	
Monte Etna	28
La Palma	29
<b>Minería</b>	
Mina de cobre – Aitik	30
Minería de oro – Madre de Dios	31
Mina de carbón – Bełchatów	32
Extracción de litio – Salar de Atacama	33



## Hidrosfera

34

<b>Temperaturas del mar</b>	
Temperaturas de la superficie del mar	34
El Niño y La Niña	34
Corriente del Golfo y del Atlántico Norte	35
<b>Sistemas hidrológicos</b>	
El río Nilo	36
Mar de Aral	38
Delta del Mississippi	39
<b>Inundaciones</b>	
Inundaciones – Plattsmouth	40
Protección – Venecia	41

# Índice

<b>Cubierta y uso del suelo</b>	60
<b>Agricultura y regadío</b>	
Agricultura de invernadero – El Ejido	62
Agricultura de regadío – Ha'il	63
<b>Bosques y deforestación</b>	
Deforestación – Rondônia	64
Incendios forestales – Canada	65
<b>Acuicultura</b>	66
<b>Protección de la naturaleza</b>	
Parque nacional marino – Bissago	67
Parque nacional alpino – Hohe Tauern	67



## Antroposfera

68

<b>Distribución de la población</b>	68
<b>Urbanización y desarrollo urbano</b>	
Urbanización – Niamey	70
Desarrollo urbano – Suqian	71
<b>Infraestructuras de tráfico</b>	
Tráfico aéreo – aeropuerto de Estambul	72
Envío – Canal de Suez	73
<b>Energías renovables</b>	
Energía hidroeléctrica – Belo Monte	74
Energía eólica – estuario del Támesis	75
Energía solar – Solarpark Böhlen	75

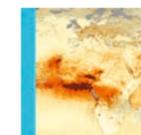
Glosario	76
Índice geográfico	79
Fuentes de imágenes y datos	80



## Criosfera

42

<b>Ártico</b>	
Hielo marino ártico	42
Escudo de hielo de Groenlandia	43
<b>Antártida</b>	
Escudo y plataformas de hielo	44
Iceberg A23a	45
<b>Glaciares</b>	
Glaciar Columbia	46
Glaciar Aletsch	47



## Atmósfera

48

<b>Temperaturas y anomalías térmicas</b>	48
<b>Nubosidad y precipitaciones</b>	
Nubosidad	50
Formación de nubes y precipitaciones	50
Diagramas climáticos	51
<b>Estación y hora del día</b>	
La Tierra en la luz visible	52
La Tierra en luz infrarroja	53
<b>Gases traza</b>	
Dióxido de nitrógeno (NO <sub>2</sub> )	54
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	54
Metano (CH <sub>4</sub> )	55
Ozono (O <sub>3</sub> ) – El agujero de ozono	55

<b>Zonas climáticas</b>	56
-------------------------	----



## Biosfera

58

<b>Distribución de la biomasa</b>	
La vida en el agua	58
Vegetación terrestre	59

# La Tierra vista desde el espacio

Los satélites de observación de la Tierra -también conocidos como teledetección- han cambiado las reglas del juego al ayudarnos a comprender mejor las complejidades de nuestro planeta y responder a los retos que afrontamos en materia de medio ambiente, cambio climático y sostenibilidad. Los datos de los satélites no solo se utilizan para responder a preguntas cruciales de las ciencias de la Tierra, sino también para predecir el tiempo, ayudar en la respuesta a catástrofes y proporcionar información esencial para optimizar las prácticas agrícolas, la gestión del agua y la ubicación de plantas de energía renovable.

En la actualidad, los datos obtenidos por satélite constituyen la base de la toma de decisiones basada en pruebas y de innumerables aplicaciones cotidianas. La Agencia Espacial Europea (ESA), líder mundial en observación de la Tierra, se dedica a fomentar el desarrollo de la tecnología espacial de vanguardia necesaria para comprender mejor el planeta, mejorar la vida cotidiana de los ciudadanos y apoyar la elaboración de políticas eficaces para un futuro más sostenible. Al mismo tiempo, beneficia a las empresas y economías de todo el mundo.

Los sistemas basados en el espacio han experimentado avances significativos en los últimos años, impulsados por la innovación tecnológica y la creciente demanda de datos precisos, oportunos y completos sobre nuestro planeta. Estas innovaciones abarcan diversos ámbitos, como la tecnología de satélites, el procesamiento de datos y el intercambio de información. Copernicus, el sistema de observación de la Tierra líder en el mundo y pieza clave del Programa Espacial de la Unión Europea, es el resultado de muchos de estos avances.

Copernicus proporciona información precisa, oportuna y de fácil acceso, disponible gratuitamente para una amplia gama de servicios operativos y usuarios, lo que permite mejorar la gestión del medio

ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la seguridad civil.

Como complemento de Copérnico, el desarrollo de sofisticadas misiones científicas y de satélites de obtención de imágenes de alta resolución equipados con sensores avanzados capaces de captar imágenes de la superficie terrestre con una claridad y un detalle sin precedentes ha dado lugar a múltiples aplicaciones nuevas, como la planificación urbana y el seguimiento de cultivos, además de apoyar una mayor comprensión de los sistemas terrestres.

Para fomentar un amplio uso de los datos obtenidos por satélite y sensibilizar a los ciudadanos, la ESA desarrolló una gran variedad de recursos y actividades que tienen como objetivo informar a profesores y alumnos sobre la observación de la Tierra, facilitando el acceso a materiales que pueden utilizarse en las clases. En el contexto de estas actividades, en 2005 se publicó el primer Atlas Escolar de la ESA. Ahora, más de 15 años después, se publica esta actualización del Atlas -la Próxima Generación-, que brindará la oportunidad de aprender más sobre el potencial de los mapas digitales y las plataformas en línea que proporcionan la información.

Espero sinceramente que los lectores y usuarios de este Atlas Escolar se sientan inspirados para aprender más sobre la Observación de la Tierra por satélite y para seguir estudios y formación sobre cómo utilizar estos datos verdaderamente notables y valiosos.

*Simonetta Cheli*

*Directora de Programas de Observación de la Tierra  
Agencia Espacial Europea*

# Utilización del Atlas

El Atlas Escolar de la ESA consta de dos componentes: Este atlas impreso y un atlas digital, una colección de materiales accesible en línea a través de la URL

[www.schoolatlas.esa.int](http://www.schoolatlas.esa.int)



Este atlas impreso contiene una selección de material general y estudios de casos que proporcionan acceso desconectado a aspectos importantes de la observación de la Tierra, con una selección de algunos estudios de casos que destacan la aplicación de las técnicas de observación de la Tierra.

## Estructura del Atlas

El atlas está estructurado siguiendo el modelo de esferas geofísicas que comprenden la litosfera, la hidrosfera, la criosfera, la atmósfera y la biosfera. Debido a la complejidad de nuestro mundo y a la importancia específica de la huella humana y el cambio climático, se ha añadido un capítulo dedicado a la antroposfera. Además, otros capítulos proporcionan información general sobre la Agencia Espacial Europea y sus actividades y describen cuestiones básicas relativas a los principios y la aplicación de las herramientas de observación de la Tierra.

Para facilitar el cambio a la versión en línea del material, se han añadido códigos QR. Los códigos QR codifican la URL de las respectivas páginas del sitio web del atlas escolar.

Nuestro mundo se ha vuelto demasiado y complejo. Los fenómenos a todos los niveles están interrelacionados y se influyen mutuamente. En este contexto, las Naciones Unidas han desarrollado los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que proporcionan un medio tanto para categorizar los fenómenos de la Tierra

como para abordar importantes campos de actividad, facilitando la definición y el cumplimiento de las prioridades. Este marco, de gran utilidad y uso cada vez más extendido, se ha integrado en el atlas. Los iconos que indican los ODS pertinentes se han añadido a los respectivos estudios de casos, lo que facilita a profesores y estudiantes comprobar de la pertinencia de los estudios de casos para su tarea educativa concreta.

## Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU

Creados en 2016, los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas son un marco integral que aborda los retos mundiales, desde la pobreza y el hambre hasta la acción por el clima y la conservación de la biodiversidad. La observación de la Tierra desempeña un papel fundamental en la consecución de estos objetivos, ya que proporciona datos y perspectivas esenciales.

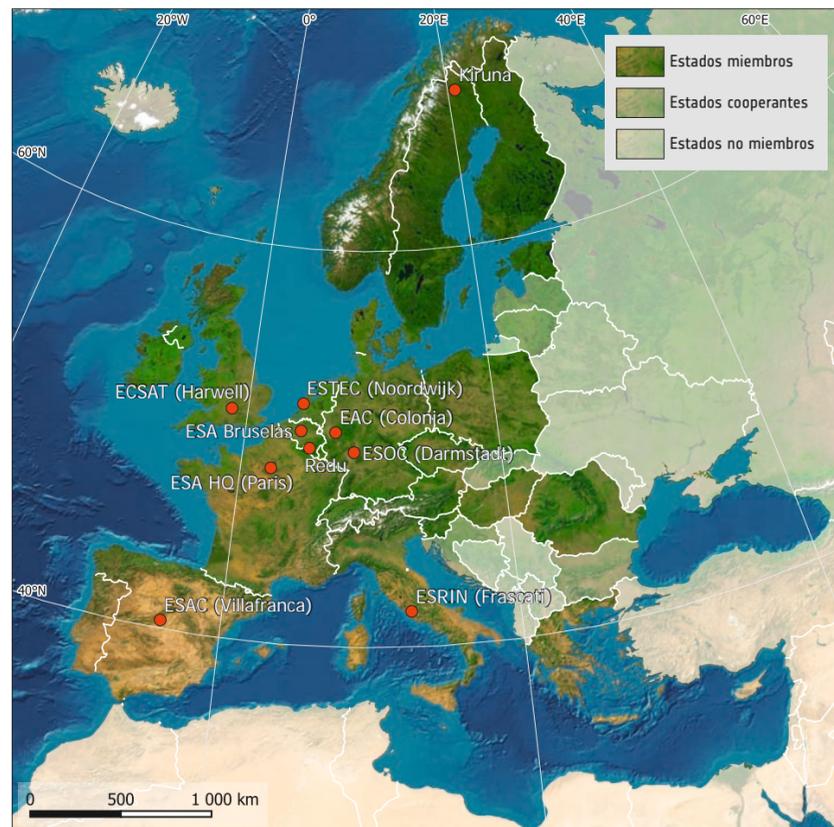
Algunos ejemplos ilustrativos son el seguimiento y la evaluación de los cambios en la cubierta terrestre, la productividad agrícola y los recursos hídricos a través de satélites, que contribuyen a ODS como Hambre Cero, Agua Limpia y Saneamiento, y Vida en la Tierra. Los datos de observación de la Tierra ayudan en la gestión de catástrofes, apoyando el ODS 11 (Ciudades y comunidades sostenibles) al proporcionar información en tiempo real durante las emergencias. La observación de la Tierra también desempeña un papel crucial en la vigilancia del clima (ODS 13, Acción por el Clima) a través de la medición de las concentraciones de gases de efecto invernadero, el aumento del nivel del mar y las anomalías de temperatura. Además, las imágenes por satélite ayudan a cartografiar la expansión urbana y apoyan la planificación urbana sostenible (ODS 11). Los esfuerzos de conservación de la biodiversidad (ODS 15, Vida en la Tierra) se benefician de la observación de la Tierra mediante el seguimiento de los ecosistemas, la deforestación y los hábitats de la fauna.





1. Estados miembros de la Agencia Espacial Europea (ESA) a partir de 2024.

2. Estados miembros, países cooperantes e instalaciones de la ESA.



## Agencia Espacial Europea

La Agencia Espacial Europea (ESA) se fundó en 1975. Su misión es dar forma al desarrollo de la capacidad espacial europea y garantizar que la inversión en el espacio siga aportando beneficios a los pueblos de Europa. Hoy la ESA cuenta con 23 Estados miembros. Al coordinar los recursos financieros e intelectuales de sus miembros, puede emprender programas y actividades que van mucho más allá del alcance de un solo país europeo.

Durante más de cuatro décadas, los Estados miembros de la ESA han trabajado juntos y han aunado sus recursos para abrir nuevas vías en la exploración espacial, desarrollar tecnología avanzada y construir una industria competitiva capaz de competir a nivel mundial.

Los programas de la ESA en materia de ciencia, lanzadores, telecomunicaciones, observación de la Tierra y vuelos espaciales tripulados han demostrado un alto nivel de competencia y ya han aportado numerosos beneficios a la vida cotidiana. Además de trabajar en sus propios proyectos independientes, la ESA coopera regularmente con otras agencias e instituciones de Estados Unidos, Rusia, Canadá, Japón y China.

### Una visión europea

La idea de crear una organización espacial independiente en Europa se remonta a principios de los años sesenta, cuando seis países europeos -Alemania, Bélgica,

Francia, Italia, Países Bajos y Reino Unido-, asociados con Australia, formaron la ELDO (Organización Europea para el Desarrollo de Lanzadores) para desarrollar y construir un lanzador pesado llamado Europa. En 1962, los mismos países, a los que se unieron Dinamarca, España, Suecia y Suiza, formaron la ESRO (Organización Europea de Investigación Espacial) para llevar a cabo programas de satélites científicos y abarcar todo tipo de actividades espaciales, desde satélites de telecomunicaciones hasta lanzadores propuestos a escala nacional.

En 1975 se aprobó a nivel político un convenio para crear la ESA. Ese mismo año Irlanda se convirtió en miembro de la ESA, y en 1979 se firmó el primero de una serie de Acuerdos de Cooperación que permitieron la participación de Canadá en determinados programas de la ESA y formar parte del Consejo de la ESA. El convenio entró en vigor el 31 de octubre de 1980. Desde entonces, a los miembros fundadores se han sumado otros doce países europeos. Además de los miembros regulares, Letonia, Lituania y Eslovaquia se han incorporado como miembros no plenos.

Como importante institución europea, la ESA coopera estrechamente con la Comisión Europea e instituciones como la Agencia Europea de Medio Ambiente AEMA y EUMETSAT, por ejemplo en el contexto del Programa Copernicus.

### Actividades de la AEE

Siguiendo la estrategia definida por la ESA, sus actividades abarcan una amplia gama de campos diversos, todos ellos relacionados con la investigación y la utilización del espacio.

Entre las actividades más importantes destacan:

- Observación de la Tierra
- Exploración humana y robótica
- Lanzaderas
- Navegación
- Ciencia espacial
- Ingeniería y tecnología espaciales
- Operaciones
- Telecomunicaciones y aplicaciones integradas
- Preparación para el futuro
- Espacio para el Clima.



3. Dos tercios del presupuesto de la ESA se destinan a la observación de la Tierra, la navegación, y el transporte espacial.



4. ESRIN, Frascati, Italia.



5. ECSAT, Harwell, Reino Unido.



6. ESOC, Darmstadt, Alemania.



7. ESTEC, Noordwijk, Países Bajos.



8- ESEC, Redu, Bélgica.

**Sede de la ESA.** El Director General y el gabinete tienen sus oficinas en la Sede, situada en París (Francia). Es el centro administrativo de la organización y alberga las principales oficinas de personal, asuntos jurídicos, finanzas, presupuesto, auditoría interna, estrategia, relaciones internacionales y comunicaciones.

**ESA ESTEC.** El Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espaciales de Noordwijk (Países Bajos) es el mayor establecimiento de la ESA, centro de pruebas y eje de las actividades espaciales europeas, responsable de la preparación técnica y la gestión de los proyectos espaciales de la ESA y de prestar apoyo técnico a las actividades espaciales.

**ESA ESOC.** El Centro Europeo de Operaciones Espaciales de Darmstadt (Alemania) garantiza el buen funcionamiento de las naves espaciales en órbita. Conectado con estaciones terrestres de todo el mundo, se encarga de seguir y controlar los satélites y de llevar a cabo operaciones de carga útil y supervisión de sistemas.

**ESA ESRIN.** El centro de observación de la Tierra de la ESA en Frascati, cerca de Roma, gestiona el segmento terreno de los satélites de observación de la Tierra de la ESA y de terceros, mantiene el mayor archivo de datos medioambientales de Europa y coordina más de 20 estaciones terrestres e instalaciones del segmento terreno en Europa.

**ESA EAC.** El Centro Europeo de Astronautas de Colonia (Alemania) es un centro de formación y base de operaciones para todos los astronautas europeos. Es un centro de excelencia para la formación de astronautas y el apoyo médico.

**ESA ESAC.** El Centro Europeo de Astronomía Espacial de Villafranca de la Cañada (España) alberga los centros de operaciones científicas de las misiones astronómicas y planetarias de la ESA y sus archivos. Presta servicios a proyectos de investigación astronómica en todo el mundo.

El **Puerto Espacial Europeo**, situado en la Guayana Francesa, es la puerta de Europa al espacio. Con una superficie de 96 000 hectáreas, su ubicación es ideal para el lanzamiento de satélites, sobre todo por su proximidad al ecuador. La ESA es propietaria de las instalaciones de lanzamiento y de producción de vehículos de lanzamiento.

**ESA ESEC.** El Centro Europeo de Educación y Seguridad Espacial de Redu (Bélgica) es un centro de excelencia en servicios de ciberseguridad espacial, sede del Centro de Datos Meteorológicos Espaciales, del Centro de Formación Educativa de la ESA dedicado a la formación de profesores y estudiantes dentro del programa de Educación de la ESA, y parte de la red de estaciones terrestres de la ESA.

**ESA ECSAT.** El Centro Europeo de Telecomunicaciones y Aplicaciones Espaciales de Harwell (Reino Unido) apoya actividades relacionadas con las telecomunicaciones, las aplicaciones integradas, el cambio climático, la tecnología y la ciencia.



9. Sede de la ESA en París, Francia.



10. Puerto Espacial Europeo, Kourou, Guayana Francesa.



11. EAC, Colonia, Alemania.



12. ESAC, Villafranca, España.



1. Selección de misiones científicas espaciales de la ESA para la ciencia planetaria y la astrofísica.

#### Misiones científicas planetarias

[2024] Hera  
 [2023] Juice  
 [2018] BepiColombo  
 [2016] ExoMars TGO & Schiaparelli  
 [2004] Rosetta  
 [2005] Venus Express  
 [2003] Mars Express  
 [2003] Double Star  
 [2003] SMART-1  
 [2000] Cluster  
 [1997] Cassini-Huygens  
 [1985] Giotto

#### Misiones astrofísicas

[2021] JWST  
 [2019] CHEOPS  
 [2013] Gaia  
 [2009] Planck  
 [2009] Herschel  
 [2002] INTEGRAL  
 [1999] XMM-Newton  
 [1995] ISO  
 [1990] Hubble  
 [1989] Hipparcos  
 [1983] EXOSAT  
 [1978] IUE  
 [1975] Cos-B

4. Los datos combinados tomados por los telescopios espaciales Hubble y James Webb proporcionan vistas sin precedentes del espacio profundo, como este cúmulo de cientos de galaxias.



#### Explorar el Sistema Solar

La ciencia espacial aborda algunas de las cuestiones científicas más básicas de la humanidad, como cómo se formó nuestra Tierra, por qué proporciona el entorno necesario para nuestra existencia y si hay otros lugares en el universo donde exista vida. La ciencia planetaria se ocupa de nuestro sistema solar. Aunque al principio solo se utilizaban telescopios, ahora la tecnología espacial permite viajar al Sol, a los planetas y a otros objetos de nuestro sistema solar. Además de las misiones que adquieren datos al pasar u orbitar estos objetos, varios exploradores han aterrizado en algunos de ellos. Además, los vehículos exploradores han recorrido la Luna y Marte. La información recogida por las misiones científicas planetarias no solo ayuda a comprender los demás planetas del sistema solar, sino que también permite profundizar en el desarrollo del sistema terrestre, por ejemplo en lo que respecta al cambio climático.

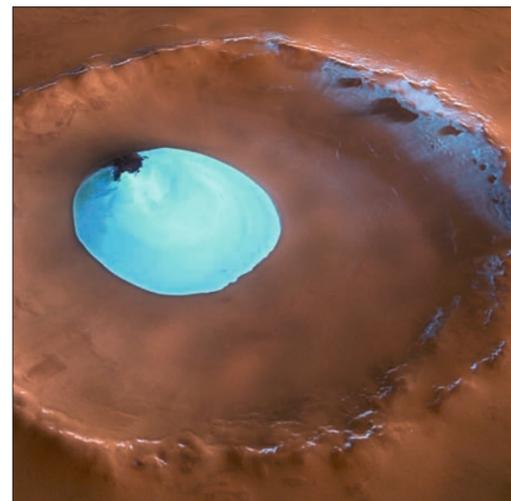
#### Hacia las fronteras del Universo

Otras misiones de la ESA apuntan a objetivos mucho más allá del sistema solar. La luz que nos llega desde una distancia de miles de millones de años luz se utiliza, por ejemplo, para investigar las condiciones del universo primitivo mediante el telescopio espacial James Webb (JWST). La misión Planck, que midió la radiación del fondo cósmico de microondas (CMB) con una precisión sin precedentes, nos permitió echar un vistazo a una época en la que el universo sólo tenía 380.000 años.

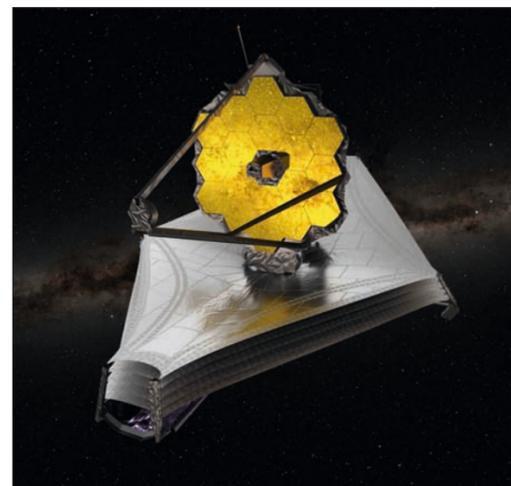
Estas misiones, que están al límite de lo tecnológicamente posible, son muy costosas. Por ello, una parte de ellas se realiza en cooperación con otras organizaciones espaciales. Ejemplos de ello son el Telescopio Espacial Hubble (HST) y el JWST, desarrollados y explotados en cooperación con la NASA, la agencia espacial estadounidense.



2. Lanzada en 2003, Mars Express es una de las misiones más exitosas a nuestro planeta vecino.



3. Hielo de agua residual en el cráter Vastitas Borealis. Los datos de Mars Express cambiaron nuestra visión de la existencia y cantidad de agua en el planeta.



5. Situado en una órbita a 1,5 millones de kilómetros de la Tierra, el telescopio espacial James Webb está equipado con un espejo primario de 6,5 metros de diámetro. Está protegido de la radiación solar por un conjunto de pantallas de unos 21 x 14 metros de tamaño.



#### Lanzaderas

Tanto los satélites como los vuelos espaciales tripulados dependen de tecnologías que les permitan llegar a sus "lugares de trabajo" en el espacio. A través del programa de lanzadores Ariane, la ESA ha proporcionado a Europa un acceso autónomo al espacio, clave estratégica para el desarrollo de todas las aplicaciones espaciales. Desarrollada inicialmente en aras de la independencia europea, la familia de lanzadores Ariane se ha convertido en el éxito comercial espacial más espectacular de Europa por volumen de negocio y cuota de mercado mundial. Se ha convertido en un factor crucial para la credibilidad de Europa como potencia espacial. Las actividades europeas en este campo se benefician de la base de lanzamiento mejor situada y más eficaz del mundo, cerca de Kourou, en la Guayana Francesa (Sudamérica).

Arianespace, la empresa internacional creada para comercializar el lanzador europeo, se ha asegurado más de la mitad del mercado mundial de lanzamiento de satélites comerciales de comunicaciones a la órbita geoestacionaria de transferencia. Mientras la ESA sigue financiando mejoras en Ariane y un pequeño lanzador llamado Vega, la Agencia también está atenta a posibilidades más radicales a largo plazo, como los lanzadores reutilizables.

**Ariane 5 y 6** — La ESA concibió el lanzador pesado Ariane 5 para garantizar que Europa mantuviera su ventaja competitiva en el mercado mundial de lanzadores. Sustituyó a la exitosa serie Ariane 4 y realizó unas cinco misiones al año. La misión principal de Ariane 5 es poner satélites en órbita geoestacionaria. Su versatilidad le proporciona adaptabilidad, lo que le permite satisfacer una amplia gama de necesidades de lanzamiento, incluido el despliegue de constelaciones de satélites, la exploración de los planetas de nuestro sistema solar y la puesta en órbita de cargas para la Estación Espacial. La versión ECA de Ariane 5 pone en órbita cargas útiles de hasta 10 toneladas.

Ariane 6 se ha desarrollado como sucesor de Ariane 5 con el objetivo principal de reducir significativamente el coste de lanzamiento. Su primer lanzamiento tuvo lugar el 9 de julio de 2024.

**Vega** — En 2012 un nuevo pequeño lanzador europeo llamado Vega inició su primer vuelo. Vega estaba previsto para colocar principalmente satélites científicos y de observación de la Tierra de hasta 2500 kg de peso en órbitas polares y bajas de la Tierra.

#### Vuelos espaciales tripulados

La Estación Espacial Internacional (ISS), la mayor cooperación técnica del mundo en la historia en tiempos de paz, es un potente laboratorio científico, un banco de pruebas para tecnologías futuras y una instalación para la investigación médica, biológica, física y de materiales avanzados en el entorno especial del espacio. Europa tiene una participación sustancial en la ISS y las princi-



6. Despegue de Ariane 5 desde Kourou.

ales contribuciones de hardware de la ESA son Columbus, un laboratorio científico y tecnológico polivalente, y el Vehículo Automatizado de Transferencia (ATV). Los astronautas europeos realizan visitas periódicas durante la fase de construcción y forman parte de la tripulación de larga duración de la ISS, que está tripulada ininterrumpidamente desde finales de 2000.

#### Investigación y desarrollo

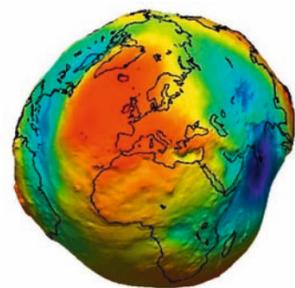
La ISS ofrece una capacidad única para estudiar cómo afecta la gravedad a los procesos biológicos, físicos y químicos. La ausencia efectiva de gravedad en la Estación Espacial permite adquirir nuevos conocimientos sobre la salud humana y la prevención y el tratamiento de enfermedades.



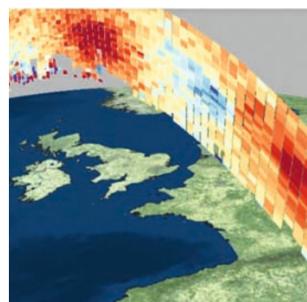
7. Comparación de tamaños de Vega, Vega-C, Ariane 5 ECA, Ariane 62 y Ariane 64 (de izquierda a derecha).

8. Paseo espacial del astronauta de la ESA Luca Parmitano durante una misión a bordo de la ISS.

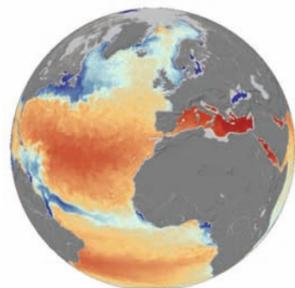




1. GOCE proporcionó valiosa información sobre el campo gravitatorio de la Tierra (de azul a rojo la gravedad aumenta).



2. Aeolus mide la velocidad del viento en diferentes altitudes (de azul a rojo: de menor a mayor velocidad del viento).



3. SMOS mide la salinidad del océano y el contenido de humedad del suelo (de azul a rojo la concentración de sal aumenta).

4. Los satélites Earth Explorer son plataformas para el desarrollo de herramientas de observación de la Tierra.



## Investigación sobre observación de la Tierra

Desde sus inicios, la investigación ha desempeñado un papel fundamental para la Agencia Espacial Europea (ESA). Esto es válido no solo para la exploración del sistema solar y la ciencia espacial, ya que las actividades de investigación de la ESA se centran especialmente en la observación de la Tierra.

En este contexto, la ESA participa activamente en los campos de la tecnología de satélites y sensores, y en el desarrollo de métodos de análisis de datos y aplicaciones de observación de la Tierra. Se han llevado a cabo numerosos proyectos de investigación que abarcan una amplia gama de cuestiones de importancia científica.

Los primeros satélites de observación de la Tierra de la ESA fueron los satélites radar ERS-1 y ERS-2, lanzados en 1991 y 1995, respectivamente. El enorme valor científico de estas misiones se refleja en el hecho de que fueron la base de unos 5.000 proyectos de investigación que dieron lugar a unas 4.000 publicaciones.

En 2002 se lanzó el satélite Envisat, un hito en la historia de la observación de la Tierra. Operativo hasta 2012, este satélite del tamaño de un autobús pesaba más de 8 toneladas, lo que lo convertía en el mayor satélite de observación de la Tierra jamás construido. Envisat era un laboratorio de investigación en órbita a 800 km sobre la superficie terrestre. En él se probaron numerosos sensores y tecnologías de procesamiento de datos con respecto a su aplicabilidad en servicios operativos.

## Exploradores de la Tierra

**GOCE** (2009-2013) – La misión GOCE (*Gravity field and steady-state Ocean Circulation Explorer*) proporcionó datos para determinar modelos globales y regionales de la gravedad y el geoide de la Tierra. Esto ha permitido avanzar en la investigación en áreas como la circulación oceánica, la física del interior de la Tierra, la geodesia y la topografía, y el cambio del nivel del mar.

**SMOS** (lanzada en 2009) – La misión SMOS (*Soil Moisture and Ocean Salinity*) realiza observaciones globales

de la humedad del suelo y la salinidad de los océanos. Al cartografiar estas dos variables, SMOS ayuda a comprender mejor los procesos de intercambio entre la superficie terrestre y la atmósfera y contribuye a mejorar los modelos meteorológicos y climáticos.

**CryoSat** (lanzado en 2010) – La misión CryoSat vigila los cambios a escala centimétrica en el espesor del hielo que flota en los océanos y en las capas de hielo que cubren Groenlandia y la Antártida. Esto ayuda a comprender cómo está cambiando el volumen de hielo de la Tierra y cómo se interrelacionan el hielo y el clima.

**Swarm** (lanzado en 2013) – Swarm es una constelación de tres satélites que miden con precisión las señales magnéticas de la magnetosfera, la ionosfera, el núcleo, el manto, la corteza y los océanos de la Tierra. Esto permitirá comprender mejor los procesos que impulsan la “dinamo” de la Tierra.

**Aeolus** (2018-2023) – La misión Aeolus realizó avances en la observación global del perfil del viento y proporcionó información para mejorar la predicción meteorológica. Demostrando una novedosa tecnología láser, Aeolus allanó el camino para la futura misión meteorológica operativa dedicada a medir los campos de viento.

**EarthCARE** (lanzada en 2024) – la misión *Earth Clouds Aerosols and Radiation Explorer* (EarthCARE) es una misión europeo-japonesa destinada a mejorar la representación y la comprensión del equilibrio radiativo de la Tierra en los modelos climáticos y de previsión meteorológica numérica.

**Biomass** (lanzamiento previsto para 2025) – La misión proporcionará información sobre el estado de nuestros bosques y cómo están cambiando. Los datos se utilizarán para mejorar nuestro conocimiento sobre el papel que desempeñan los bosques en el ciclo del carbono.

**FLEX** (previsto para 2025) – El Explorador de Fluorescencia (FLEX) cartografiará la fluorescencia de la vegetación para cuantificar la actividad fotosintética. Esto mejorará nuestra comprensión de cómo la fotosíntesis afecta a los ciclos del carbono y del agua.

**FORUM** (prevista para 2027) – La misión FORUM (*Far-infrared Outgoing Radiation Understanding and Monitoring*) proporcionará nuevos conocimientos sobre el balance de radiación del planeta y, por tanto, mejorará los modelos climáticos.

**Harmony** (prevista para 2029) – Junto con los satélites Sentinel-1, la misión realizará observaciones de los movimientos que ocurren en la superficie terrestre o cerca de ella, y proporcionará información sobre nuestros océanos, hielos, terremotos y volcanes.



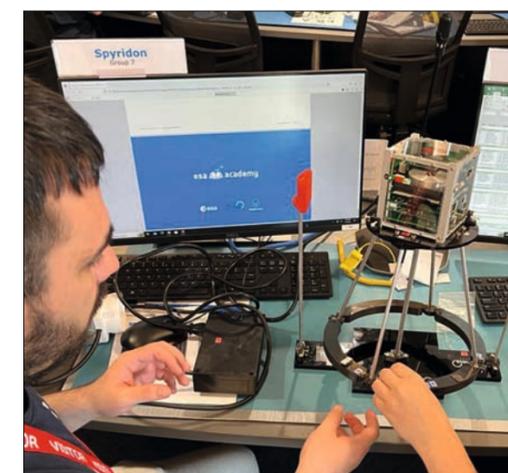
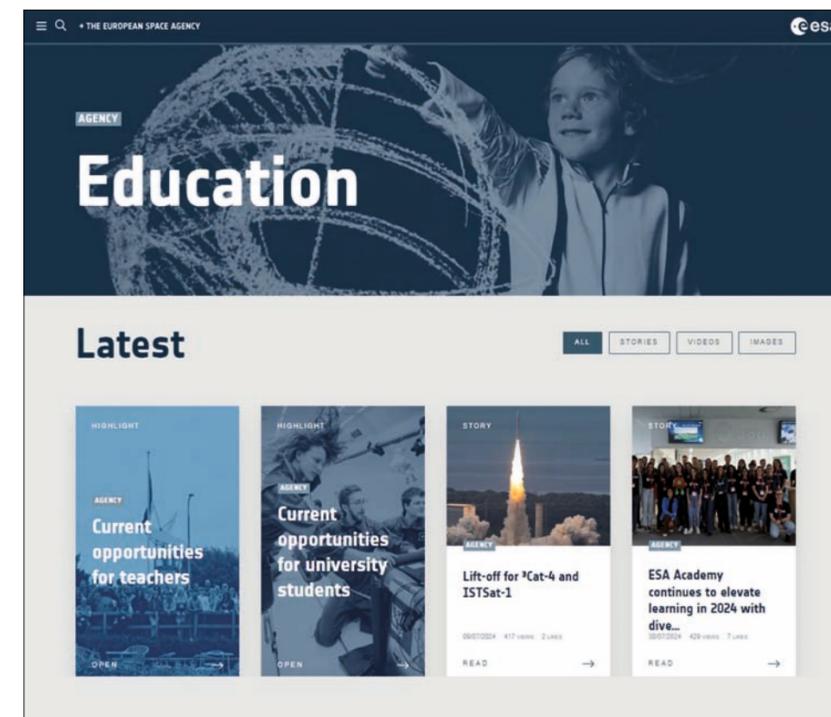
## Programa educativo de la ESA

En la Convención de la ESA, el Programa de Educación de la ESA es una actividad obligatoria. La educación es fundamental para preparar a la futura mano de obra que hará realidad la estrategia y las ambiciones espaciales de Europa, y porque ayuda a construir generaciones de futuros ciudadanos informados, capaces de decidir y actuar con responsabilidad, y equipados para afrontar los retos del futuro, sea cual sea la profesión que elijan.

El espacio se utiliza como activo en apoyo de la educación STEM (Ciencia, Tecnología, Ingeniería y Matemáticas). El espacio es una parte importante de la cultura contemporánea, un motor social y económico. Aprender utilizando el espacio significa acceder a conocimientos de vanguardia, aprender a colaborar, crear, innovar. En otras palabras, significa acompañar a los jóvenes en un camino inspirado y único para desarrollar las llamadas habilidades del siglo XXI, todo lo que un joven debe tener la posibilidad de desarrollar para tener éxito en una carrera y contribuir a un futuro mejor.

La educación inspirada es una parte fundamental de la estrategia de la ESA para el futuro de Europa en el espacio: la Agenda 2025. En diciembre de 2022, los Estados miembros de la ESA aprobaron la visión y el plan Espacio para la Educación 2030 (S4E 2030), dando luz verde para que el Programa de Educación de la ESA sea más amplio, más innovador, más inspirador y llegue mucho más lejos que antes.

**Espacio para la Educación 2030** se dirige a un amplio espectro de edades, desde las edades más tempranas hasta las primeras etapas profesionales, a través del programa *STEM Learning and Inspiration*, para la educación e inspiración de niños y alumnos de 3 a 18 años, y el programa *ESA Academy*, para el desarrollo de habilidades y el compromiso de los estudiantes de educación superior. El nuevo programa *STEM Learning and Inspiration* consta de dos conjuntos de actividades. *Learn with Space* es estrictamente educativo, con actividades diseñadas con objetivos de aprendizaje específicos, tanto para los jóvenes como para sus educadores. El segundo, *Let Space Inspire You* (Deja que el espacio te inspire), es estrictamente inspiracional; su objetivo es utilizar el factor “sorpresa” que genera el espacio para despertar la curiosidad y la imaginación de niños y adolescentes, y estimular su interés por las STEM y los estudios y carreras espaciales. Se persigue la sinergia de actividades dentro de los dos conjuntos, de modo que se refuercen mutuamente los elementos de aprendizaje e inspiración de la experiencia propuesta. Todas estas actividades están sólidamente arraigadas y se llevan a cabo a nivel nacional a través del marco de la ESA ESE-RO (*European Space Education Resource Office*), una red de oficinas nacionales y consorcios de socios establecida por la ESA en sus Estados miembros y asociados.



5. Los sitios web de ESA Education y de los ESE-ROs ofrecen gran cantidad de recursos multilingües relacionados con el espacio para los profesores.

6. En cursos especiales, los estudiantes pueden desarrollar sus propios nanosatélites, pequeños satélites que realizan tareas específicas.

7. En los concursos CanSat, equipos de escuelas de toda Europa diseñan sus proyectos, en los que se lanzan sensores para vuelos cortos durante los cuales se registran los datos medidos y se transmiten a una estación terrestre.



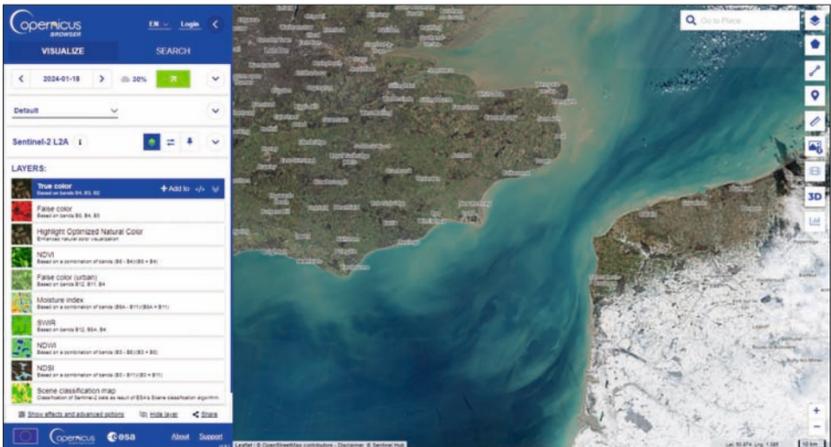


1. Dentro del componente espacial del programa Copernicus se han lanzado y está previsto lanzar en los próximos años una gran cantidad de satélites de observación de la Tierra.



- Atmósfera (CAMS)
- Medio Marino (MEMS)
- Terreno (CLMS)
- Cambio climático (C3S)
- Gestión de Emergencias (EMS)
- Seguridad

2. El navegador Copernicus da acceso a una gran cantidad de datos de observación de la Tierra. El ejemplo muestra un resultado de búsqueda de datos de Sentinel-2 del Canal de la Mancha.



Copérnico – Seguimiento del estado de la Tierra

El programa Copernicus, financiado por la Comisión Europea, es una iniciativa de gran éxito para vigilar el estado de la Tierra. Al proporcionar información precisa, oportuna y de fácil acceso para mejorar la gestión del medio ambiente, comprender y mitigar los efectos del cambio climático y garantizar la seguridad civil, Copernicus es el programa de observación de la Tierra más ambicioso hasta la fecha. El nombre del programa rinde homenaje al gran científico y observador europeo Nicolás Copérnico. Su teoría del universo heliocéntrico supuso una contribución pionera a la ciencia moderna.

El programa Copernicus se ejecuta en colaboración con los Estados miembros, la Agencia Espacial Europea (ESA), la Organización Europea para la Explotación de Satélites Meteorológicos (EUMETSAT), el Centro Europeo de Predicción Meteorológica a Medio Plazo (ECMWF), las agencias de la UE y Mercator Ocean International.

Vastas cantidades de datos mundiales procedentes de satélites y sistemas de medición terrestres, aéreos y marítimos proporcionan información para ayudar a los proveedores de servicios, las autoridades públicas y otras organizaciones internacionales a mejorar la vida de los ciudadanos de Europa y de otros continentes.

Los servicios de información proporcionados son gratuitos y de libre acceso para los usuarios a través del Ecosistema del Espacio de Datos de Copernicus (<https://dataspace.copernicus.eu/>).

Servicios de información Copernicus

Los datos brutos adquiridos por los satélites son la base de toda la información de observación de la Tierra. Sin embargo, en todas las aplicaciones se necesitan datos o información procesados. Los Servicios de Información de Copernicus proporcionan datos completos en seis áreas temáticas: atmósfera, marina, tierra, cambio climático, gestión de emergencias y seguridad. Estos servicios aprovechan una sofisticada infraestructura que integra datos procedentes de satélites de observación de la Tierra, sensores aerotransportados y mediciones in situ:

El servicio de **Vigilancia atmosférica** se centra en la vigilancia de componentes atmosféricos clave como el CO<sub>2</sub>, la concentración de ozono y los niveles de radiación UV. Al proporcionar datos históricos y en tiempo real, el servicio Atmósfera contribuye a la identificación de las fuentes de contaminación, a la evaluación de las tendencias de la calidad del aire y a la formulación de políticas eficaces.

El servicio de **Vigilancia marina** ofrece datos sobre las condiciones oceánicas, como la temperatura de la superficie del mar, el color del océano y la extensión del hielo marino. Estos conjuntos de datos son cruciales para aplicaciones como la seguridad marítima, la gestión de la pesca, la conservación de los ecosistemas marinos y la investigación climática.

El servicio de **Vigilancia terrestre** se centra en el seguimiento de la cubierta terrestre, los cambios en el uso del suelo y la salud de la vegetación. Este servicio se utiliza en aplicaciones que van desde la gestión agrícola y forestal hasta la planificación urbana y la conservación de la biodiversidad.

El servicio de **Cambio Climático** proporciona información esencial sobre parámetros climáticos, como las concentraciones de gases de efecto invernadero, las anomalías de temperatura y la subida del nivel del mar. Este servicio ayuda a científicos, responsables políticos e investigadores a evaluar los efectos del cambio climático y a elaborar estrategias de mitigación y adaptación.

El servicio de **Gestión de Emergencias** ofrece capacidades de cartografía rápida y alerta temprana. Durante las catástrofes naturales o las crisis humanitarias, estos servicios proporcionan información geoespacial precisa y oportuna, lo que ayuda a coordinar la respuesta a las catástrofes, a evaluar los daños y a asignar recursos.

El servicio de las aplicaciones de **Seguridad** se centra en el control de fronteras y la vigilancia marítima, utilizando la observación de la Tierra para supervisar y analizar las actividades en regiones sensibles. Este servicio contribuye a la seguridad y estabilidad generales de las fronteras terrestres y marítimas.

La flota de satélites Sentinel

Los satélites Sentinel son la espina dorsal de la parte del programa Copernicus dedicado a la recuperación de información desde el espacio, y proporcionan una gran cantidad de datos de observación de la Tierra de diversos tipos y resoluciones. Los satélites van de dos en dos para garantizar un suministro permanente de datos aunque falle uno de ellos. Además, está previsto sustituir los Sentinel una vez que hayan llegado al final de su ciclo de vida. Esto es importante para permitir el uso a largo plazo de las aplicaciones desarrolladas en el programa Copernicus. Actualmente están operativos o previstos los siguientes Sentinel:

**Sentinel-1** (desde 2014): Capacidad de obtención de imágenes radar diurnas y nocturnas en cualquier condición meteorológica para los servicios terrestres y oceánicos de Copernicus, con resoluciones de 5 metros.

**Sentinel-2** (desde 2015): datos de imágenes ópticas de alta resolución para apoyar los estudios de vigilancia de Copernicus Land, incluida la vigilancia de la vegetación, el suelo y la cubierta de agua, así como la observación de las vías navegables interiores y las zonas costeras. Dependiendo de la longitud de onda, la resolución terrestre de los datos proporcionados oscila entre 10 y 60 metros por píxel.

**Sentinel-3** (desde 2016): capacidad multiinstrumental para apoyar las mediciones precisas de temas como la temperatura de la superficie terrestre y el color de la tierra. El instrumento óptico de este sistema de resolución media adquiere datos con una resolución de unos 300 metros por píxel. Un altímetro mide, por ejemplo, el nivel del mar, la altura de las olas y el hielo marino.

**Sentinel-4** (desde 2023, a bordo del Meteosat MTG): Espectrómetro ultravioleta-visible-infrarrojo cercano y datos de la sonda térmica infrarroja (IRS) de Eumetsat, ambos a bordo del satélite MTGSounder (MTG-S).

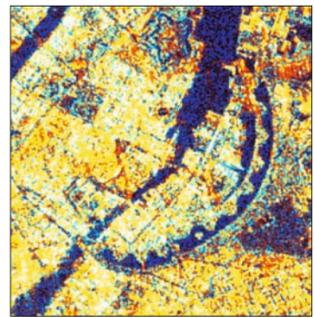
**Sentinel-5P** (desde 2017) y **-5** (lanzamiento previsto para 2024): misión dedicada a la vigilancia atmosférica, que mide la calidad del aire, el ozono y la radiación ultravioleta, y proporciona datos para aplicaciones de vigilancia y previsión climáticas.

**Sentinel-6 Michael Freilich** (desde 2020): Misión de altimetría realizada en cooperación con EUMETSAT y NOAA para vigilar el nivel de la superficie del mar. Esta misión continúa la adquisición de datos iniciada por TOPEX-Poseidon hace 20 años.

Además de mantener esta flota de satélites, está previsto lanzar otros Sentinel dedicados a la vigilancia del CO<sub>2</sub>, a las mediciones de temperatura de alta resolución y a la vigilancia del hielo y la nieve.



3a. Satélite radar Sentinel-1, impresión artística.



3b. Imagen radar de Copenhague, datos adquiridos por Sentinel-1.



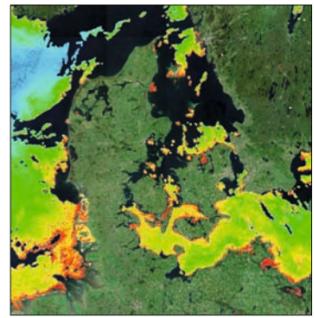
4a. Satélite óptico de alta resolución Sentinel-2, impresión artística.



4b. Imagen de satélite de Copenhague, datos adquiridos por Sentinel-2.



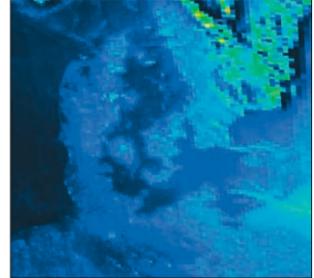
5a. Satélite de resolución media Sentinel-3, impresión artística.



5b. Dinamarca, concentración de pigmentos algales en el mar. Datos: Sentinel-3.



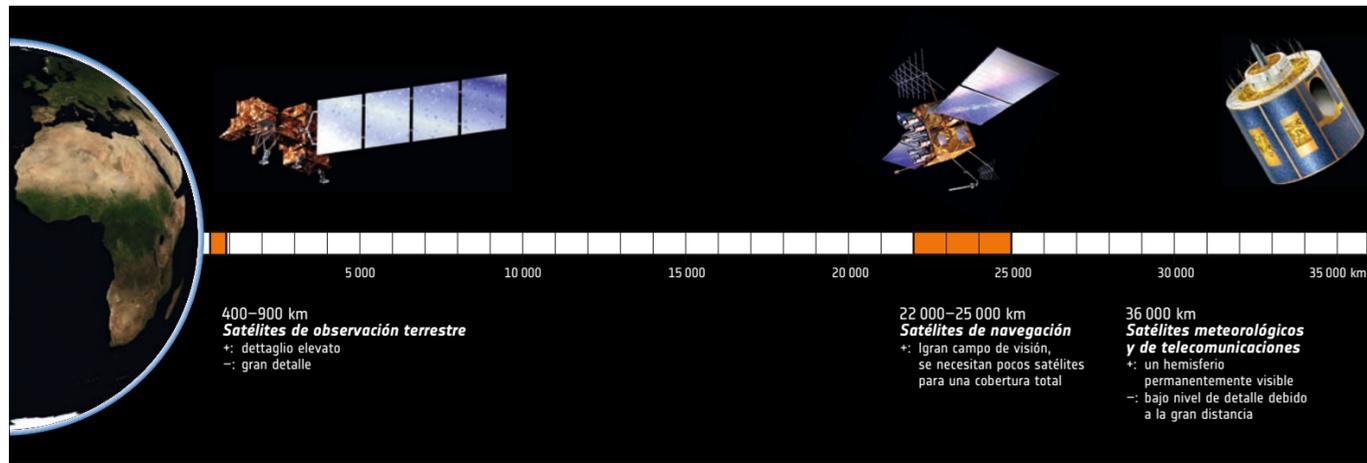
6a. Satélite de vigilancia atmosférica Sentinel-5, impresión artística.



6b. Concentración de SO<sub>2</sub> sobre Dinamarca y el sur de Suecia, datos Sentinel-5P.



7. Satélite de la misión altimétrica Sentinel-6, impresión artística.



1. Dependiendo de su propósito, los satélites operan en órbitas a diferentes distancias de la Tierra.

**Tipos de satélites**

Existen varios tipos de satélites, cada uno diseñado para fines específicos, como la observación de la Tierra, la comunicación, la navegación y la investigación científica. Dependiendo de sus tareas, operan en órbitas distintas a distancias diferentes de la Tierra.

Los **satélites de comunicaciones** facilitan las telecomunicaciones mundiales retransmitiendo señales entre estaciones terrestres, lo que permite la transmisión de datos, voz y video a través de grandes distancias. Situados en órbitas geoestacionarias o bajas, estos satélites prestan servicios esenciales de radiodifusión televisiva, conectividad a Internet y comunicaciones móviles. Ejemplos destacados son las constelaciones de satélites Intelsat e Iridium y, más recientemente, la constelación Starlink, que consta de varios miles de satélites.

Los **satélites de navegación** constituyen la columna vertebral de los sistemas mundiales de navegación por satélite (GNSS) y permiten determinar con precisión la posición y navegar por la superficie terrestre. Estos satélites transmiten señales que son recibidas y

trianguladas por receptores GNSS, proporcionando a los usuarios datos de posicionamiento precisos para fines de navegación, cartografía y topografía. La constelación GPS, operada por Estados Unidos, junto con otros sistemas como Galileo (Europa), GLONASS (Rusia) y Beidou (China) forman las redes de satélites de navegación. Los satélites de navegación operan a una distancia de entre 20.000 y 25.000 kilómetros de la Tierra.

Los **satélites de observación de la Tierra** están equipados con sensores y cámaras para vigilar la superficie, la atmósfera y los océanos del planeta. Estos satélites captan imágenes de alta resolución, detectan cambios en la cubierta terrestre, siguen los patrones meteorológicos y vigilan fenómenos medioambientales como la deforestación, la urbanización y la subida del nivel del mar. Algunos ejemplos son la serie Sentinel para imágenes terrestres y la serie Meteosat para el seguimiento meteorológico. Estos satélites proporcionan datos relevantes tanto para la investigación científica (como los Earth Explorers) como para aplicaciones operativas.

Los **satélites científicos** están diseñados para explorar

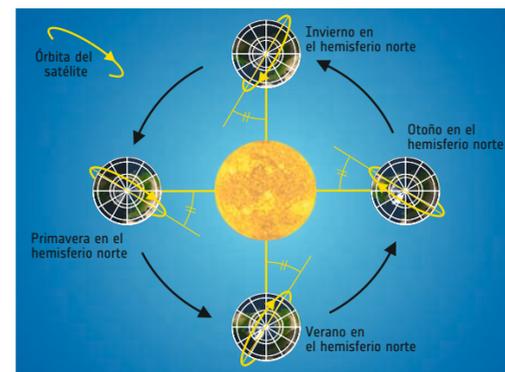
el cosmos y estudiar los objetos y fenómenos celestes. Estos satélites están equipados con instrumentos especializados para realizar observaciones astronómicas, medir la radiación cósmica y estudiar cuerpos celestes como estrellas, galaxias y agujeros negros. Algunos ejemplos son el Telescopio Espacial Hubble para astronomía óptica, el Telescopio Espacial James Webb para astronomía infrarroja y el Observatorio de Rayos X Chandra para estudiar las emisiones de rayos X de los objetos celestes.

**Satélites alrededor de la Tierra**

En función de los objetivos y aplicaciones de cada misión, los satélites de observación de la Tierra se despliegan en distintas órbitas, cada una de las cuales presenta ventajas y desventajas. La elección del tipo de órbita influye en parámetros como el tiempo de revisita, la resolución espacial y el área de cobertura. Los tipos de órbita más importantes utilizados por los satélites de observación de la Tierra son las órbitas terrestres bajas y las órbitas geoestacionarias.

Las **órbitas bajas terrestres (LEO)** son las más comunes para los satélites de observación de la Tierra, y oscilan entre 180 y 2.000 kilómetros sobre la superficie terrestre. Los satélites LEO tienen periodos orbitales cortos, lo que permite visitas frecuentes a zonas específicas. Esto se traduce en una alta resolución temporal, lo que los hace ideales para aplicaciones como la vigilancia meteorológica, la respuesta a catástrofes y la vigilancia medioambiental. Debido a su baja altitud, el área cubierta en cada pasada es limitada.

• **Órbita sincronizada con el Sol (SSO):** Las órbitas solares síncronas son un subtipo de LEO diseñadas para mantener un ángulo constante entre el satélite, el Sol y la superficie de la Tierra. De este modo, las condiciones de iluminación son constantes en cada pasada, lo que resulta crucial para los sensores ópticos que dependen de la luz solar. Los satélites SSO se utilizan habitualmente para aplicaciones de imagen y teledetección, proporcionando imágenes regulares y bien iluminadas para tareas como la cartografía de la cubierta terrestre y la vigilancia de la vegetación.



4. En órbitas heliosíncronas los satélites cruzan cada punto en el mismo momento solar.

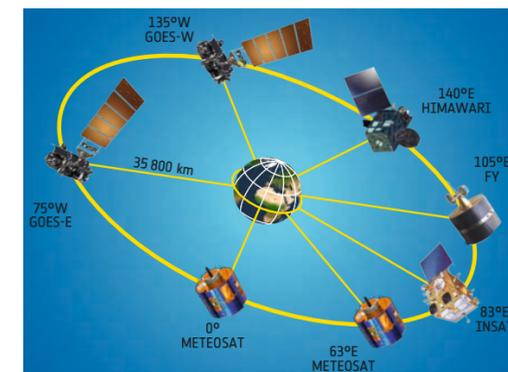
• **Órbita polar:** Las órbitas polares pasan sobre los polos de la Tierra, lo que permite a los satélites observar toda la superficie mientras la Tierra gira bajo ellos. Este tipo de órbita es habitual para los satélites de observación de la Tierra que pretenden lograr una cobertura global. Los satélites en órbita polar ofrecen una visión completa del planeta, lo que los hace idóneos para tareas como la vigilancia del clima, la cartografía de los hielos y la detección de cambios medioambientales.

Las **órbitas geoestacionarias (GEO)** son el segundo tipo más importante de órbita utilizado para la observación de la Tierra y se sitúan a una altitud de 35.786 kilómetros sobre el ecuador. Un satélite en órbita GEO orbita la Tierra por encima del ecuador, a la velocidad de rotación terrestre, lo que le hace parecer estacionario con respecto a un punto concreto de la superficie terrestre. Esto permite una vigilancia continua de esa zona. Aunque los satélites GEO ofrecen una cobertura continua, su resolución espacial es inferior a la de los satélites LEO debido a su mayor distancia de la Tierra. Suelen emplearse para la vigilancia meteorológica, las comunicaciones y la vigilancia medioambiental.

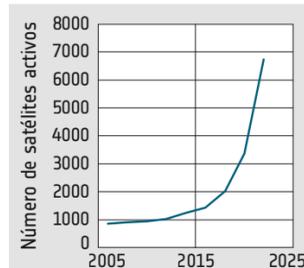
Otros tipos de órbita, muy importantes para fines específicos, son:

• **Órbita terrestre media (MEO):** Las órbitas terrestres medias se sitúan entre las órbitas bajas y las geoestacionarias, normalmente entre 2.000 y 35.786 kilómetros sobre la Tierra. Constelaciones de satélites de navegación como GPS o Galileo utilizan órbitas MEO para prestar servicios de posicionamiento global.

• **Órbita altamente elíptica (HEO):** Las órbitas altamente elípticas tienen una forma alargada, con un extremo más cercano a la Tierra y el otro más alejado. Estas órbitas son adecuadas para misiones que requieren tiempos de permanencia prolongados sobre regiones específicas, como las zonas de gran latitud. Los satélites HEO ofrecen periodos de observación prolongados, lo que los hace valiosos para vigilar fenómenos como las auroras y la magnetosfera terrestre.



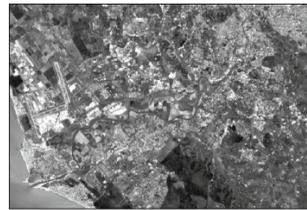
5. La principal ventaja de las órbitas geoestacionarias es que los satélites permanecen sobre el mismo punto de la superficie terrestre.



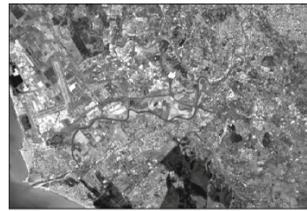
2. En los últimos años, el número de satélites activos ha crecido rápidamente.



3. El espacio que rodea la Tierra se ha convertido en un lugar abarrotado, en el que orbitan varios miles de satélites operativos y desaparecidos, así como numerosas restos de todo tipo de misiones.



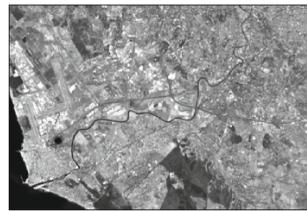
1a. Sentinel-2, banda 2 (490nm, azul).



1b. Sentinel-2, banda 3 (560nm, verde).



1c. Sentinel-2, banda 4 (665nm, roja).

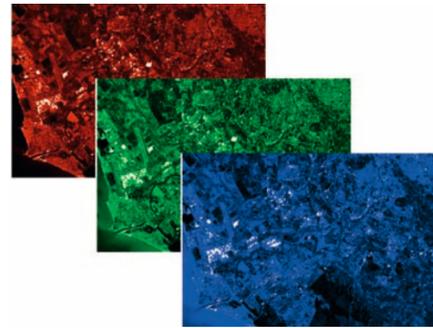
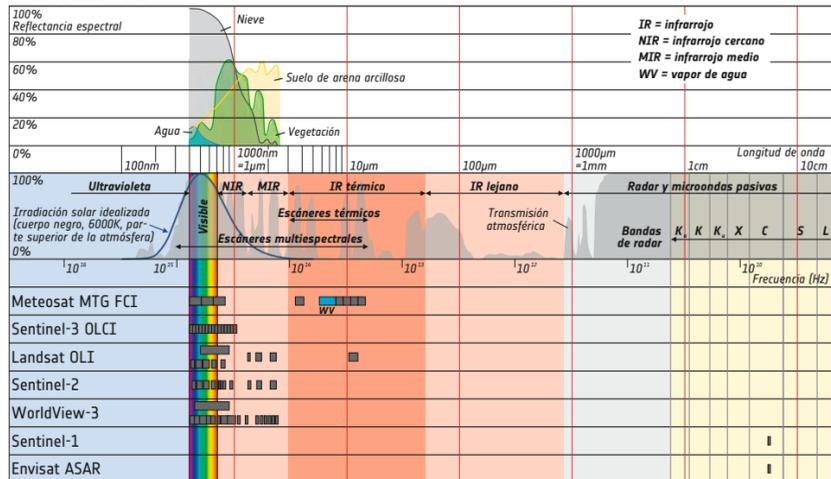


1d. Sentinel-2, banda 5 (705nm, roja).

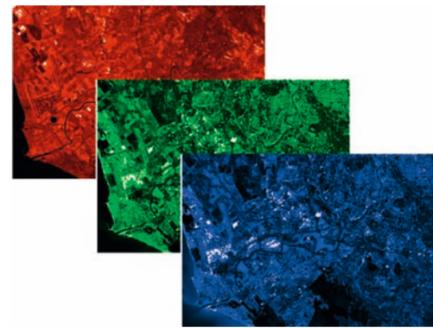


1e. Sentinel-2 banda 8 (865nm, IR).

4. Espectro electromagnético, transmisión atmosférica, propiedades de los sensores seleccionados.



2a. Sentinel-2, bandas 4, 3 y 2 preparadas para su combinación en una imagen en color verdadero.



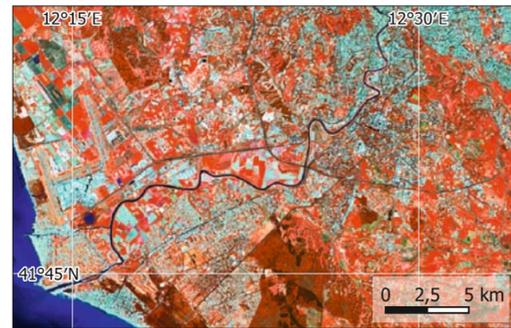
2b. Sentinel-2, bandas 8, 4 y 3 preparadas para su combinación en una imagen infrarroja en falso color.

De los datos a las imágenes

La mayoría de los satélites de observación de la Tierra no proporcionan imágenes en color estándar. Más bien adquieren series de imágenes en escala de grises en distintas partes del espectro electromagnético. Estas bandas de imágenes se utilizan para evaluaciones científicas y, de forma similar a los procedimientos aplicados en la tecnología de impresión y visualización, se combinan para producir imágenes en color de diversos tipos. A diferencia de la fotografía habitual, las bandas de imagen en escala de grises se combinan de diversas maneras. Dependiendo de la aplicación, las imágenes se producen en colores naturales, infrarrojos en falso color y otras combinaciones.



3a. Imagen en color verdadero de la región al oeste de Roma producida utilizando las bandas 4, 3 y 2. Datos: Sentinel-2, 21/03/2022.



3b. Imagen infrarroja en falso color de la región al oeste de Roma producida utilizando las bandas 8, 4 y 3. Datos: Sentinel-2, 21/03/2022.



3c. Imagen infrarroja en falso color de la región al oeste de Roma producida utilizando las bandas 12, 11 y 4. Sentinel-2, 21/03/2022.

Colores verdaderos e infrarrojos en falso color

Mientras que las imágenes en color real se utilizan para mostrar la Tierra "tal cual" (es decir, como la vería el ojo humano) con fines cartográficos e ilustrativos, otras representaciones se emplean para resaltar propiedades específicas de la zona mostrada.

Las bandas infrarrojas de la imagen contienen información adicional importante. Esta información se utiliza, por ejemplo, para resaltar y analizar las propiedades de las plantas, ya que la clorofila contenida en las hojas refleja muy bien la parte infrarroja de la luz solar. Esto convierte a estos datos en una valiosa fuente de información para aplicaciones en agricultura y protección de la naturaleza.

Otros usos de las representaciones infrarrojas en falso color que utilizan otras bandas infrarrojas son el análisis de incendios y actividades volcánicas, así como las propiedades de los espacios urbanos.



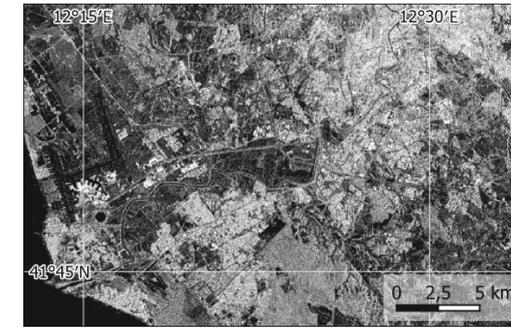
Satélites radar

Los datos de los satélites radar ofrecen una perspectiva especial de la superficie terrestre, ya que captan información que va más allá de lo que pueden revelar los sensores ópticos. A diferencia de los datos ópticos, que se basan en la reflexión de la luz solar, los sensores radar emiten activamente impulsos de microondas y miden la señal de retorno. Esta capacidad de detección activa permite a los satélites radar funcionar independientemente de la iluminación externa de la luz solar, lo que los hace idóneos para una amplia gama de tareas de observación de la Tierra.

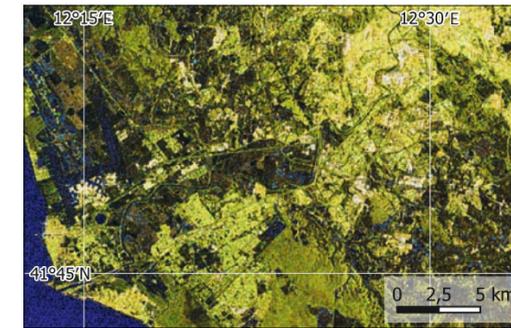
Una ventaja clave de los datos de radar por satélite es su capacidad para atravesar la nubosidad, una limitación importante para los sensores ópticos. El SAR puede "ver" a través de las nubes gracias a su mayor longitud de onda, lo que permite una vigilancia continua en regiones propensas a la nubosidad persistente, como las selvas tropicales o las zonas de gran latitud. Esto es especialmente importante en aplicaciones como la vigilancia de catástrofes, donde la información en tiempo real es esencial. Los datos del radar no se ven afectados por las condiciones de luz diurna, lo que permite una vigilancia ininterrumpida. Esta capacidad de observación constante resulta inestimable para aplicaciones como la vigilancia marítima, donde el seguimiento de embarcaciones en regiones remotas o mal iluminadas puede resultar complicado para los sensores ópticos.

Otra característica distintiva de los datos radar es su capacidad para medir la topografía y la deformación de la superficie con gran precisión. Las técnicas interferométricas SAR (InSAR) se utilizan para analizar la diferencia de fase entre varias imágenes de radar, lo que permite detectar hundimientos del terreno, cambios de elevación e incluso deformaciones milimétricas. Esto hace que los datos de radar sean indispensables para vigilar la estabilidad del suelo en regiones propensas a terremotos o para rastrear cambios sutiles en las infraestructuras. La capacidad de los datos radar para penetrar en la vegetación ofrece una ventaja única para las aplicaciones forestales. Mientras que los sensores ópticos tienen una capacidad limitada para ver a través de copas densas, el radar puede penetrar en las capas de vegetación y captar información sobre la estructura de los bosques, la biomasa e incluso detectar actividades de tala ilegal.

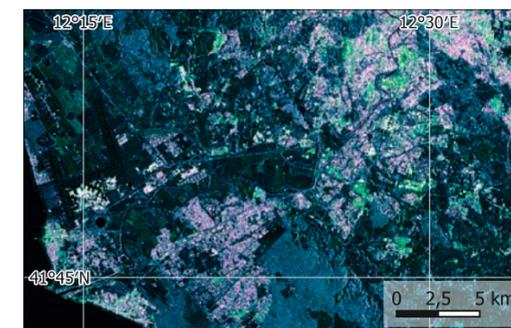
Como todas las tecnologías, los datos radar tienen sus limitaciones. La resolución espacial de las imágenes radar suele ser más gruesa que la de los datos ópticos de alta resolución. Mientras que los sensores ópticos pueden proporcionar información detallada sobre las características de la superficie, los datos radar pueden carecer del detalle a escala fina necesario para determinadas aplicaciones. Además, la interpretación de los datos radar es menos intuitiva que la de los datos ópticos, y su evaluación requiere sofisticadas herramientas informáticas que permitan extraer la información sutil de los datos.



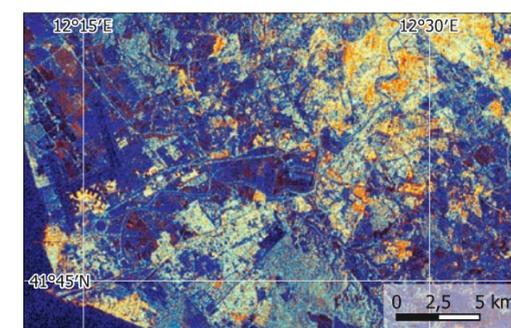
5. Imagen radar de la región suroeste de Roma. Imagen de polarización única. Datos: Sentinel-1, 23/03/2022.



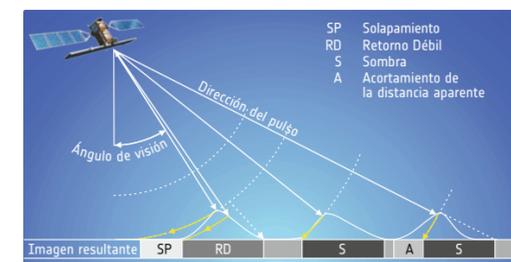
6. Imagen radar de la región suroeste de Roma. Imagen de multipolarización. Datos: Sentinel-1, 23/03/2022.



7. Imagen radar de la región suroeste de Roma. Imagen de multipolarización optimizada para análisis urbanos (las zonas edificadas aparecen en color violeta). Datos: Sentinel-1, 23/03/2022.



8. Imagen radar de la región suroeste de Roma. Imagen de multipolarización optimizada para una buena discriminación de las diferentes clases de cobertura del suelo. Datos: Sentinel-1, 23/03/2022.



9. Los satélites radar envían pulsos de radiación a la superficie de la Tierra y miden la señal reflejada. Utilizando el tiempo que tarda la señal en volver al satélite, se puede calcular la distancia del punto reflectante. Esta es la base para producir mapas radar.



**Interpretación de datos de satélite – Índices**

La interpretación de datos de satélite para obtener información sobre las características y los cambios de la superficie terrestre es una tarea compleja. El análisis basado en índices se ha convertido en una poderosa herramienta para extraer información de los datos de satélite. Diversos índices, derivados de combinaciones de bandas espectrales, destacan características, patrones y condiciones ambientales específicas:

**Vegetación:** Los índices de vegetación son fundamentales para controlar la salud de las plantas, la biomasa y los cambios en la cubierta terrestre. Índices como el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI) utilizan el contraste entre la reflectancia en las bandas del rojo y del infrarrojo cercano para cuantificar la densidad de la vegetación. Los valores altos de NDVI suelen indicar una vegetación sana y densa, mientras que los valores bajos pueden sugerir una vegetación estresada o escasa. Estos índices son cruciales para aplicaciones que van desde la vigilancia de la agricultura hasta la evaluación de la salud de los ecosistemas.

**Urbanización:** Los índices de urbanización ayudan a analizar y controlar la extensión y las características de las zonas urbanas en las imágenes de satélite. El Índice de la Isla de Calor Urbana (UHII), por ejemplo, compara la temperatura de las zonas urbanas y rurales, y destaca el aumento del calor en las zonas urbanas. Otros índices, como el Normalized Difference Built-Up Index (NDBI), se centran en las zonas edificadas dentro del paisaje, ayudando en los estudios de planificación urbana y desarrollo de infraestructuras.

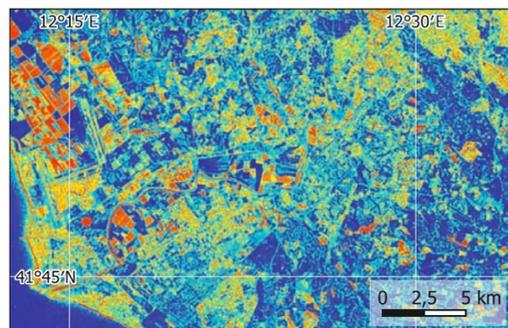
**El agua:** Los datos de satélite se utilizan para evaluar la calidad del agua mediante índices específicos. El Índice de Agua de Diferencia Normalizada (NDWI) se utiliza para identificar masas de agua superficiales, mientras que índices como el Índice de Calidad del Agua (WQI) utilizan múltiples bandas para evaluar parámetros como la concentración de clorofila y las cargas de sedimentos. Así, ofrecen información sobre los ecosistemas acuáticos y la gestión de los recursos hídricos.

**Áreas quemadas:** El seguimiento y la evaluación de las zonas quemadas y de los incendios forestales son aplicaciones fundamentales de los datos obtenidos por satélite. Índices como el Normalized Burn Ratio (NBR) ponen de manifiesto los cambios en la cubierta vegetal tras un incendio. Con ellos, los analistas pueden cuantificar la gravedad y extensión de la zona quemada, ayudando a planificar la recuperación tras el incendio y la restauración ecológica.

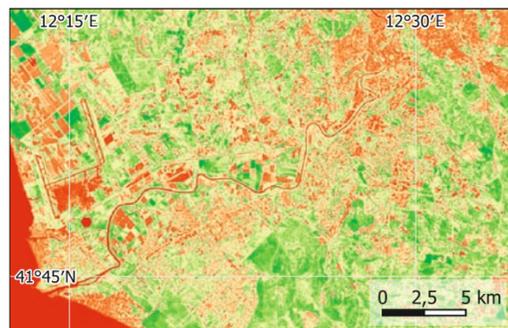
**Nieve y hielo:** En las regiones polares y montañosas, la vigilancia de la capa de nieve y hielo es vital para comprender las repercusiones del cambio climático. Índices como el Normalized Difference Snow Index (NDSI) ayudan a diferenciar entre la nieve y otras superficies. Estos índices contribuyen a la evaluación del manto de nieve, a la vigilancia de los glaciares y a la predicción de los recursos hídricos.



1. Imagen en color verdadero de la región suroeste de Roma, que muestra la desembocadura del Tíber, Ostia y el aeropuerto de Fiumicino. Datos: Sentinel-2, 21/03/2022.



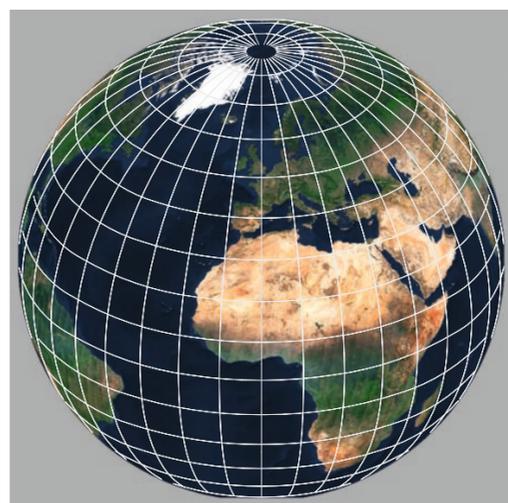
2. Índice de humedad del suelo en la región suroeste de Roma. Los colores rojos muestran las zonas secas, como las zonas edificadas y la tierra desnuda, mientras que el azul oscuro resalta las zonas húmedas, en su mayoría con vegetación. Sentinel-2, 21/03/2022.



3. NDVI (Índice de vegetación de diferencia normalizada) de la región suroeste de Roma. Del rojo al verde aumenta la intensidad o vitalidad de la vegetación. Datos: Sentinel-2, 21/03/2022.



4. NDWI (Normalised difference water index) de la región suroeste de Roma. Las masas de agua (azul) pueden identificarse claramente, de verde a blanco el contenido de agua de la superficie disminuye. Datos: Sentinel-2, 21/03/2022.

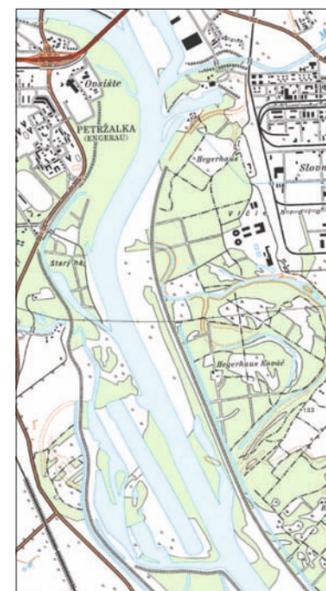
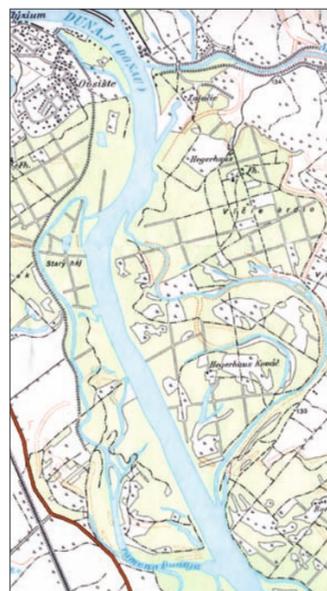


5. La Tierra es un cuerpo tridimensional. La representación de su superficie en mapas bidimensionales va necesariamente acompañada de distorsiones, lo que provoca errores en las distancias, ángulos o áreas mostradas.

**De los datos de satélite a los mapas**

La elaboración de mapas precisos y fiables a partir de datos de satélite depende de dos factores críticos: la georreferenciación y las proyecciones cartográficas. Estos aspectos desempeñan un papel fundamental para garantizar que las imágenes por satélite no solo sean visualmente interpretables, sino también espacialmente precisas y compatibles con los conjuntos de datos geográficos existentes. Esto permite crear series temporales y utilizar los datos de satélite para actualizar mapas con información más antigua.

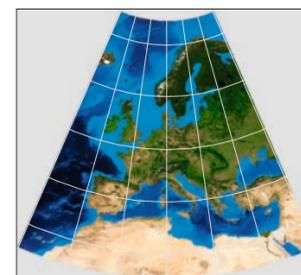
La **georreferenciación** es el proceso de asignar coordenadas geográficas a cada píxel de las imágenes por satélite, lo que establece una relación espacial entre la imagen y la superficie terrestre. Este paso permite integrar los datos de satélite con otra información geográfica,



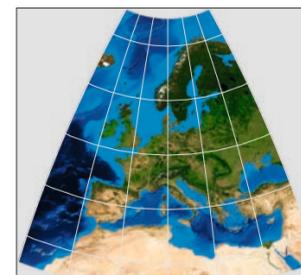
6a. En la proyección geográfica, las líneas de latitud y longitud constantes forman líneas rectas.



6b. La proyección Mercator es una proyección que preserva el ángulo con grandes distorsiones en latitudes altas.

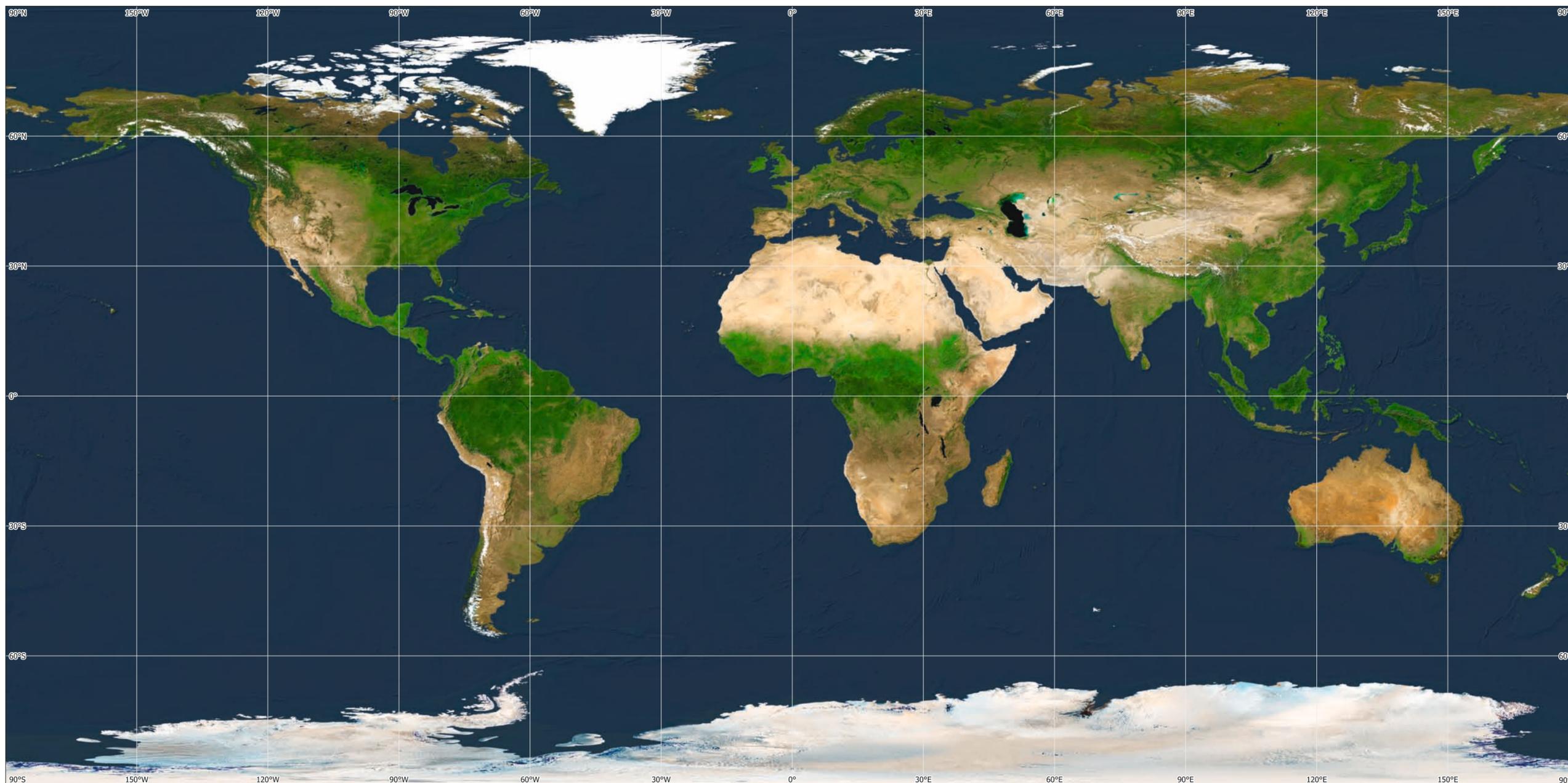


6c. La proyección Albers Equal-Area dibuja la superficie de la Tierra sobre un cono.



6d. Cerca de su punto central, la proyección Lambert Azimuthal Equal-Area muestra distorsiones relativamente pequeñas.

7 Los datos de satélite, que muestran los cambios recientes, son una herramienta importante para actualizar los mapas topográficos (izquierda: mapa de 1972, centro: imagen Sentinel-2 de 2023, derecha: mapa de 2023).



3. Vista espacial de la Tierra, tomada el 7 de diciembre de 1972 por la tripulación de la nave espacial Apolo 17 en su camino hacia la Luna a una distancia de unos 29.400 kilómetros.

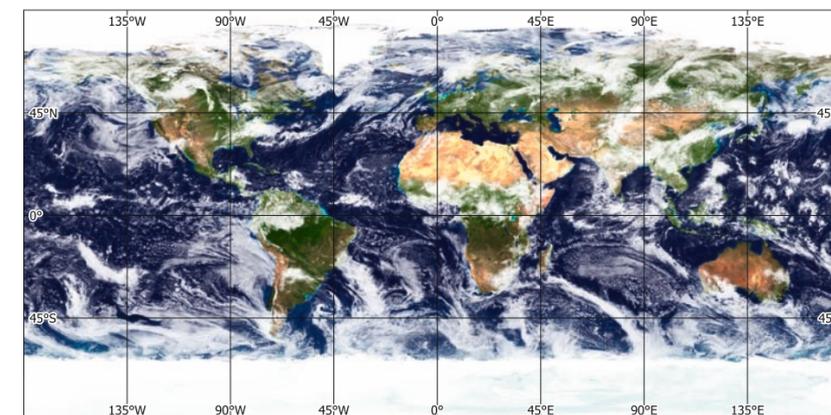
1. Mapa global de imágenes de satélite con luz diurna derivado de una gran colección de imágenes de satélite adquiridas por el sensor SPOT Vegetation.



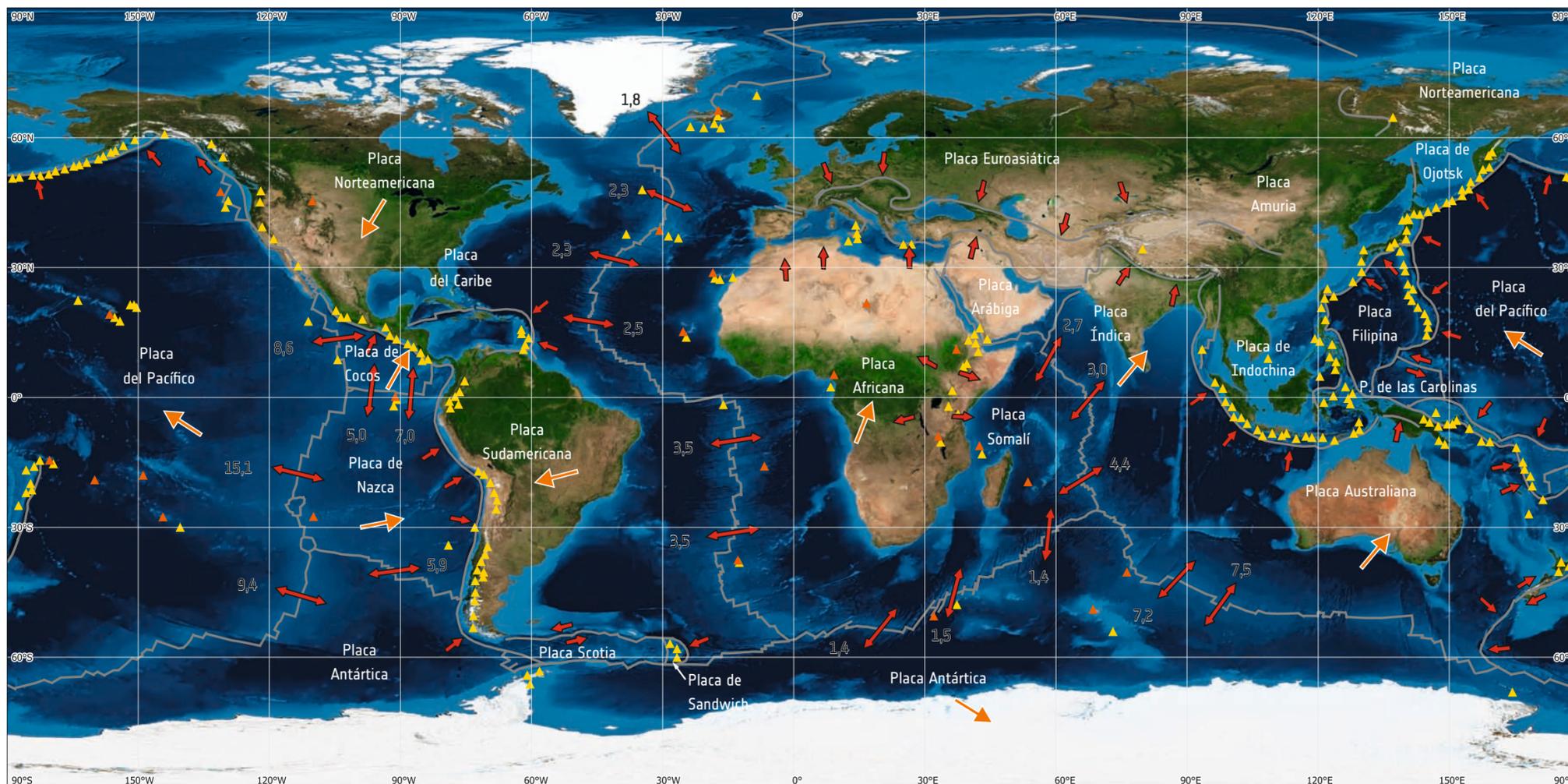
2. Mapa global de imágenes nocturnas por satélite (mármol negro). Datos adquiridos por el DMSP – Operational Linescan System.

**Vistas globales por satélite**

Los satélites de observación de la Tierra permiten ver la Tierra de forma homogénea. Normalmente, grandes partes de la superficie terrestre están cubiertas por nubes. Para obtener una visión completa es necesario combinar imágenes libres de nubes, idealmente del mismo momento dentro del periodo de vegetación. Los mapas globales de imágenes de satélite no se producen solo para presentar la situación de la luz diurna y el color natural, sino que también pueden ofrecer una visión general de muchos aspectos. Los mapas de temperatura, precipitaciones y gases traza son ejemplos de la amplia gama de información que ofrecen. Una aplicación especial son los mapas nocturnos que ponen de relieve la actividad humana en la Tierra.



4. Este mosaico global de imágenes diurnas de satélite muestra la Tierra con nubes, que en cualquier momento cubren gran parte del planeta.



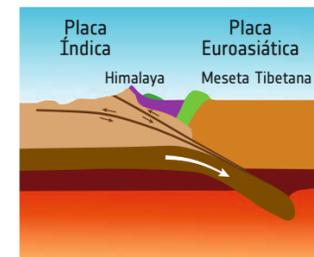
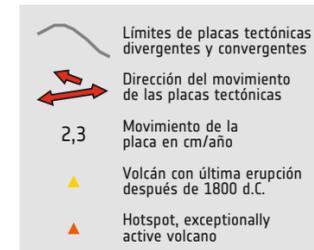
1. Placas tectónicas.

Las actividades tectónicas dan forma a la Tierra

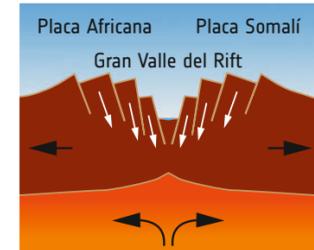
Los movimientos de la corteza terrestre y las deformaciones provocadas por el desplazamiento de las placas tectónicas son procesos poderosos que moldean la superficie de la Tierra a lo largo de millones de años. La litosfera de la Tierra, que comprende la corteza y el manto superior, experimenta inmensas fuerzas relacionadas con el movimiento y la interacción de estas placas, lo que da lugar a la formación de montañas, valles fisurados, terremotos y otros fenómenos geológicos. Ejemplos que ilustran los procesos tectónicos son el Himalaya y el Valle del Rift de África Oriental.

El Himalaya, que se extiende por el sur de Asia, es el resultado de la colisión entre las placas tectónicas india y euroasiática. Esta colisión comenzó hace unos 50 millones de años y sigue moldeando el paisaje de la región. Las placas convergentes han provocado el levantamiento de cadenas montañosas, como el Everest, el pico más alto del mundo. En el Himalaya se pueden observar una gran variedad de procesos geológicos, como el plegamiento y la erosión.

En cambio, el Valle del Rift de África Oriental es el resultado de fuerzas divergentes que desgarran el continente africano. La corteza terrestre se está separando a lo largo de un sistema de grietas, resultado del alejamiento de las placas tectónicas. Este proceso, llamado rifting continental, constituye las etapas iniciales de la evolución de los límites de placas. El magma del manto contribuye al adelgazamiento y posterior separación de las masas continentales. El paisaje del Valle del Rift se caracteriza por acantilados escarpados, actividad volcánica y lagos.



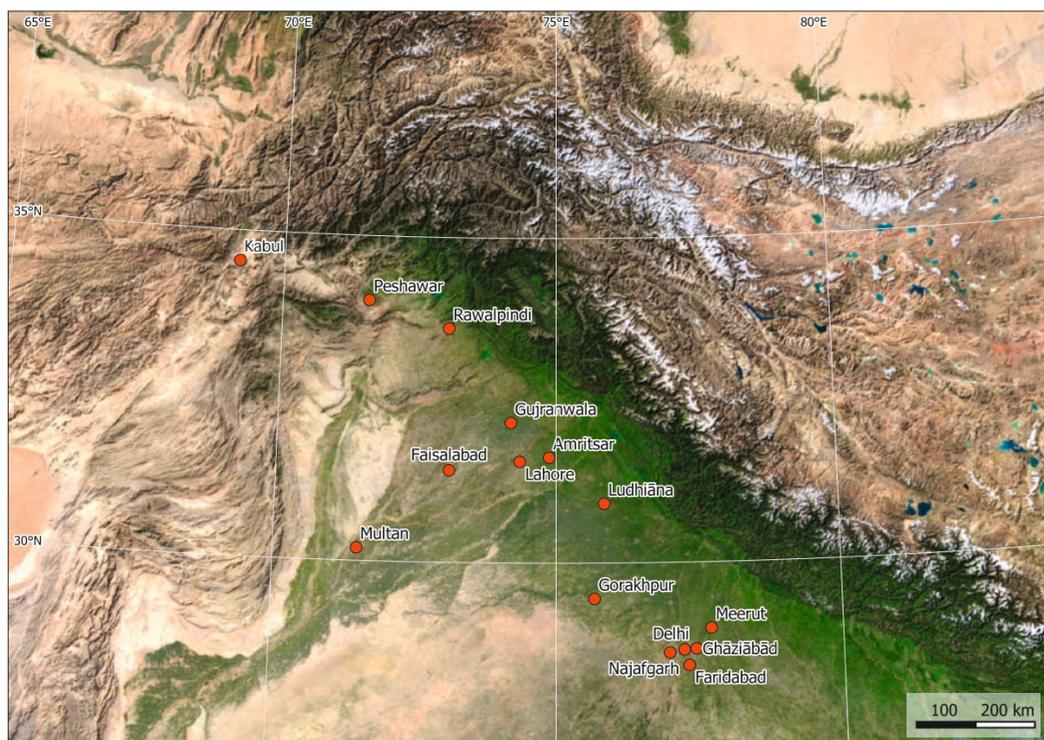
4. Sección transversal esquemática del Himalaya y la meseta tibetana, que muestra la formación de la cadena montañosa por la colisión de las placas Índica y Euroasiática.



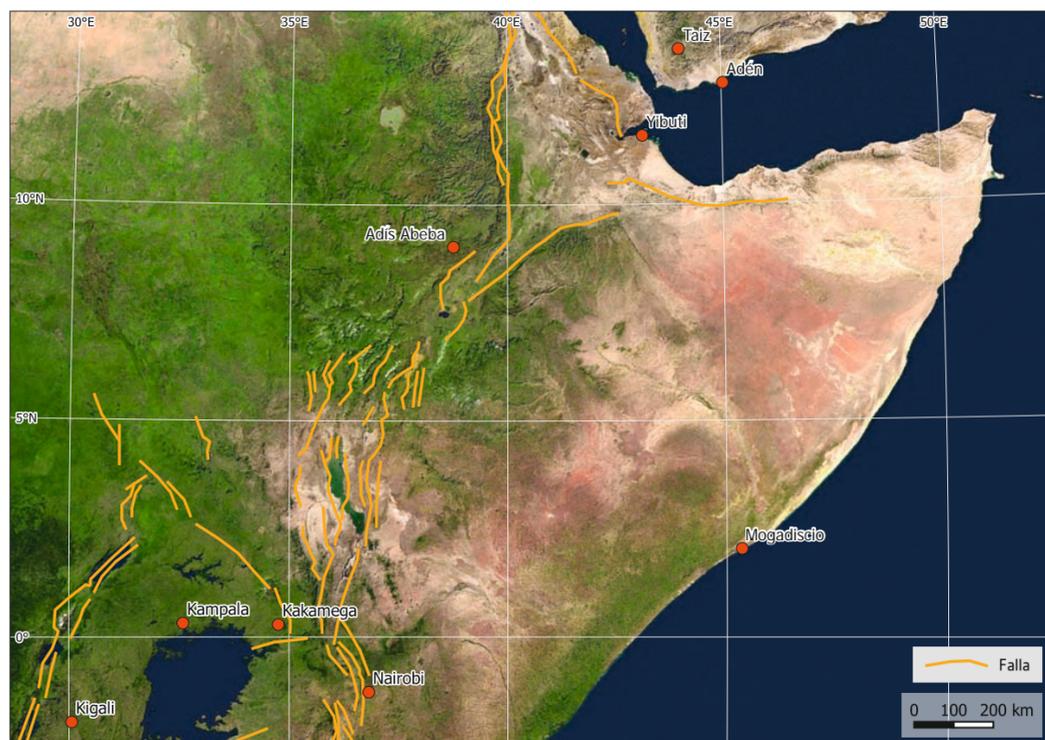
5. Sección transversal esquemática del Valle del Rift de África Oriental, que muestra la formación del valle debido a la divergencia de las Placas Africana y Somalí.



2. Estructuras típicas de pliegues en la vertiente norte del Himalaya, mostrando capas de roca en diferentes colores. Datos: Sentinel-2, 02/08/2023.

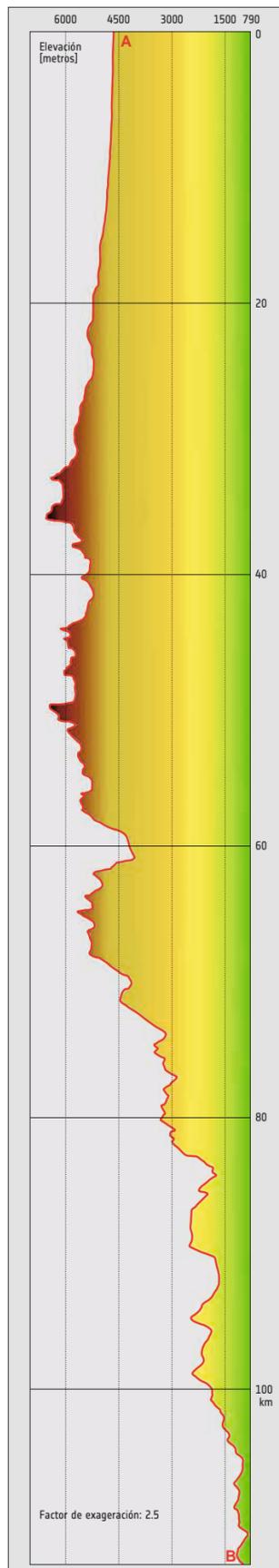


3. Los Himalayas son montañas plegadas características. Son el resultado del movimiento de la Placa India hacia el norte, donde choca con la Placa Euroasiática.

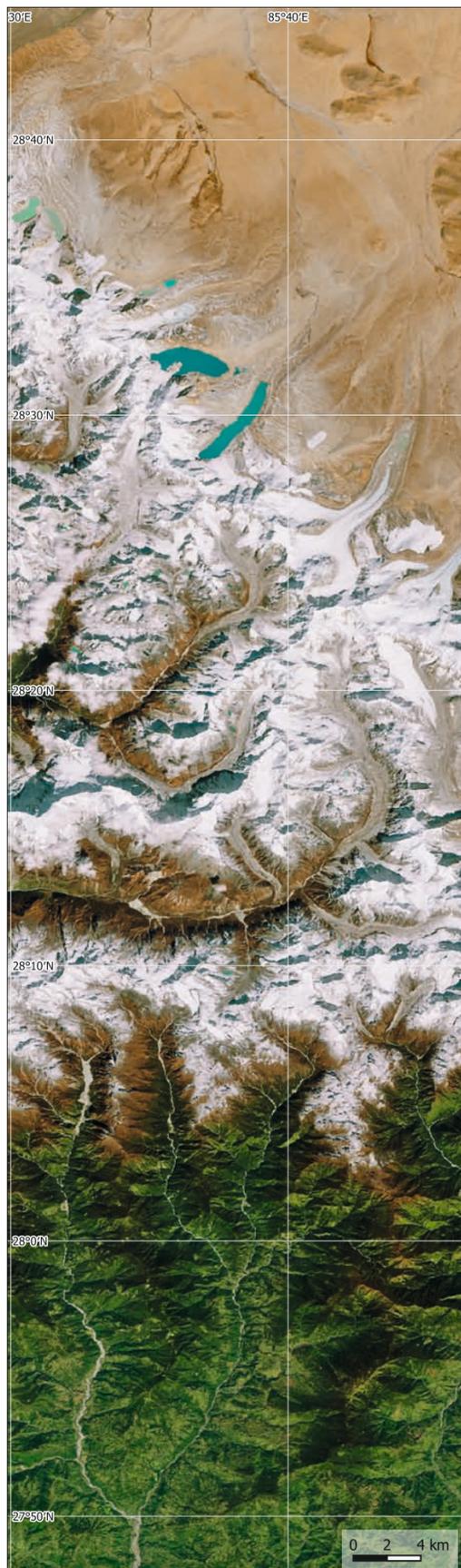


6. Vista detallada de las grietas del Valle del Rift de África Oriental al este de Addis Abeba, Etiopía. Datos: Sentinel-2, 26/08/2023.

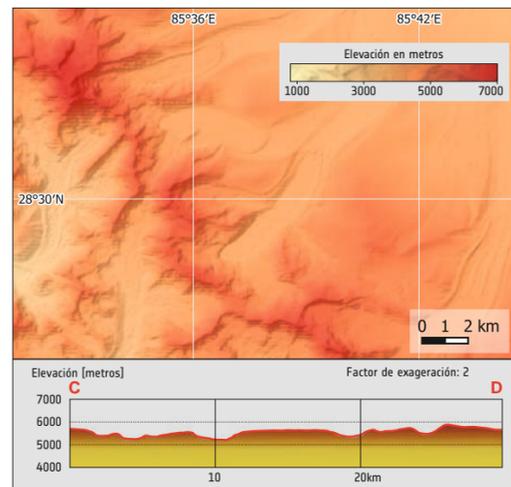
7. El Valle del Rift de África Oriental está formado por la separación en curso de la Placa Somalí de la Placa Africana, lo que ha provocado un adelgazamiento de la corteza terrestre alrededor de la línea de separación.



1. Sección transversal del Himalaya de norte a sur



2. El Himalaya separa las verdes tierras bajas del sur de la árida meseta tibetana del norte. Datos: Sentinel-2, 22/10/2023.



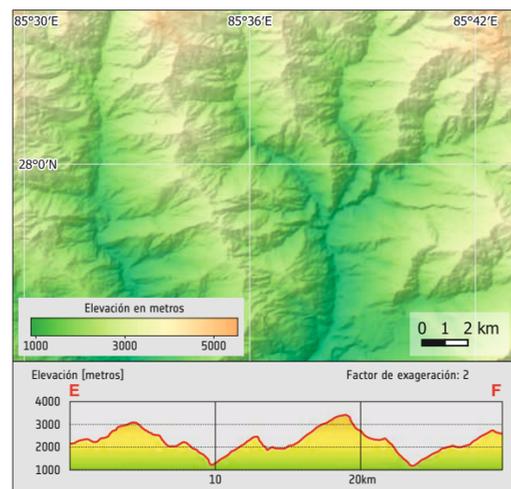
3. Los típicos valles suaves en forma de U formados por los glaciares van acompañados de morrenas y lagos glaciares.

**Paisajes moldeados por la erosión**

Las laderas del Himalaya son tectónicamente activas. El choque entre la Placa India y la Placa Euroasiática provoca el levantamiento de la corteza y la formación de la cordillera del Himalaya. Diversos procesos de erosión frenan el levantamiento de la cordillera.

La vertiente norte del Himalaya, la meseta tibetana, se caracteriza por sus altas mesetas, sus valles profundos y su terreno accidentado. Esta zona es en gran parte árida y tiene una elevación media mayor que la vertiente sur. Que dan la erosión está dominada en gran medida por los glaciares, dando lugar a los típicos valles en forma de U de la erosión glaciar.

La vertiente meridional del Himalaya suele tener un relieve más variado, con valles más bajos y picos más altos. Esta región incluye las estribaciones del Himalaya, que gradualmente se transforman en las vastas llanuras del subcontinente indio. Aquí se observa principalmente la erosión fluvial. El paisaje está formado por ríos y corrimientos de tierras, que dan lugar a valles en forma de V.

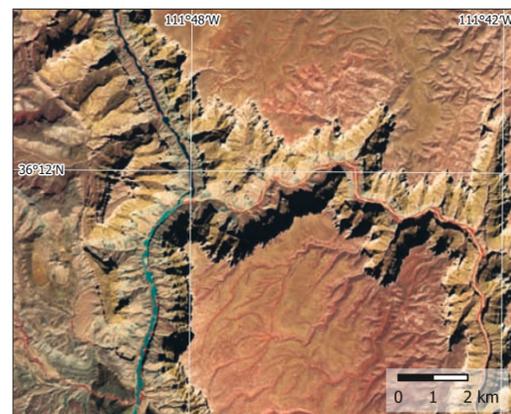
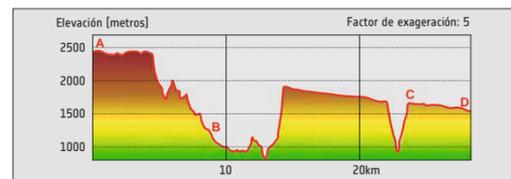


4. Típicos valles escarpados en forma de V formados por los ríos a lo largo de la vertiente sur del Himalaya.

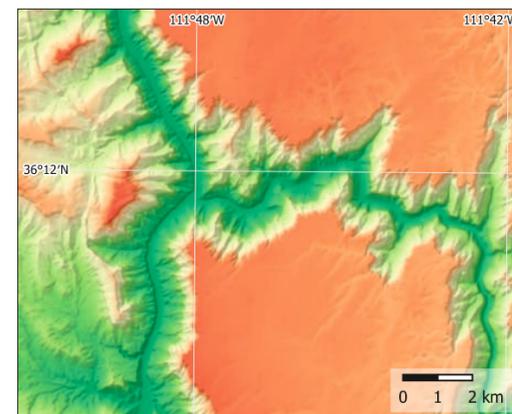
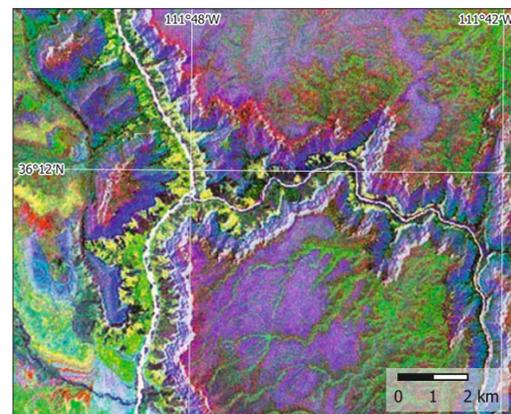
**Tallado en capas de sedimentos**

La meseta del Colorado, en el suroeste de Estados Unidos, está atravesada por el río Colorado. La meseta de Kaibab, en el oeste, aparece de color verde por su vegetación de álamos temblones, abetos y bosques de enebros. El Desierto Pintado, al este, está formado por bandas de dunas de arena petrificada paralelas a la superficie. El río Colorado fluye desde su cabecera en el Parque Nacional de las Montañas Rocosas hacia el suroeste, pasando por el Cañón de Mármol. En el extremo sur del cañón, el río se une al río Little Colorado. Durante millones de años, la fuerza erosiva del agua ha cortado el Gran Cañón a través de las capas de sedimentos a medida que la meseta del Colorado se ha ido elevando.

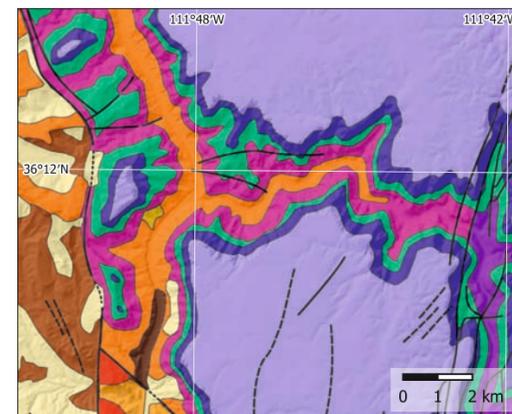
Los mapas detallados ponen de relieve la situación geológica y geomorfológica específica de la región, resultado de la erosión fluvial de las capas de sedimentos, por lo demás en su mayoría inalteradas. El mapa del terreno y el perfil ilustran el carácter de desfiladero del cañón excavado en la superficie de la meseta del Colorado.



6. Unión del Pequeño Río Colorado y el Río Colorado en infrarrojos de falso color. Datos: Sentinel-2, 24/09/2023.



7. Mapa del terreno de la región en torno a la confluencia del río, que muestra el cañón irregular cortado en la suave meseta del Colorado.



5. El río Colorado ha excavado el Gran Cañón hasta 1.500 metros de profundidad en las capas de roca sedimentaria que forman la meseta del Colorado. Datos: Sentinel-2, 24/09/2023.

8. Un análisis de componentes principales de los datos del satélite permite separar las capas geológicas (izquierda).

<b>Depósitos Cuaternarios</b>	<b>Pérmico/Pennsylvano</b>
Depósitos Coluviales	Caliza Kaibab, Formación Toroweap
Depósitos de Taludes	Arenisca Coconino, Hermit Esquisto
	Formación Supai
<b>Mississippiano, Devónico, Cámbrico</b>	<b>Precámbrico</b>
Caliza de Redwall	Grupo Chuar
Redwall, Temple Butte, Muav (calizas)	Formación Nankowep
	Lava Cárdenas
Formación Bright Angel, Arenisca Tapeats	Arenisca Dox

9. Mapa geológico.



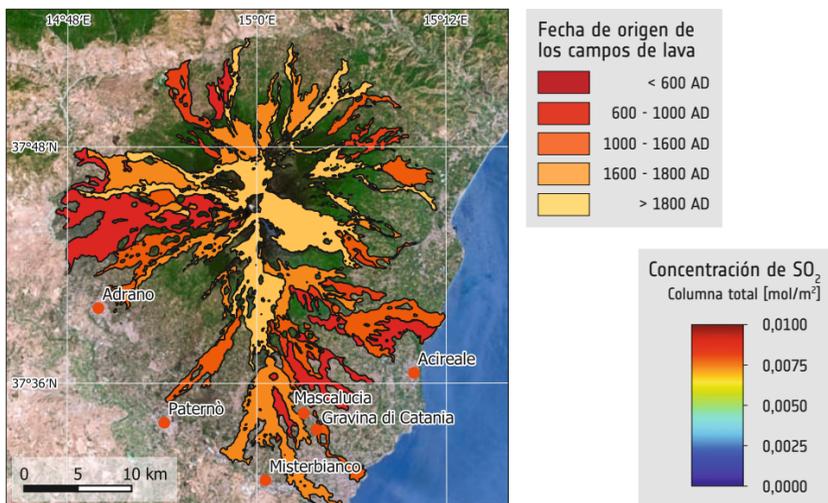
1. Sicilia, mosaico de satélite de junio de 2023. Datos: Sentinel-2.

**Monte Etna, Italia**

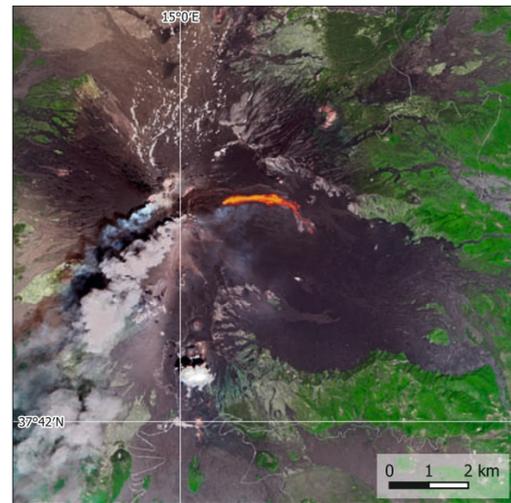
El Etna, situado en la isla de Sicilia (Italia), es el mayor volcán de Europa y uno de los más activos de la Tierra. Esto se refleja en su alta frecuencia de erupciones. Las personas que viven en las laderas del volcán o cerca de ellas están acostumbradas a que las actividades volcánicas les perturben repetidamente. Aprovechan las ventajas de la situación, en particular el fértil suelo volcánico y el volcán como punto de referencia turístico. Los datos de satélite se utilizan para seguir de cerca y cuantificar los daños causados por este fenómeno. La tecnología desempeña un papel crucial en el seguimiento de la evolución de la erupción, ya que proporciona información en tiempo real sobre el comportamiento del volcán y permite cartografiar los flujos de lava, las columnas de ceniza y las emisiones de gases. Estas observaciones permiten alertar a tiempo para proteger a las comunidades cercanas y al tráfico aéreo.



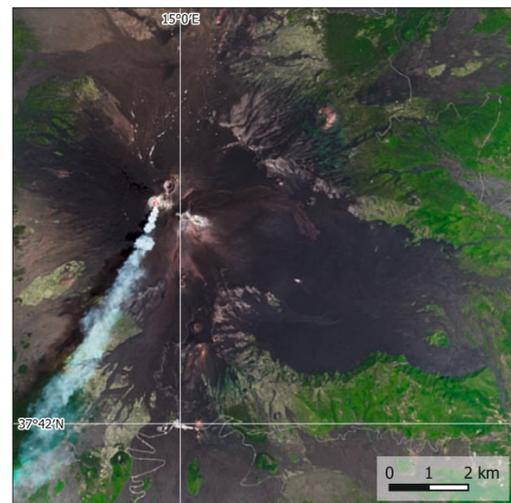
6. El Etna durante una erupción.



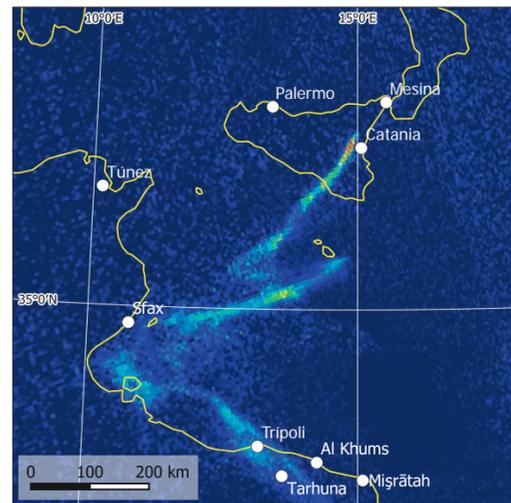
5. Mapa de la edad de los campos de lava que cubren las laderas del Etna. Datos: Sentinel-2, 06/07/2022.



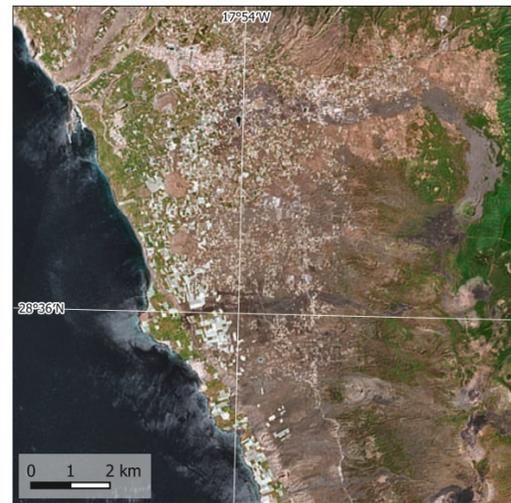
2. Inicio de la erupción del Etna en junio de 2022, mostrando un flujo de lava al este de la cumbre. Datos: Sentinel-2, 06/03/2022.



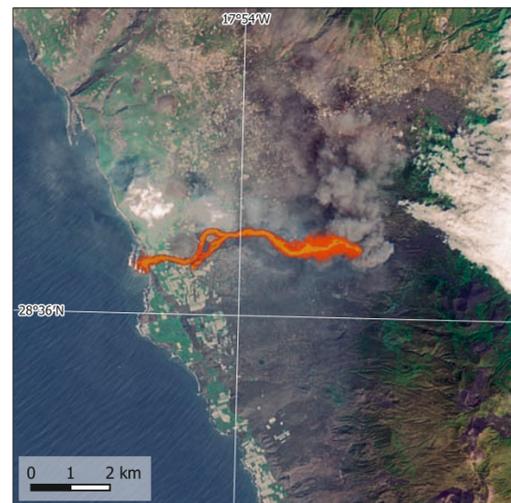
3. La erupción del Etna en junio de 2022, tras el cese de los flujos de lava. Datos: Sentinel-2, 21/06/2022.



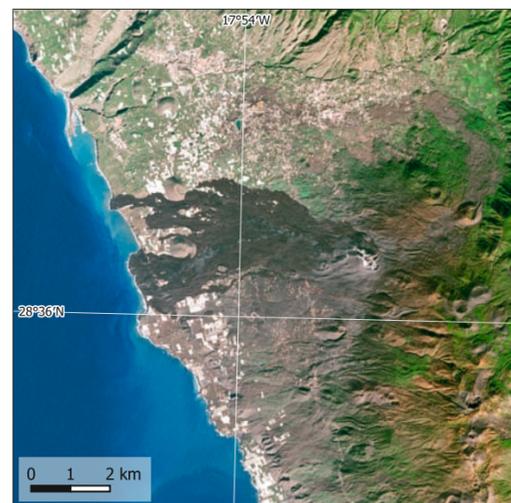
4. Concentración de SO<sub>2</sub> (columna total) mostrando el penacho de la erupción transportado por los vientos hacia el sur. Datos: Sentinel-5B, 21/06/2022.



7. Imagen en color verdadero de La Palma, España, mostrando la región alrededor de Los Llanos de Ariadna antes de la erupción en la cresta de Cumbre Vieja. Datos: Sentinel-2, 21/08/2021.



8. Imagen de satélite en color verdadero de La Palma, que muestra el flujo de lava durante la erupción. Datos: Sentinel-2, 30/09/2021.



9. Imagen de La Palma, mostrando la nueva cubierta de lava. La comparación con la imagen anterior a la erupción revela la pérdida de asentamientos y campos. Datos: Sentinel-2, 03/01/2022.

**Volcanismo de puntos calientes**

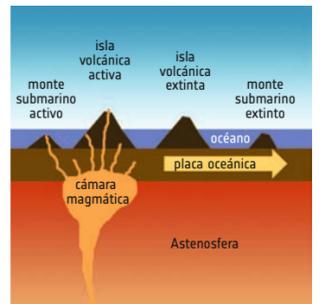
Los puntos calientes son regiones de la corteza terrestre situadas sobre las llamadas plumas del manto, regiones del manto terrestre donde el magma asciende debido a procesos de convección. Como consecuencia, la corteza terrestre situada sobre la pluma puede adelgazarse y aumentar la actividad volcánica de la región. Cuando la corteza terrestre se desplaza a través del punto caliente, la zona de actividad volcánica se desplaza y puede crear cadenas de volcanes. Hawái y las Islas Canarias son ejemplos destacados de vulcanismo de punto caliente.

**La Palma, España**

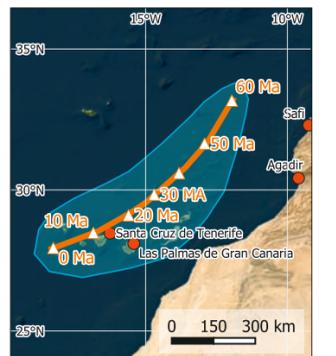
Las Islas Canarias están situadas sobre el llamado punto caliente canario, una región de gran actividad volcánica frente a la costa noroccidental de África. En otoño de 2021, la isla de La Palma, parte del archipiélago español de las Canarias frente a la costa de África Occidental, fue testigo de una espectacular erupción volcánica.

El 19 de septiembre, el volcán Cumbre Vieja, inactivo durante décadas, entró en violenta erupción. En un espectáculo devastador, liberó ceniza y lava fundida. Ríos de lava al rojo vivo descendieron por las laderas del volcán, engullendo casas, granjas y carreteras. Aunque la erupción no se cobró ninguna vida, los daños totales fueron enormes. Se estimaron en más de 800 millones de euros, incluyendo la destrucción de infraestructuras, zonas residenciales y agricultura. Más de 2.800 edificios quedaron destruidos.

La Palma depende en gran medida del turismo, que se vio afectado por la erupción. Los ingresos del turismo cayeron en picado aproximadamente un 60%, lo que provocó temporalmente importantes pérdidas de empleo y el cierre de empresas. Además, la destrucción de tierras de cultivo e infraestructuras perturbó los sectores agrícola y de transporte de la isla.



11. Mecanismo de formación de cadenas de islas volcánicas por vulcanismo de punto caliente.



12. Punto caliente de las Islas Canarias. Durante los últimos 60 millones de años (Ma), el fondo marino se ha desplazado casi 1.000 km a través del punto caliente, dejando atrás la cadena de las Islas Canarias.



13. La Palma es la más joven de las Islas Canarias. Su superficie presenta estructuras volcánicas típicas, como cráteres y campos de lava. Datos: Sentinel-2, 03/01/2022.

10. La Palma, tras la erupción. La superposición resalta en rojo la nueva cubierta de lava según los datos obtenidos por satélite. Datos: Sentinel-2, 30/09/2021.

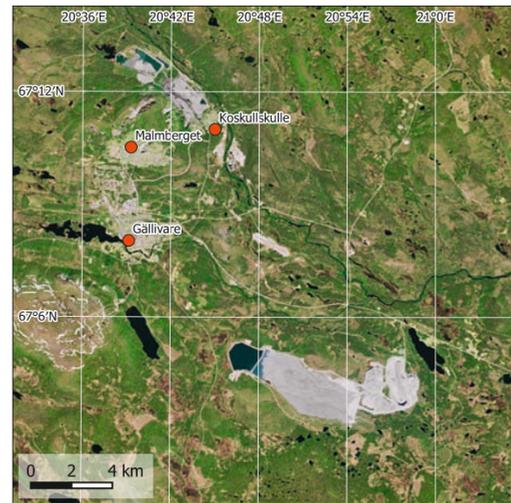


1. Imagen en color verdadero de la mina de Aitik (abajo a la derecha en la imagen) en 2023. Datos: Sentinel-2, 15/06/2023.

**Mina de cobre en Aitik, Suecia**

Situada cerca de la ciudad de Gällivare, Aitik es una mina de cobre a cielo abierto. Puesta en producción en 1968, ocupa más de 450 hectáreas y es una de las mayores minas de cobre de Europa y una de las más eficientes del mundo. Las imágenes ilustran el cambio en la escala de sus operaciones entre 1992 y 2023. Durante este periodo, la extracción de mineral se amplió hasta aproximadamente 39 millones de toneladas anuales.

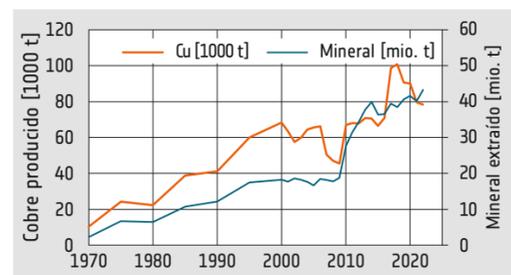
3. Vista de la estructura en terrazas de la mina a cielo abierto de Aitik.



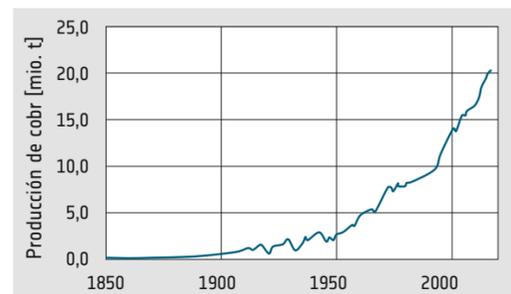
2. Imagen en color verdadero de la mina de Aitik en 1992. Datos: Landsat 5, 05/06/1992.

La importancia económica de Aitik es alta, ya que contribuye significativamente a las exportaciones de minerales de Suecia, aportando casi el 40% de la producción nacional de cobre. Además, se producen cantidades menores de oro, plata y molibdeno. Gracias a sus actividades, el centro minero ofrece oportunidades de empleo a miles de personas de la comunidad local.

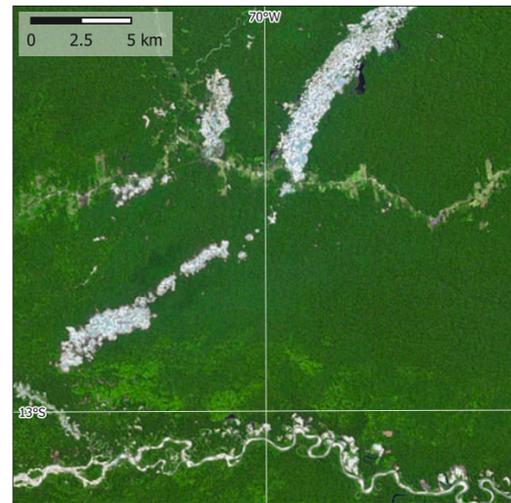
Por su impacto en el medio ambiente, las actividades mineras de Aitik han suscitado inquietudes en materia de sostenibilidad, lo que exige prácticas responsables desde el punto de vista medioambiental. La mina emplea tecnología de vanguardia para minimizar su huella ecológica, con medidas para mitigar la contaminación del agua y el aire.



4. Evolución de la producción de cobre en la mina de Aitik. A lo largo de los años, la concentración de cobre del mineral se ha reducido a la mitad.



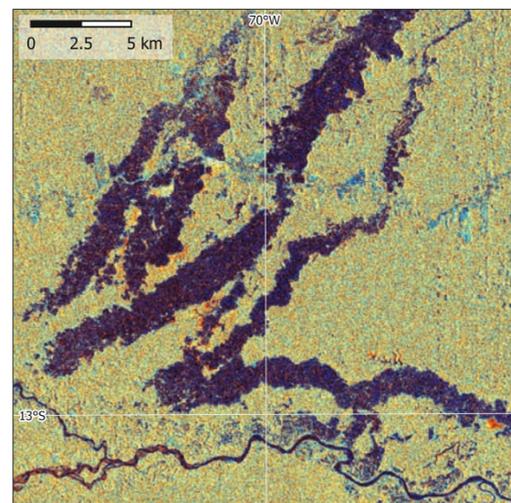
5. La evolución de la producción mundial de cobre desde 1850 muestra una tendencia casi exponencial.



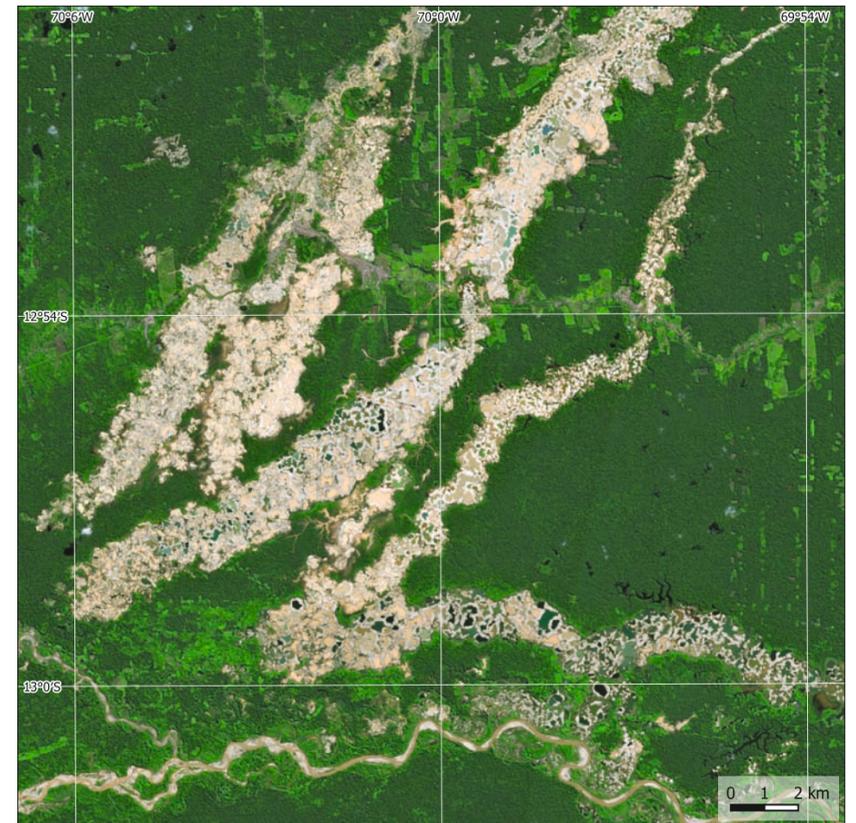
6. Minería de oro en Madre de Dios, Perú, en. En esta región, la pequeña minería se ha intensificado desde su inicio alrededor del año 2000. Datos: Landsat 5, 03/09/2011.

**Minería de oro en Madre de Dios, Perú**

La región a lo largo del Río Madre de Dios, en la parte de la cuenca amazónica situada en Perú, ha experimentado un aumento significativo de las actividades mineras informales e ilegales durante las dos últimas décadas. Las actividades mineras han tenido consecuencias medioambientales y sociales negativas, como la deforestación, la contaminación por mercurio y la destrucción de hábitats, poniendo en peligro la vida salvaje y las comunidades indígenas. La extracción de oro implica el uso de mercurio venenoso. Liberado al medio ambiente, contamina ríos y ecosistemas acuáticos. Cada año, entre 30 y 40 toneladas de mercurio son liberadas en la cadena alimentaria. Esto supone graves riesgos para la salud de los residentes y para el medio ambiente. Cerca del 80% de la población local presenta concentraciones elevadas de mercurio. El Gobierno se ha esforzado por combatir estos proble-

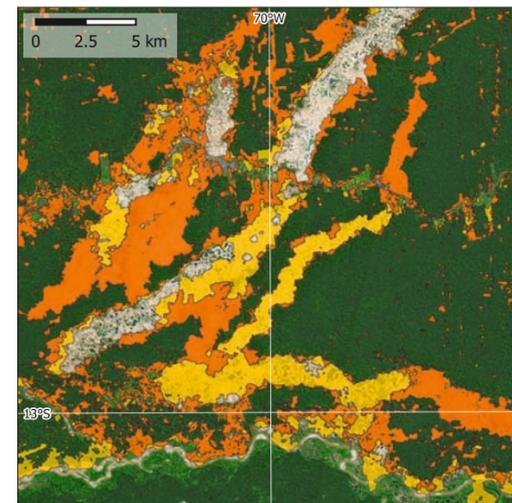


8. Los datos radar son una valiosa herramienta para analizar los cambios especialmente en las regiones tropicales, donde a menudo las nubes impiden utilizar datos ópticos. Sentinel-1, 25/05/2023.



7. Minería de oro en Madre de Dios. La imagen de satélite muestra las zonas directamente afectadas por la minería. Además, se pueden ver nuevos asentamientos y tierras agrícolas. Datos: Sentinel-2, 03/06/2023.

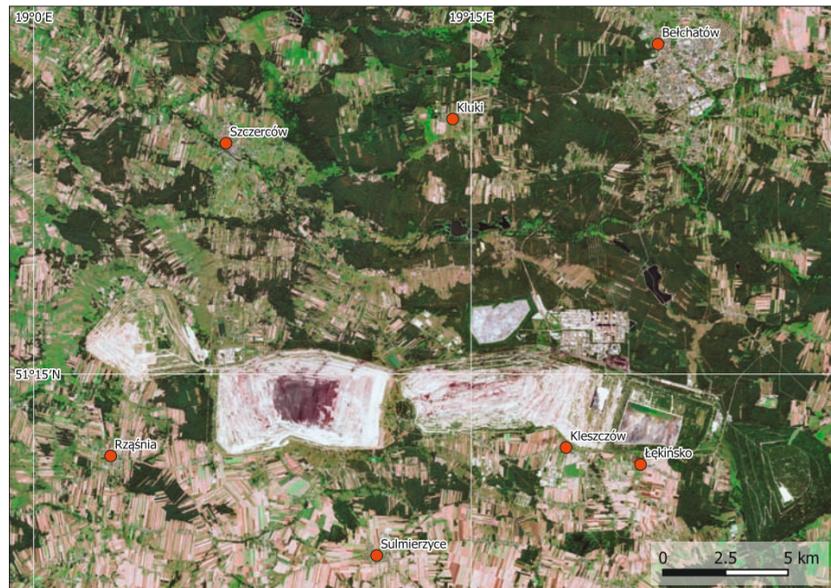
mas regulando las actividades mineras. Las imágenes por satélite desempeñan un papel importante en el seguimiento y la evaluación del impacto de estas iniciativas, ayudando a encontrar un equilibrio entre el desarrollo económico, la salud pública y la preservación de una de las regiones con mayor biodiversidad del mundo. El futuro de la minería de oro en Madre de Dios depende de que se encuentren prácticas sostenibles que protejan el medio ambiente y apoyen los medios de subsistencia locales.



9. Evolución de la superficie forestal entre 2011 y 2023 a partir de datos por satélite (amarillo: pérdida de bosque entre 2011 y 2016, naranja: pérdida de bosque entre 2016 y 2023).



10. Vista de los estanques que quedan tras las actividades de extracción de oro en la región del Río Madre de Dios. Los colores del agua reflejan diferentes concentraciones de sedimentos y algas.



1. Imagen en color real de la mina de lignito de Belchatów en 2023. Datos: Sentinel-2, 15/08/2023.



2. Imagen en color real de la mina de lignito de Belchatów en 2020. Datos: Sentinel-2, 01/07/2020.



3. Imagen en color real de la mina de lignito de Belchatów en 2010. Datos: Landsat 5, 22/08/2010.



4. Imagen en color real de la mina de lignito de Belchatów en 2001. Datos: Landsat 5, 28/07/2001.



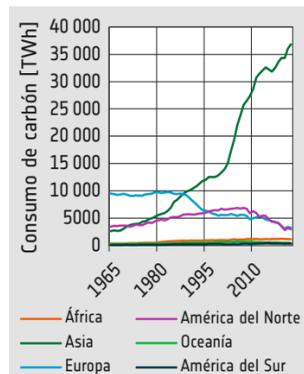
5. Imagen en color real de la mina de lignito de Belchatów en 1990. Datos: Landsat 4, 12/06/1990.

**Mina de carbón de Belchatów, Polonia**

La mina de lignito de Belchatów, situada en el centro de Polonia, ocupa una superficie de más de 12.500 hectáreas. Es una de las mayores minas de lignito de Europa y lleva en funcionamiento desde mediados de los años setenta.

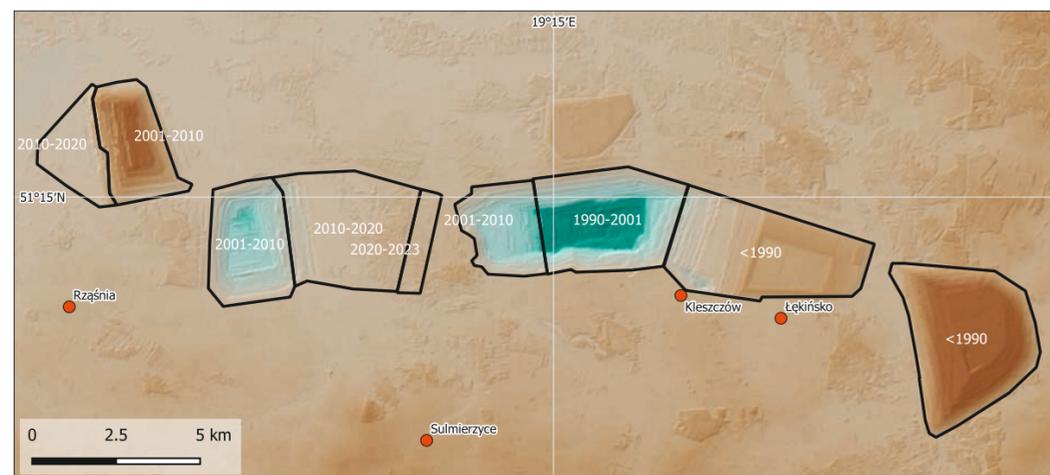
La mina tiene grandes reservas que superan los 2.000 millones de toneladas de lignito, un carbón de baja que se utiliza para generar electricidad. El lignito producido se suministra a la central eléctrica adyacente de Belchatów, que consume más de 40 millones de toneladas de lignito al año. Con su capacidad de más de 5,3 GW, esta central es una de las mayores centrales térmicas de Europa.

Como muestran los mapas por satélite, la mina se ha desplazado hacia el oeste, siguiendo los yacimientos de carbón. Se enfrenta a problemas medioambientales debidos a la extracción de combustibles fósiles y a las emisiones de gases de efecto invernadero. Con sus emisiones de 30 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> en 2020, la central eléctrica adyacente era el mayor emisor individual de este gas de efecto invernadero en Europa.



7. Evolución del consumo de carbón (hulla y lignito) para la producción de energía.

6. Las actividades mineras han modificado el relieve de la zona en varios cientos de metros.



8. La imagen de 1985 con primeras actividades mineras. Datos: Landsat 4, 25/01/1985.



9. Las superficies de las balsas de evaporación en 2000. Datos: Landsat 5, 03/01/2000.



10. Superficie de las balsas de evaporación en 2023. Datos: Sentinel-2, 18/01/2023.

**Salar de Atacama, Chile**

Con una superficie de unos 3050 km<sup>2</sup>, el Salar de Atacama es el mayor salar de Chile. Situado en la cordillera de los Andes a 2.300 m sobre el nivel del mar, el salar está formado por sales mezcladas con arena.

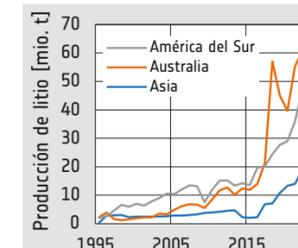
La región recibe precipitaciones extremadamente escasas. Con solo 2 mm de lluvia al año, es una de las regiones más secas del mundo. El agua de las montañas circundantes se enriquece con minerales y sales y fluye hasta el punto más bajo, el saladar, donde el

agua se evapora. Este proceso ha formado una masa de salmuera que llega hasta 1,7 km bajo la superficie. Está compuesta principalmente de cloruro de sodio y es rica en litio, potasio, magnesio y boro. La salmuera se bombea a la superficie, donde el agua se evapora y las sales se enriquecen aún más.

El Salar de Atacama es uno de los centros de producción de litio más importantes, con cerca del 36% de la producción mundial de litio y cerca del 27% de las reservas mundiales conocidas de este mineral.

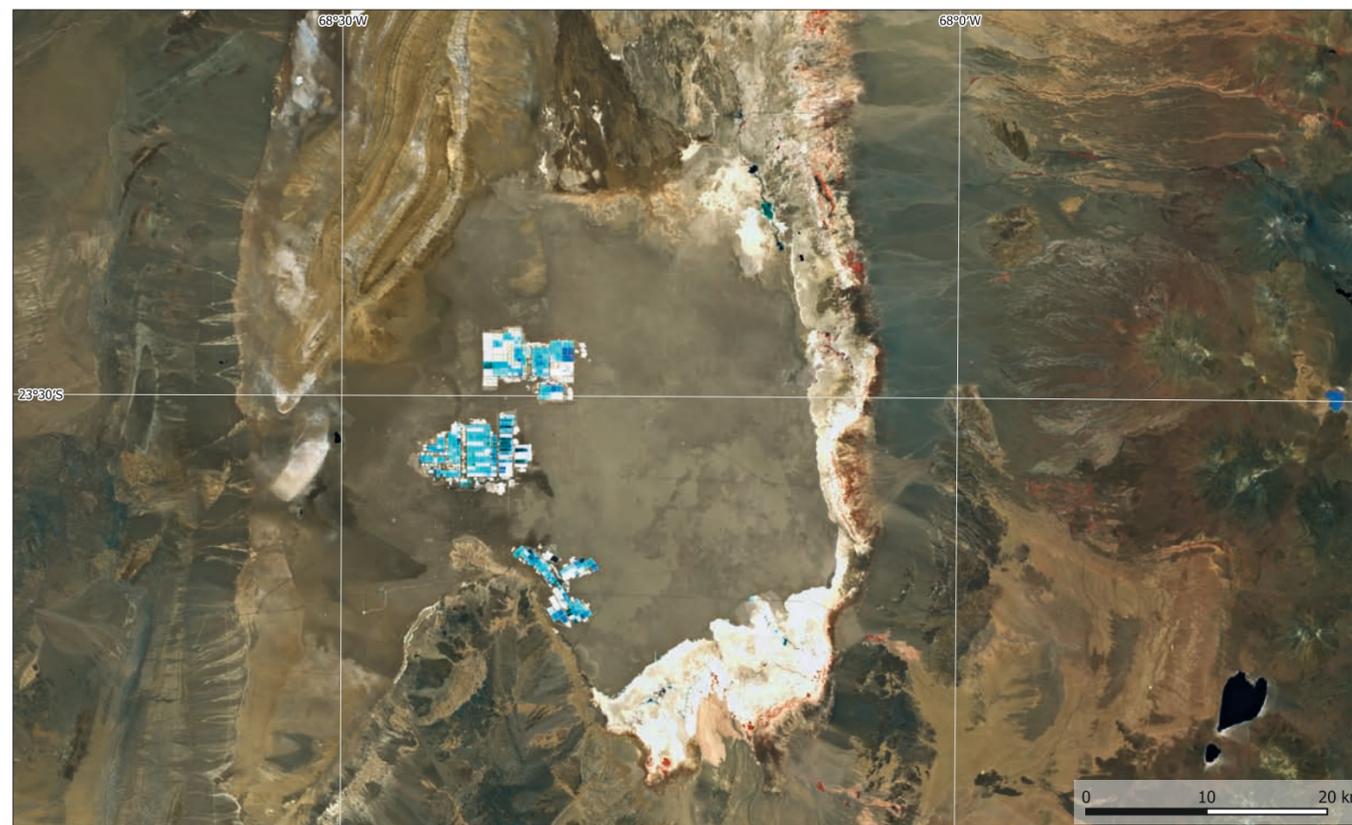


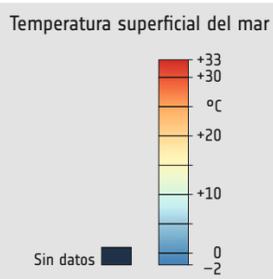
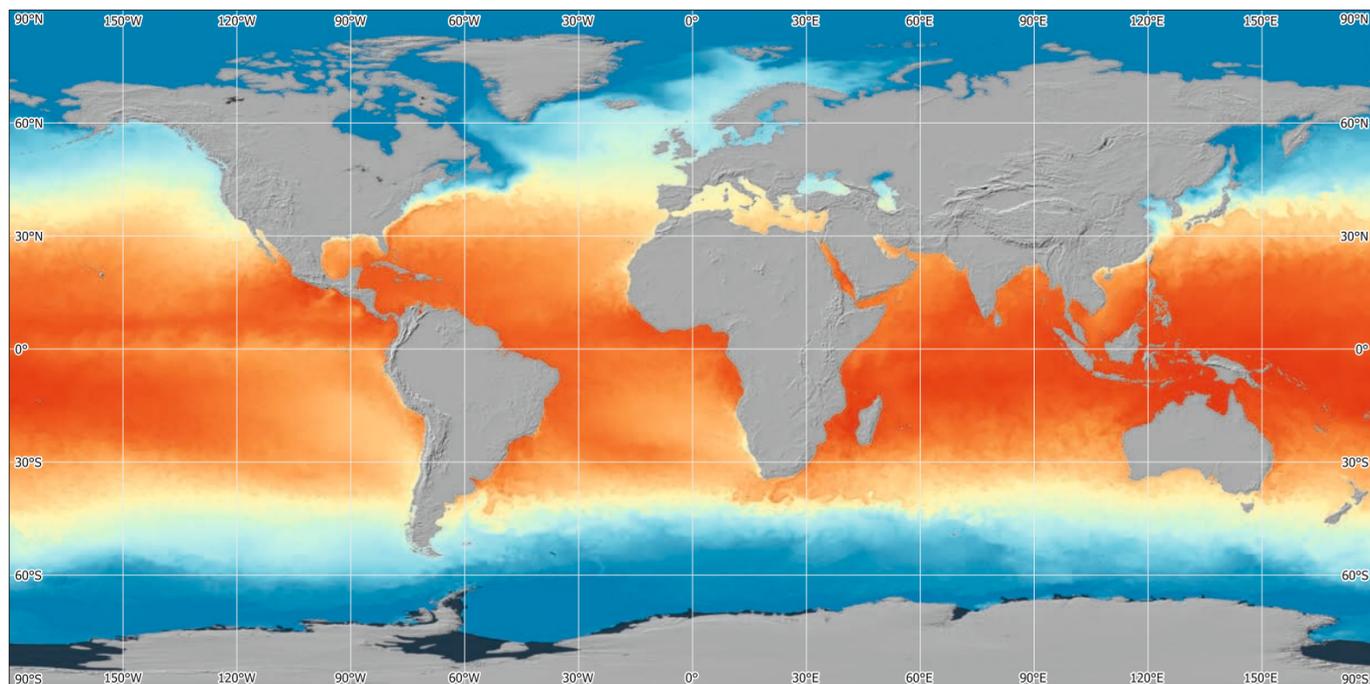
11. Vista de la costra de sal que forma la superficie del Salar de Atacama.



12. La creciente demanda de vehículos eléctricos de batería ha provocado un aumento significativo de la producción de litio.

13. La imagen infrarroja en falso color del satélite muestra la vegetación en rojo. En este entorno estéril sólo son visibles pequeñas manchas de vegetación a lo largo del borde oriental del salar. Datos: Sentinel-2, 18/01/2023.



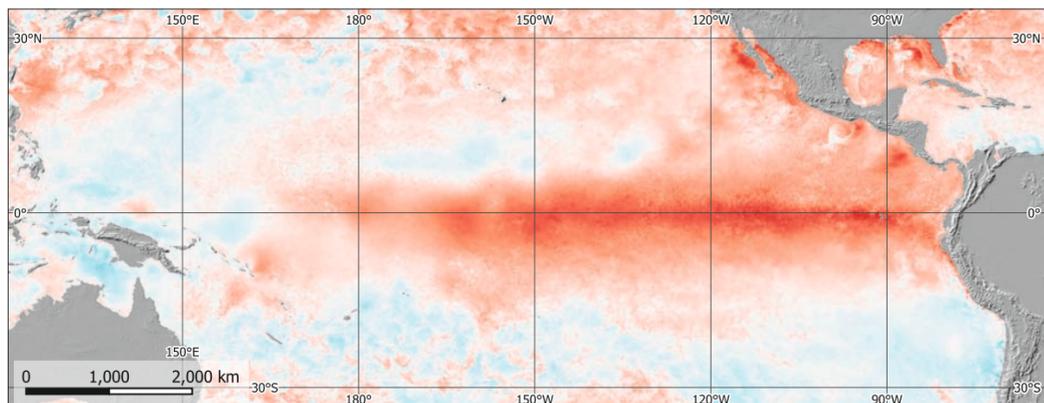


1. Temperaturas globales de la superficie del mar, 01/01/2023.

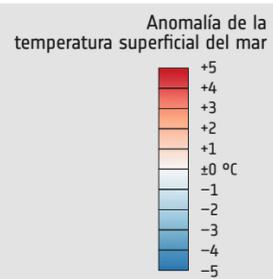
Temperatura superficial del mar (TSM)

La temperatura global de la superficie del mar (TSM) es un componente crítico del sistema climático de la Tierra...

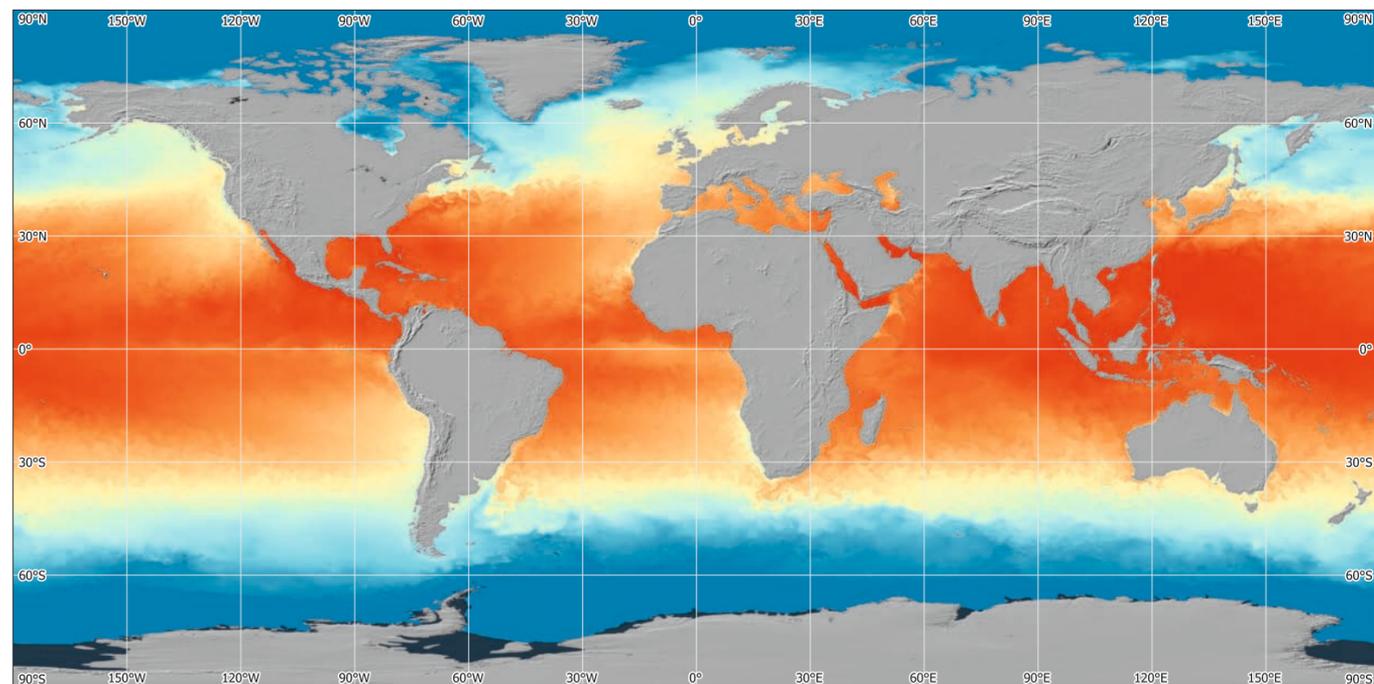
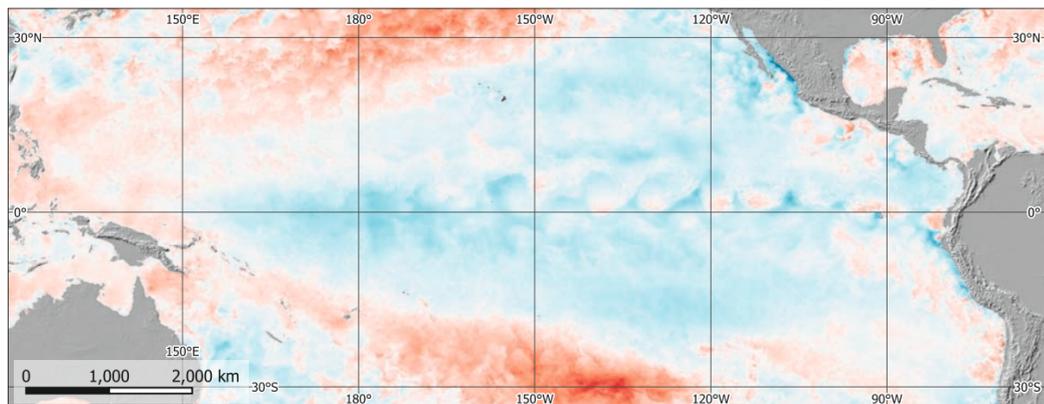
un cambio estacional, estas zonas se desplazan hacia el norte o el sur. Las diferencias de temperatura impulsan la circulación atmosférica y oceánica...



3. Anomalía de la temperatura de la superficie del mar en el Océano Pacífico ecuatorial durante un evento de El Niño, 25/12/2015.



4. Anomalía de la temperatura superficial del mar en el Océano Pacífico ecuatorial durante un evento de La Niña, 25/12/2011.



2. Global Sea Surface Temperatures, 01/07/2023.

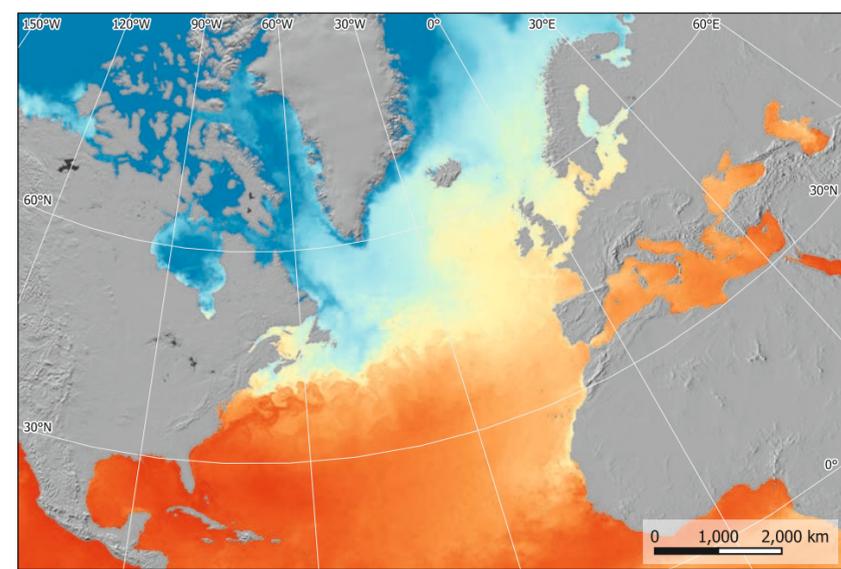
gético en el contexto del cambio climático. Aunque a un ritmo menor, las temperaturas del agua de los océanos han aumentado alrededor de 0,8 °C entre 1950 y 2020.

El Niño y La Niña

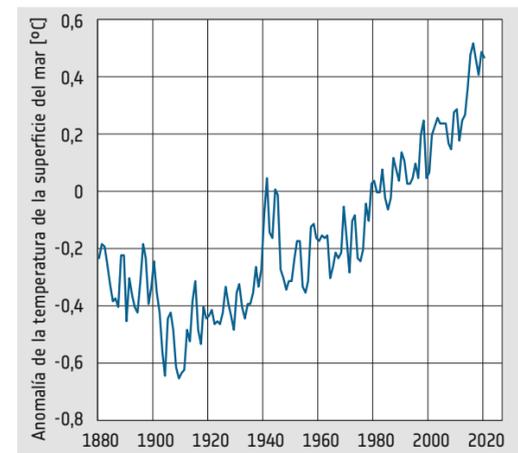
Un fenómeno importante relacionado con la TSM es El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). El ENOS es un ciclo climático natural caracterizado por el calentamiento (El Niño) y el enfriamiento (La Niña) periódicos de las temperaturas de la superficie del mar en el océano Pacífico ecuatorial.

Corriente del Golfo y corriente del Atlántico Norte

La corriente del Golfo es una potente corriente oceánica del Atlántico Norte que transporta agua cálida desde el Golfo de México hacia el noreste de Estados Unidos y el oeste de Europa.



5. La Corriente del Golfo y el Atlántico Norte que va desde Florida en Norteamérica hasta Escandinavia en el norte de Europa son visibles en la Temperatura Superficial del Mar (01/01/2014).



6. La temperatura media mundial de la superficie del mar muestra un claro aumento: en los últimos 50 años, el incremento ha sido de aproximadamente 0,8 grados centígrados.



1. Imagen de satélite del valle del Nilo. Datos: Sentinel-2.

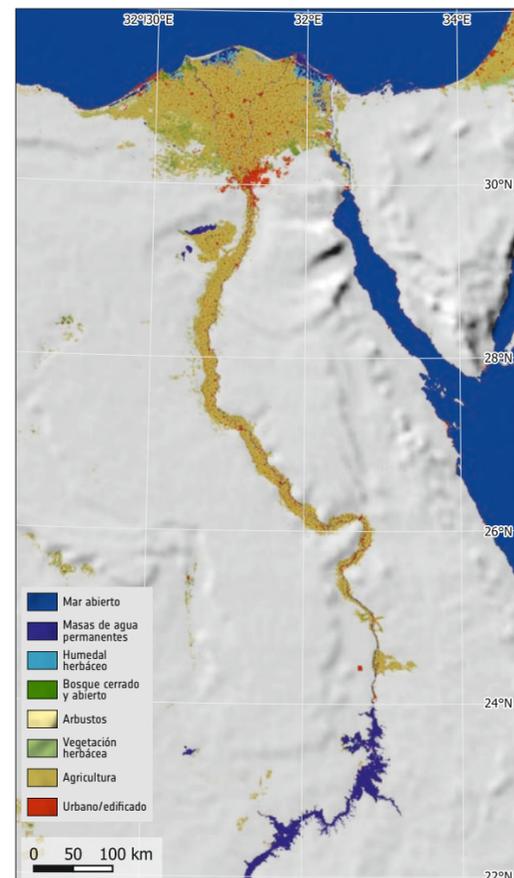
### El río Nilo

El litoral de la desembocadura del Nilo, cerca de Alejandría, se define principalmente por el equilibrio entre la deposición de sedimentos por el río Nilo y su eliminación por el mar Mediterráneo.

La carga de sedimentos del río Nilo se redujo considerablemente gracias a la presa alta de Asuán, situada unos 1.000 km río arriba, que se terminó en 1970. Antes de la construcción de la presa, el delta del Nilo recibía una carga anual de sedimentos de unos 130 millones de toneladas. En la actualidad, esta cifra se ha reducido a unos 16-20 millones de toneladas, lo que ha provocado una disminución de la reposición natural del litoral.

En el último siglo, el mar Mediterráneo ha experimentado una subida media del nivel del mar de unos 3,4 milímetros al año debido al calentamiento global. Esto conlleva un aumento sustancial adicional de la erosión costera y de la vulnerabilidad a las mareas de tempestad.

Según los datos obtenidos por satélite, se calcula que la erosión costera en torno a Alejandría es de un metro al año en algunas zonas. Este rápido ritmo de erosión amenaza las infraestructuras, las comunidades costeras



2. Mapa de utilización del suelo del valle del Nilo.



3. Delta del Nilo, Egipto, cerca de Rosetta en 1985. Datos: Landsat 5, 10/06/1985.

y las tierras agrícolas. Alejandría es la segunda ciudad más grande de Egipto y en ella viven más de 5 millones de personas. Muchos de sus habitantes dependen de la agricultura, la pesca y el turismo, y todos ellos se ven afectados directa o indirectamente por los cambios en el litoral. Por ello, Egipto lucha contra la erosión costera alrededor de Alejandría y, por ejemplo, ha destinado 21 millones de euros en 2018 a esta tarea.

### Proyectos a gran escala a lo largo del río Nilo

El Valle Nuevo, con una superficie de unos 440.000 kilómetros cuadrados, ha experimentado un importante desarrollo agrícola. Abarcando la Depresión de Toshka y las tierras adyacentes a lo largo del río Nilo, el valle fue el centro del Proyecto Toshka, iniciado a finales del siglo XX.

Este proyecto pretendía desviar agua del lago de almacenamiento del lago Nasser para regar unas 540.000 hectáreas de tierras desérticas en el Valle Nuevo, con el objetivo de crear nuevas tierras agrícolas. El proyecto incluía la construcción de canales e infraestructuras para facilitar el riego. Tras los éxitos iniciales, el Proyecto Toshka se enfrentó a una serie de retos y, en 2011, se estimaba que solo una fracción de la superficie prevista estaba cultivada. Entretanto, los esfuerzos se han redoblado y han propiciado un crecimiento significativo de la superficie cultivada.

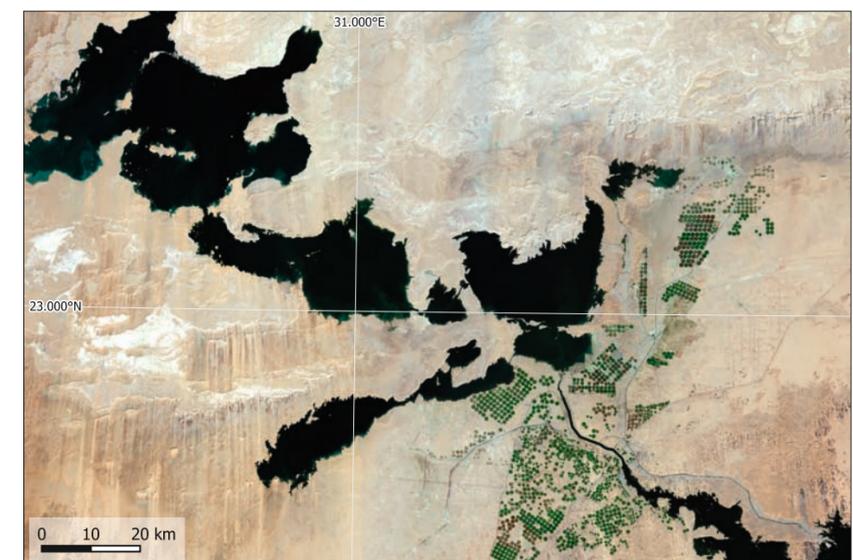
Para comprender la escala y el impacto del proyecto, las imágenes por satélite son una herramienta valiosa. A lo largo de los años, la tecnología por satélite ha sido decisiva para controlar los cambios en el uso del suelo y la vegetación. Las imágenes por satélite se utilizan para analizar cómo se transforma el paisaje, proporcionando una representación visual de los éxitos y reveses de las iniciativas agrícolas en el Valle Nuevo.



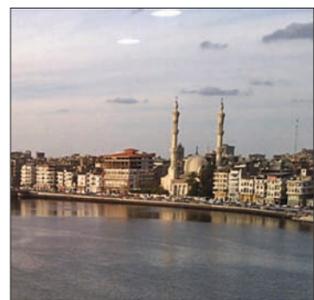
4. Delta del Nilo cerca de Rosetta. Superposición: Cambio de la línea de costa de 1985 a 2023. Datos: Sentinel-2, 25/06/2023.



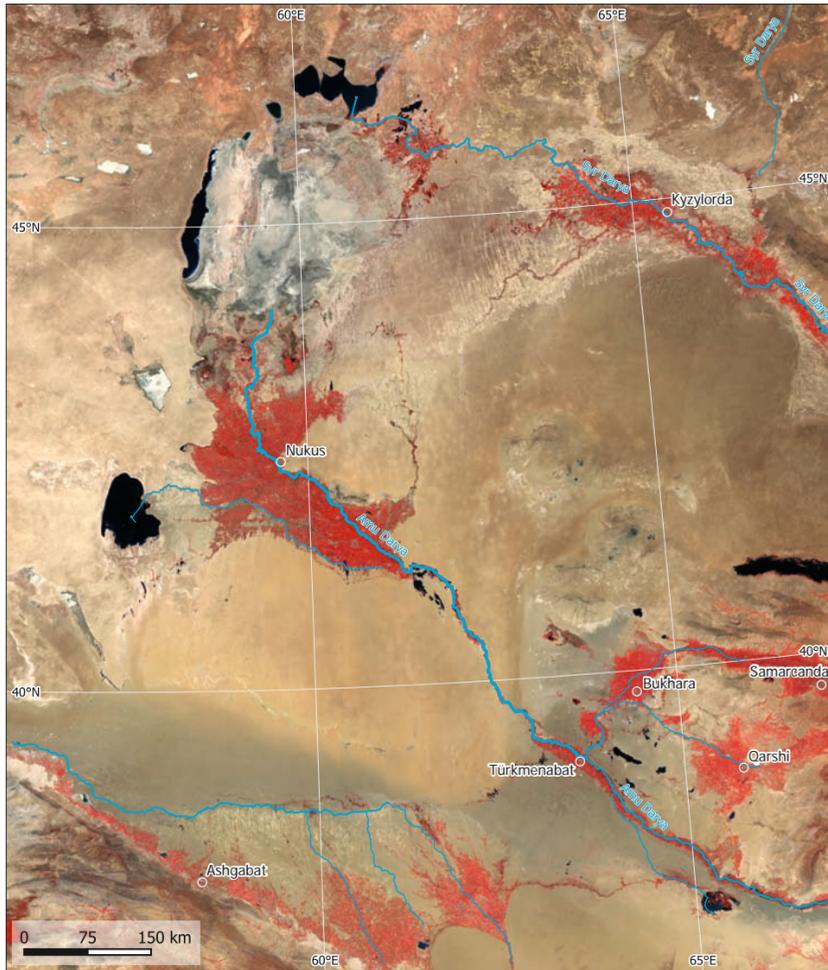
6. Valle Nuevo, Egipto, en 2017. Datos: Sentinel-2, 05/11/2017.



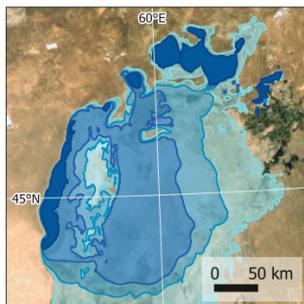
7. Valle Nuevo, Egipto, en 2022. Datos: Sentinel-2, 14/11/2022.



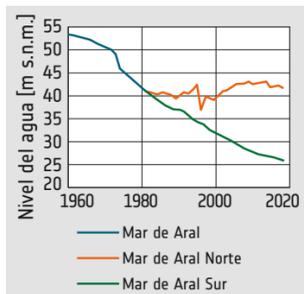
5. Vista de Damietta a orillas del río Nilo.



1. La imagen infrarroja en falso color de la región alrededor del Mar de Aral muestra, donde el agua de sus afluentes se utiliza para el riego (mosaico Sentinel-2, datos adquiridos durante el primer trimestre de 2023).



2. Superficie del mar de Aral en 1964, 1987, 2000 y 2023, a partir de datos de satélite.



3. Retroceso del nivel del mar de Aral. La parte norte se estabilizó con una presa.

**Mar de Aral**

Desde la década de 1960, el mar de Aral se ha reducido drásticamente. Esto se debe principalmente al desvío de agua de los dos ríos principales que lo alimentan, el Amu Darya y el Syr Darya, para fines de irrigación agrícola. La Unión Soviética inició proyectos de irrigación a gran escala para cultivar algodón y otros productos en la árida región, desviando agua del mar de Aral.

La contracción del mar de Aral ha tenido consecuencias medioambientales y sociales. Al bajar el nivel del agua, aumentó la salinidad del lago. La población de peces disminuyó drásticamente, lo que provocó el colapso de la industria pesquera de la región. El polvo salino del lecho seco del lago se esparció por el aire, lo que provocó un aumento de los problemas respiratorios y de la incidencia de otras enfermedades.

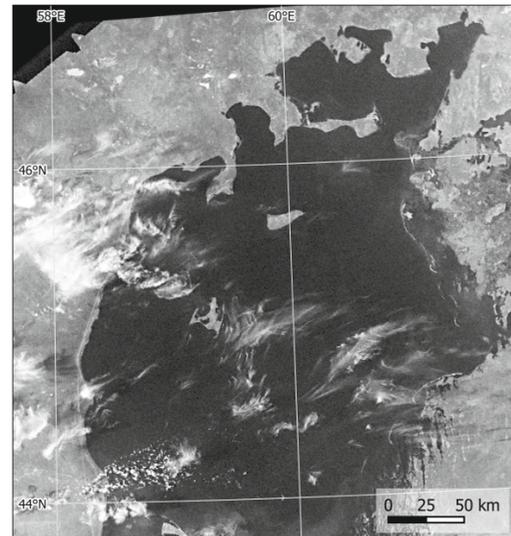
El colapso de la industria pesquera y la degradación de las tierras agrícolas tienen consecuencias económicas para los habitantes de los alrededores del mar de Aral. Pueblos pesqueros antaño prósperos han sido abandonados, lo que ha provocado desempleo y pobreza en la región.



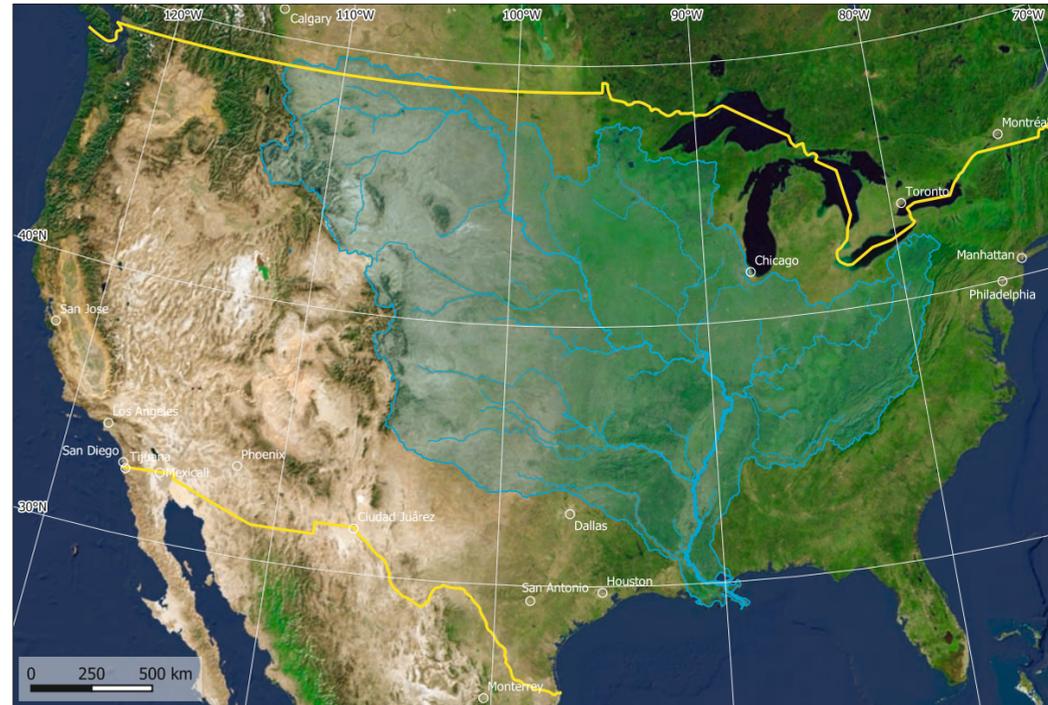
4. Mar de Aral en 2023. Sólo quedan la parte más profunda al oeste y el Mar de Aral del Norte. Datos: Sentinel-3.



5. Mar de Aral en 1987. Data: Landsat 4.

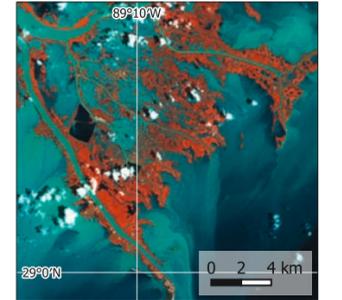


6. Tomada en 1964 por el satélite de reconocimiento Argon, esta imagen es una importante fuente que documenta el cambio del mar de Aral.

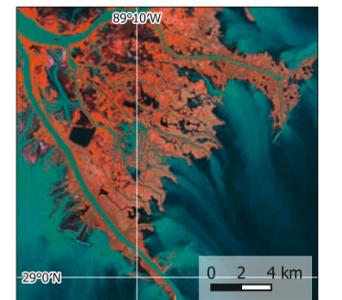


7. La cuenca hidrográfica del río Misisipi abarca una gran parte de la superficie de Estados Unidos.

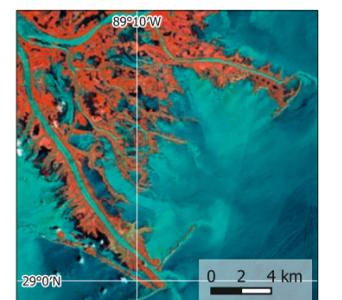
9. Las imágenes de satélite adquiridas desde 1985 ilustran la dinámica del delta del río Misisipi.



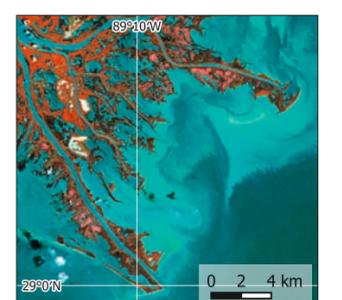
9a. Datos: Landsat 4, 04/05/1985.



9b. Datos: Landsat 5, 19/07/1995.



9c. Datos: Sentinel-2, 08/05/2017.



9d. Datos: Sentinel-2, 12/05/2023.

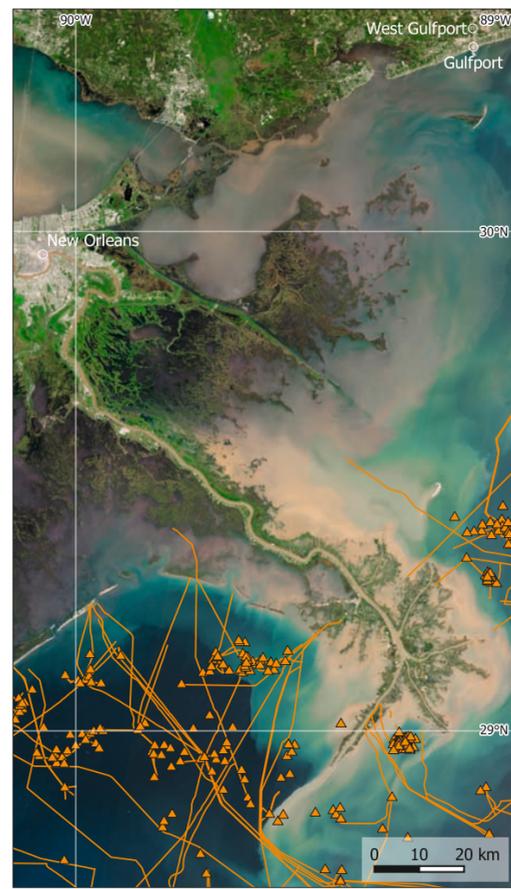
**Delta del Misisipi**

Los cambios de uso del suelo en la cuenca del Misisipi y su delta han alterado tanto el paisaje como la hidrología, con consecuencias para el medio ambiente y la población. Cerca del 80% de los humedales originales del delta del río Misisipi se han perdido debido a la conversión de tierras para la agricultura, la urbanización y el desarrollo de infraestructuras.

60% de la carga de sedimentos que transporta el río Misisipi queda atrapada tras las presas, lo que reduce el aporte de sedimentos al delta y agrava el hundimiento del terreno. La urbanización a lo largo del río ha aumentado las superficies impermeables, lo que ha provocado mayores volúmenes de escorrentía y riesgos de inundación en las zonas situadas aguas abajo. La ciudad de Nueva Orleans, situada en el delta, es vulnerable a las inundaciones, ya que más del 40% de su territorio está por debajo del nivel del mar.

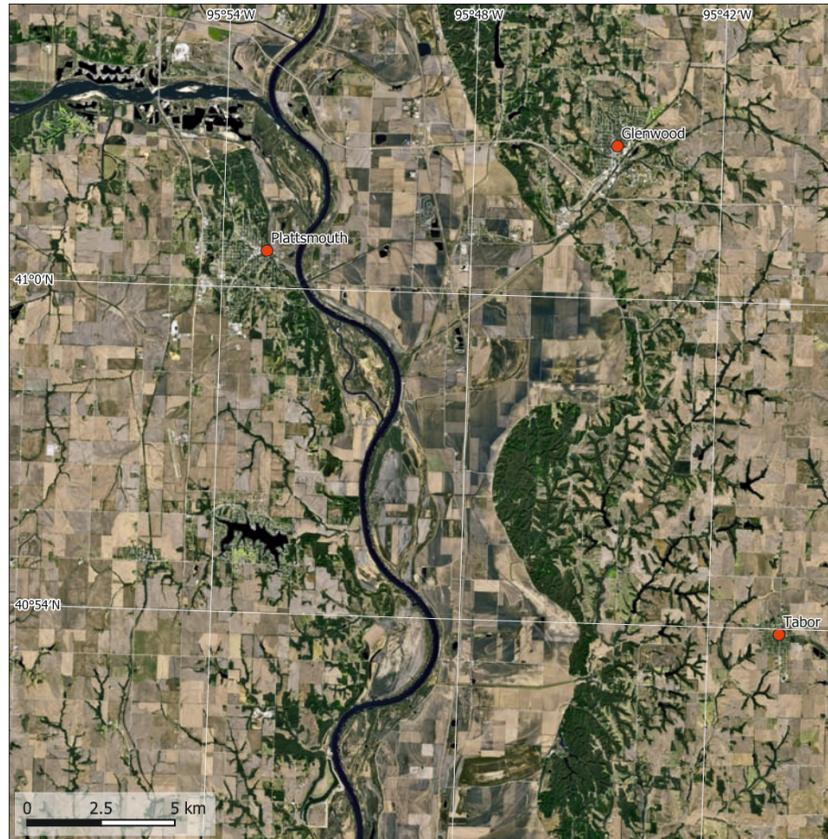
La industria petrolera es un motor económico de la región, con plataformas de perforación en alta mar, refinерías y plantas petroquímicas que salpican el litoral. Esta industria plantea riesgos medioambientales, como la destrucción del hábitat y la contaminación por vertidos de petróleo. El desastre de la plataforma Deepwater Horizon en 2010, por ejemplo, liberó 4,9 millones de barriles de petróleo en el Golfo de México.

Los huracanes son una amenaza para el delta del Misisipi. El huracán Katrina en 2005 y el huracán Harvey en 2017 causaron miles de millones de dólares en daños y se cobraron numerosas vidas humanas. La pérdida de humedales y la erosión costera han reducido la protección de la costa, dejando a las comunidades cada vez más vulnerables a las mareas de tempestad.



Infraestructura de producción de petróleo, Plataforma petrolífera, Tubería

8. Se ha instalado una densa red de plataformas de perforación en alta mar y oleoductos para explotar las ricas reservas de petróleo del Golfo de México. Datos: Sentinel-2, 22/04/2023.



1. Plattsmouth, 21/03/2023. Datos: Sentinel-2.



2. Plattsmouth, 31/03/2019. El valle alrededor de los ríos Platte y Missouri está inundado, solo algunos elementos de infraestructura como carreteras y presas permanecen secos. Data: Sentinel-2.

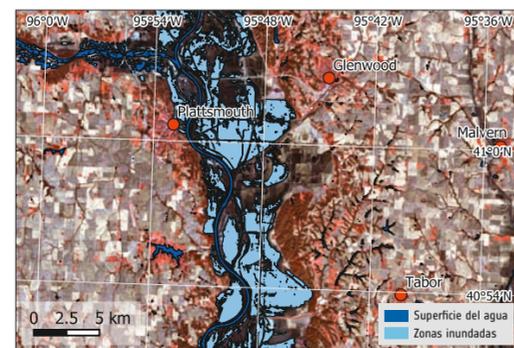
### Plattsmouth, EE.UU.

Las inundaciones de 2019 en los alrededores de Plattsmouth, Nebraska, fueron un suceso catastrófico que provocó una inmensa devastación en la región. Desencadenadas por una combinación de factores, como las fuertes lluvias y el deshielo, las inundaciones anegaron hogares, granjas e infraestructuras a lo largo del río Misuri.

El cambio climático desempeñó un papel en este suceso, ya que el aumento de las temperaturas globales está provocando patrones meteorológicos más extremos, con precipitaciones más intensas y un mayor riesgo de inundaciones. En el caso de Plattsmouth, la zona experimentó precipitaciones récord, con algunas zonas recibiendo más de 50 cm de lluvia en un solo mes. Este exceso de precipitaciones, combinado con la saturación del suelo por las precipitaciones anteriores, desbordó la capacidad del río para contener el agua.

Las inundaciones afectaron a más de 2.000 viviendas y obligaron a evacuar a casi 1.000 personas en la zona de Plattsmouth. Causó millones de dólares en daños a viviendas, infraestructuras y agricultura, trastornando la vida de innumerables residentes.

Las imágenes por satélite captaron la espectacular expansión de las aguas, que se tragaron comunidades enteras y vastas franjas de tierras de cultivo. Además, los datos permiten estimar con precisión las zonas afectadas y los daños causados por la inundación.



3. Plattsmouth, 31/03/2019. Imagen infrarroja en falso color. Superposición: superficies de agua derivadas de datos de satélite. Datos: Sentinel-2.



4. Vista de Plattsmouth durante la inundación.



### Venecia, Italia

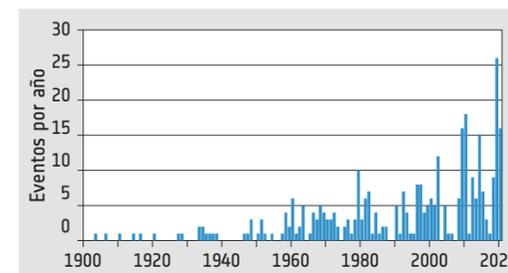
Venecia, la famosa "Ciudad Flotante" de Italia, está construida sobre cientos de islas en una laguna cercana al mar Adriático. Debido a esta situación tan expuesta, la ciudad lleva mucho tiempo luchando contra las inundaciones, tanto del mar como de tierra firme.

Para reducir el creciente riesgo de inundaciones por mar, el Gobierno italiano decidió instalar el MOSE (*Modulo Sperimentale Elettromeccanico*, Módulo Electromecánico Experimental), un innovador sistema de protección contra inundaciones.

MOSE consta de tres barreras accionadas hidráulicamente instaladas en las entradas de la laguna veneciana. Dos de estas entradas son visibles en la imagen de satélite general. Cuando sube el nivel del agua, unos sensores activan el sistema, que llena las barreras de aire comprimido y forma una barrera sólida contra las mareas altas y las mareas de tempestad.

MOSE integra tecnología avanzada de vigilancia y control, al tiempo que tiene en cuenta el equilibrio ecológico de la laguna. Como ejemplo pionero de adaptación al cambio climático, MOSE demuestra cómo las ciudades costeras pueden adaptarse a los riesgos de la subida del nivel del mar y, también, lo grande que es el esfuerzo de adaptación.

Hasta ahora, MOSE se ha activado con éxito varias veces. Un ejemplo del sistema en su estado activado se muestra en el mapa por satélite de 2022.



5. Durante las últimas décadas, se ha observado en Venecia un aumento significativo del número de episodios de acqua alta (niveles altos de agua) al año.



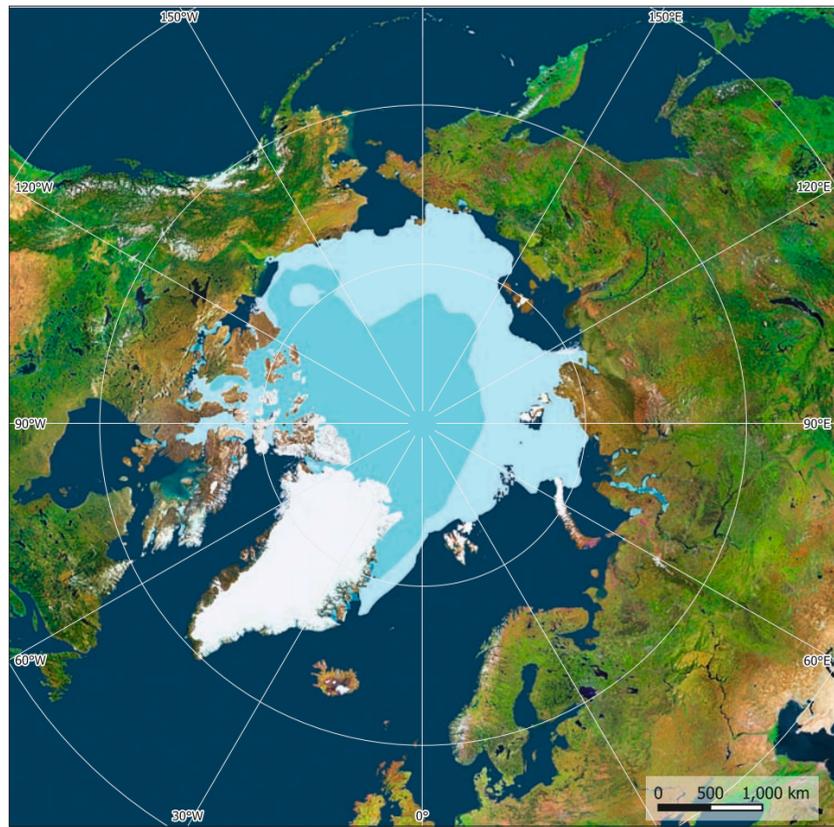
6. Vista de la barrera MOSE cerrada cerca de Malamocco, en el sur de Lido de Venecia.



7. Imagen adquirida mientras las barreras contra inundaciones MOSE estaban cerradas. Sentinel-2, 24/11/2022.



8. Venecia. Imagen en color verdadera de la parte central de la laguna con las barreras de inundación MOSE abiertas. Las diferencias de color de los sedimentos muestran las corrientes marinas. Datos: Sentinel-2, 04/11/2021.



**Hielo marino ártico**

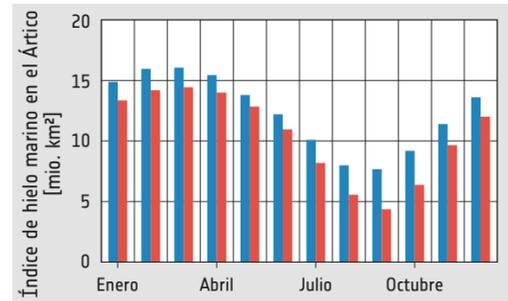
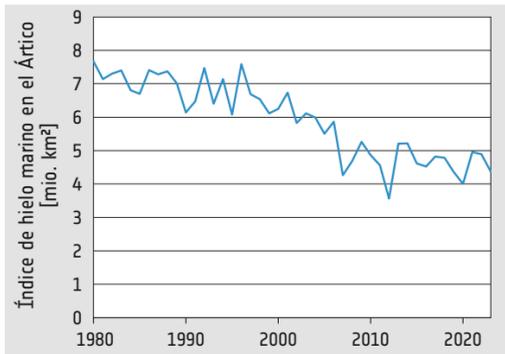
El hielo marino del Ártico es un componente vital del sistema climático y contribuye a regular las temperaturas globales. Cubre 14 millones de kilómetros cuadrados en su máxima extensión en invierno y forma un escudo reflectante que rebota la radiación solar, enfriando así el planeta. Durante los meses de verano, el hielo marino del Ártico se reduce a su mínima extensión, alcanzando un mínimo hacia septiembre.

El hielo marino del Ártico ha disminuido en los últimos años debido al cambio climático. Su extensión mínima durante los meses de verano ha retrocedido a unos 3-4 millones de kilómetros cuadrados. Además, el espesor del hielo marino ártico ha disminuido más de un 40% desde la década de 1980, debido principalmente a los efectos de calentamiento del cambio climático. La disminución del hielo marino del Ártico contribuye a alterar los patrones meteorológicos, influye en la circulación oceánica y amenaza los hábitats de diversas especies árticas, como los osos polares y las morsas. Por otro lado, la pérdida de hielo marino abre oportunidades para las rutas marítimas y la extracción de recursos. Los datos de satélite desempeñan un papel importante en la vigilancia del hielo marino del Ártico, ya que proporcionan mediciones precisas de la extensión, el grosor y el movimiento del hielo.

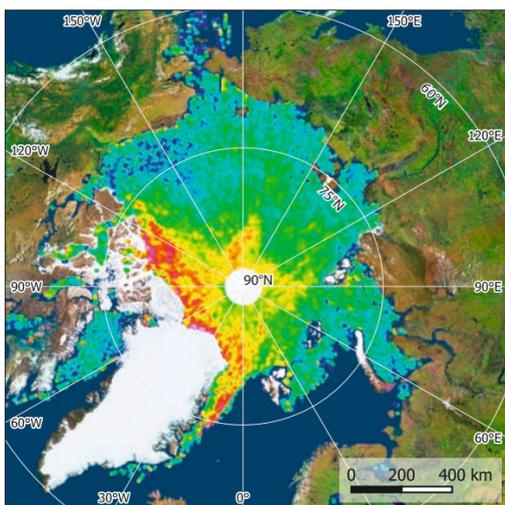
Extensión mínima del hielo marino  
 1980 (Septiembre)  
 2020 (Septiembre)

1. La dinámica del hielo marino en la región ártica.

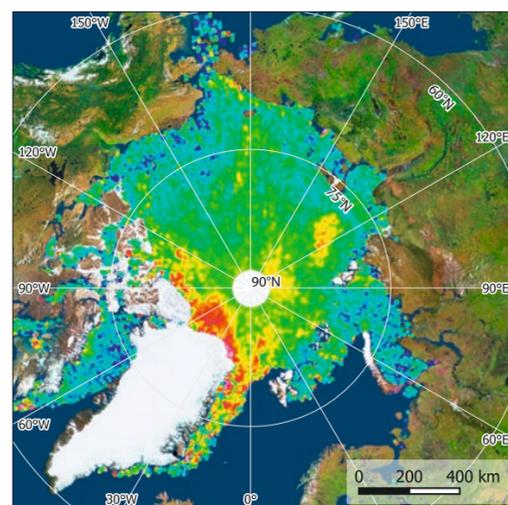
2. Evolución de la superficie del Ártico cubierta por hielo marino durante el mes de septiembre (es decir, durante el mes de mínima cobertura de hielo marino).



3. Variación estacional de la extensión del hielo marino del Ártico (azul: 1980, rojo: 2023).



4. Espesor del hielo marino ártico en enero de 2011. Media mensual derivada de los datos adquiridos por CryoSat.



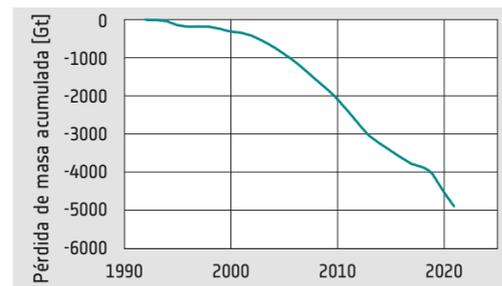
5. Espesor del hielo marino ártico en enero de 2024. Media mensual derivada de los datos adquiridos por CryoSat.

**Escudo de hielo de Groenlandia**

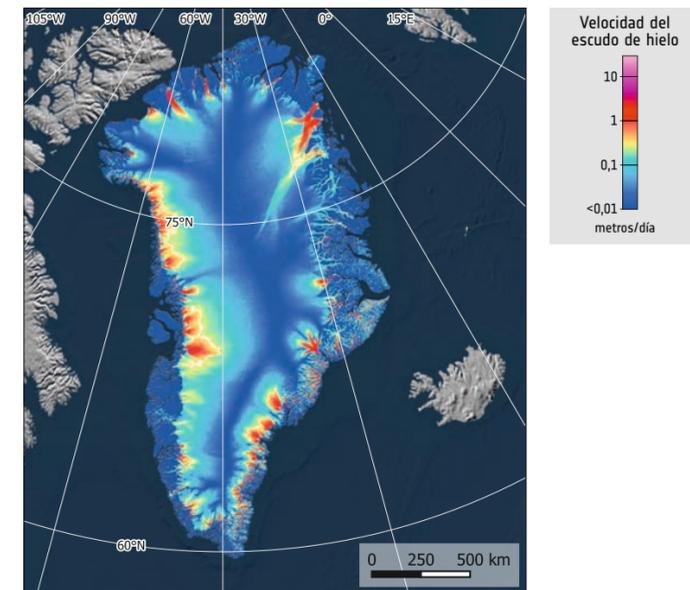
El Escudo de Hielo de Groenlandia es el segundo más grande del mundo. Con una superficie de 1,7 millones de kilómetros cuadrados, lo que equivale al 80% de la superficie de la isla, es uno de los mayores depósitos de hielo y desempeña un importante papel en relación con el clima mundial y el nivel del mar. El escudo de hielo de Groenlandia alcanza un grosor superior a los 3 kilómetros, albergando un volumen de hielo estimado equivalente a unos 7,2 metros de elevación del nivel global del mar. Su mera masa ejerce una influencia significativa sobre los patrones meteorológicos regionales y las corrientes oceánicas.

Las investigaciones científicas realizadas a partir de observaciones por satélite, muestras de núcleos de hielo y modelos climáticos han revelado tendencias en la dinámica del escudo de hielo de Groenlandia. El deshielo acelerado provocado por el aumento de las temperaturas ha incrementado la escorrentía y el desprendimiento de icebergs. La pérdida de masa de hielo de Groenlandia se ha identificado como uno de los principales motores del aumento del nivel del mar en todo el mundo. Los mecanismos de retroalimentación agravan la vulnerabilidad del escudo de hielo al cambio climático. A medida que el hielo se derrite y deja al descubierto superficies más oscuras, como roca o agua, el efecto albedo se intensifica, provocando una mayor absorción de la radiación solar y acelerando aún más el deshielo en lo que se denomina un bucle de retroalimentación positiva.

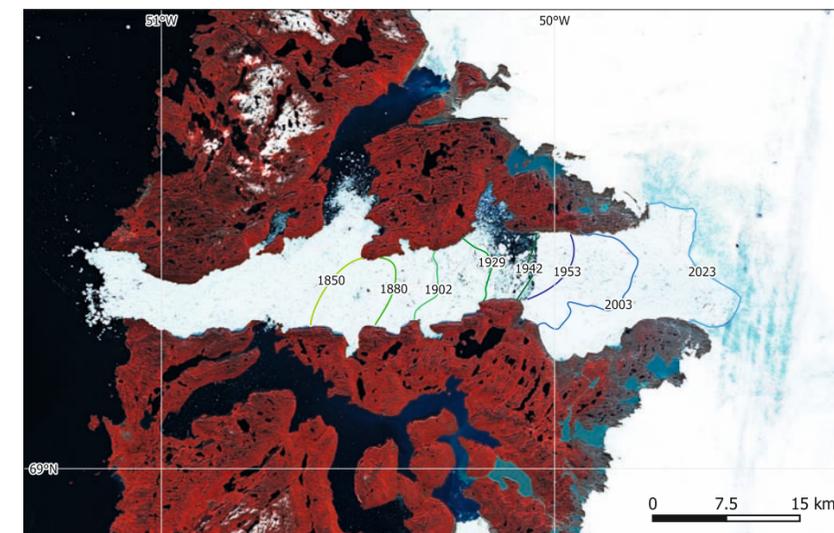
Las mediciones de altimetría por satélite proporcionan información sobre los cambios en la elevación del escudo de hielo, lo que permite controlar las variaciones en su espesor. Estos datos revelan la pérdida de masa sobre todo en la periferia de Groenlandia, donde las aguas oceánicas más cálidas aceleran el deshielo. Las imágenes ofrecen información sobre las características de la superficie y los patrones de fusión. Las imágenes ópticas y de radar de alta resolución captan detalles como grietas, estanques de fusión y lagos supraglaciales, que influyen en el desarrollo del escudo de hielo. La teledetección por satélite radar permite controlar el movimiento del escudo de hielo mediante técnicas como el radar interferométrico de apertura sintética (InSAR). Al medir con precisión los cambios en la elevación de la superficie, el InSAR proporciona información sobre la velocidad del flujo de hielo.



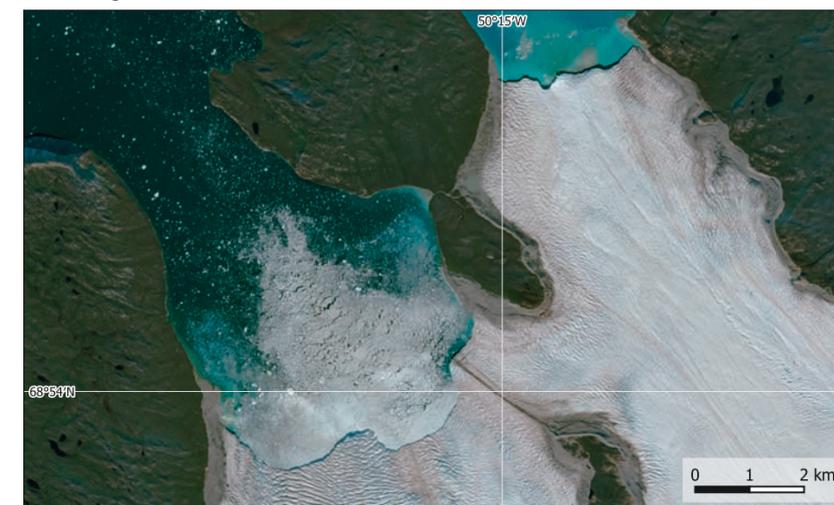
6. Groenlandia, Pérdida acumulada de hielo y su contribución al aumento global del nivel del mar (Fuente de los datos: IMBIE).



7. Groenlandia, velocidad del escudo de hielo en 2020 derivada de datos de satélite radar. Datos: Sentinel-1.



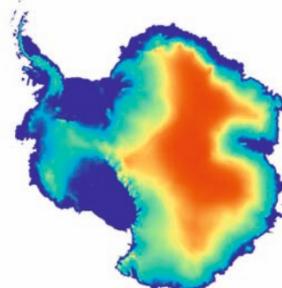
8. Imagen infrarroja en falso color de Jakobshavn Isbrae, Groenlandia. La superposición muestra el retroceso del borde del glaciar desde 1850. Datos: Sentinel-2, 01/09/2023.



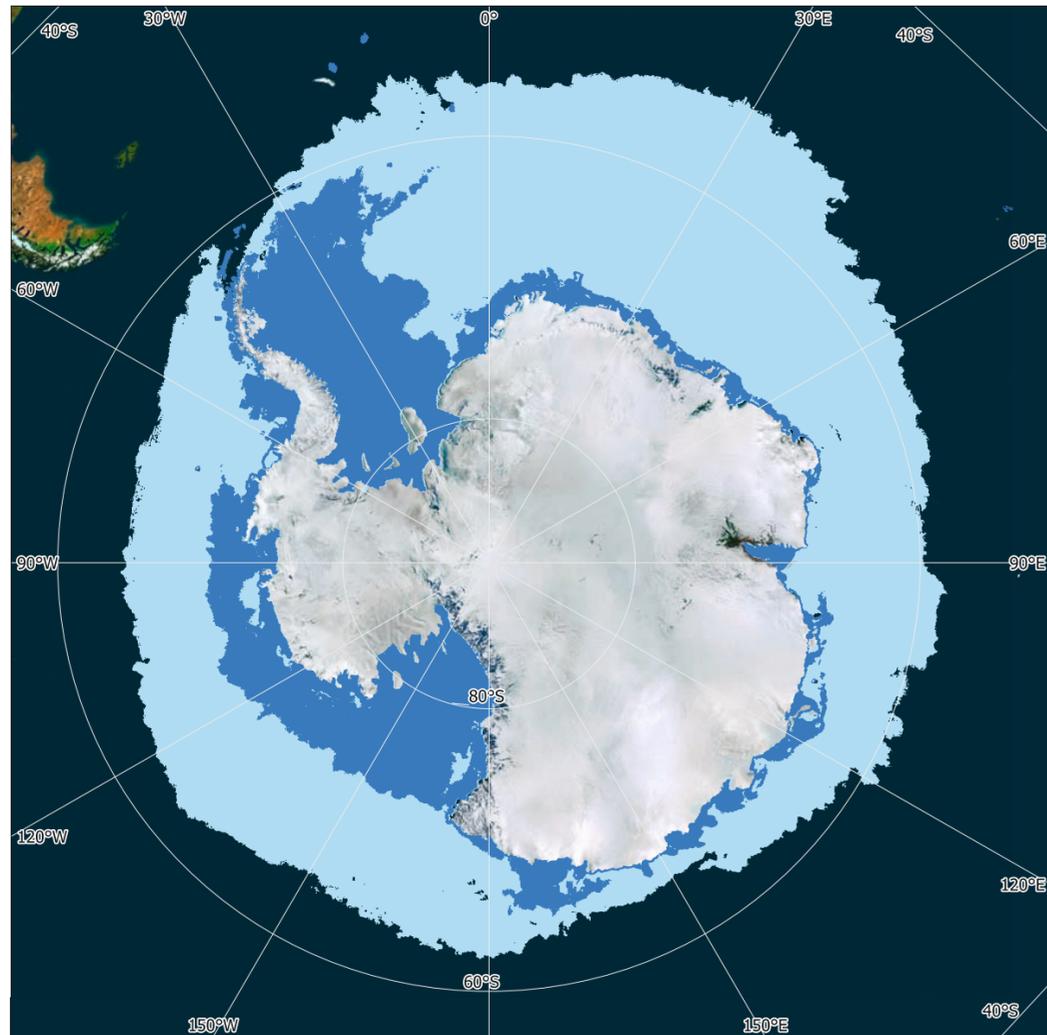
9. Imagen en color verdadero del borde de un glaciar al sur de Jakobshavn Isbrae, Groenlandia, con icebergs pariendo. Datos: Sentinel-2, 01/09/2023.



1. Extensión del hielo marino alrededor de la Antártida en enero y en julio.



2. Elevación del escudo de hielo antártico medida por CryoSat.



**Antártida**

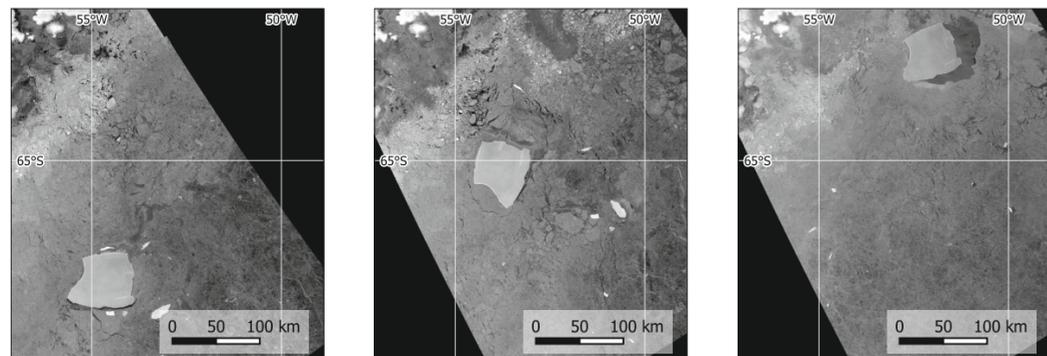
Durante las últimas décadas, la Antártida, el mayor desierto de la Tierra, ha cobrado cada vez más importancia en las comunidades científica y política. Esto se debe a su enorme importancia para el clima y para las consecuencias del cambio climático para la humanidad. El escudo de hielo de la Antártida es la mayor reserva de agua dulce de la Tierra, ya que contiene más de 26 millones de kilómetros cúbicos o el 70% de toda el agua dulce. El calentamiento global provoca el deshielo del escudo de hielo, que hasta ahora ha afectado

principalmente al escudo más pequeño de la Antártida Occidental. Entre 2012 y 2017 se derritieron cada año 220.000 millones de toneladas de hielo, lo que contribuyó al aumento del nivel del mar. Las plataformas de hielo se sitúan en el lugar donde los glaciares de la Antártida se encuentran con el océano. Son grandes cuerpos de hielo estables que flotan sobre el agua y suelen tener entre 100 y varios cientos de metros de grosor. El calentamiento de los océanos reduce la estabilidad de las plataformas de hielo y provoca el desprendimiento de grandes icebergs.

3. Movimiento del iceberg A23a entre agosto y octubre de 2023.

Datos: Sentinel-1.

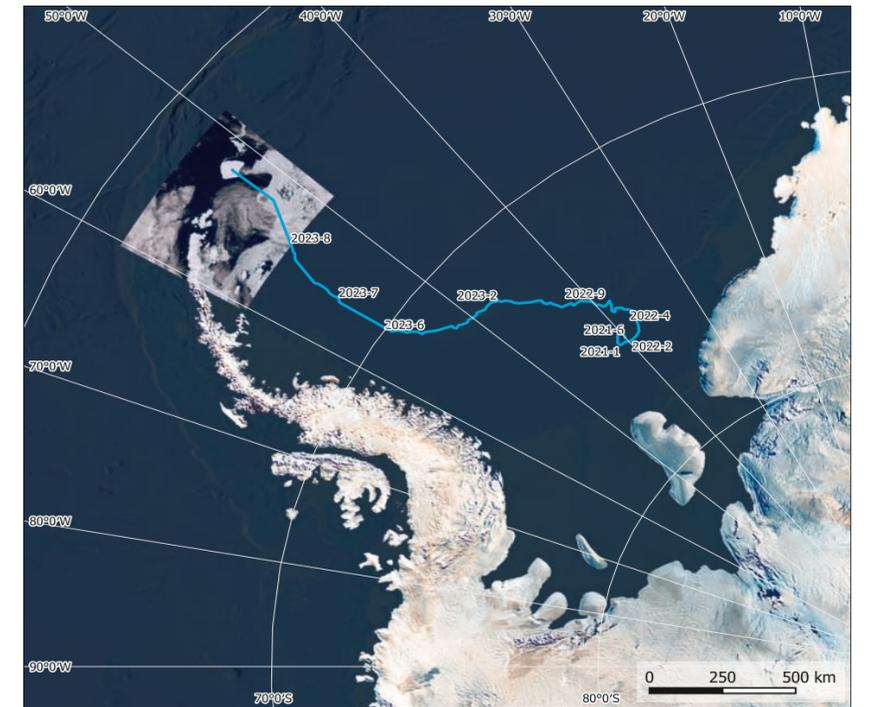
Izquierda: 06/08/2023  
 Centro: 13/09/2023  
 Derecha: 19/10/2023



**Iceberg en movimiento**

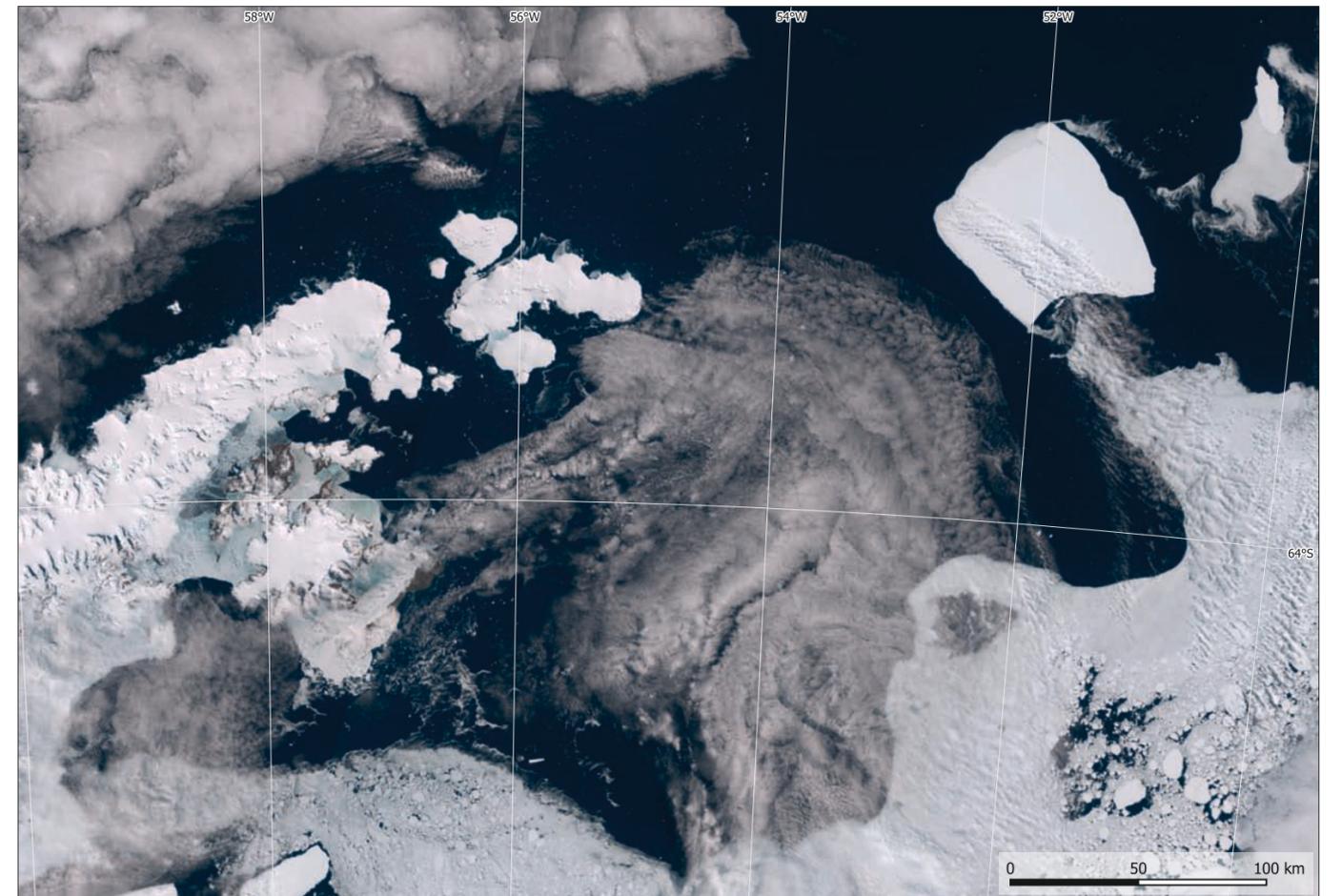
El gran iceberg tabular A23a se desprendió de la plataforma de hielo Filchner-Ronne en 1986. Tras su desprendimiento, la base de investigación Druzhnaya I, situada sobre este iceberg, tuvo que ser retirada y pasó a llamarse Druzhnaya III. Durante muchos años, el iceberg permaneció atascado en el lecho marino antes de empezar a moverse en 2020. Con una superficie de casi 4.000 kilómetros cuadrados, en 2024 era uno de los icebergs más grandes jamás observados.

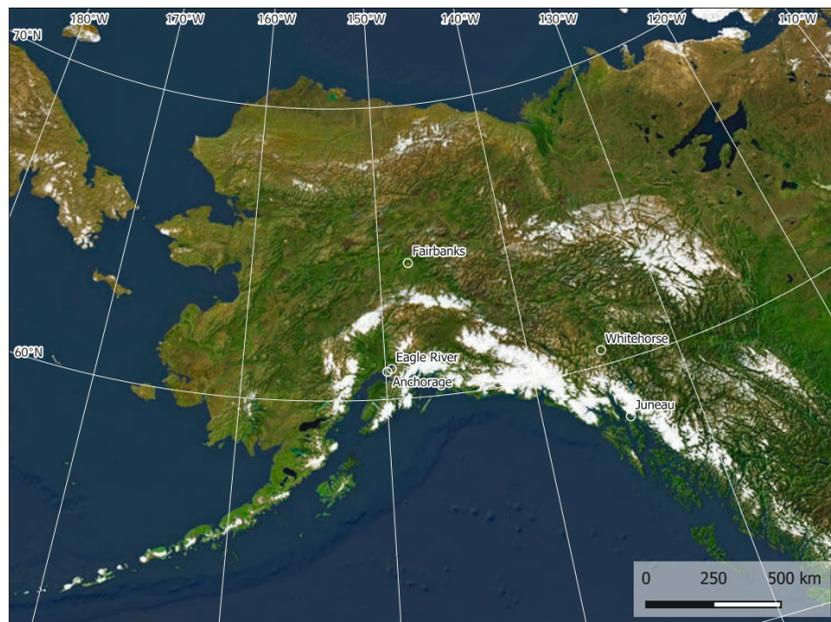
A finales de 2020, el A23a inició su viaje hacia el norte, siguiendo aproximadamente la línea costera de la Península Antártica. En noviembre de 2023, el iceberg rebasó el extremo septentrional de la Península Antártica, en dirección norte. Durante su recorrido alejándose de la Antártida, el A23a alcanzará aguas más cálidas y posteriormente se derretirá. Aunque la disolución de las plataformas de hielo no contribuye directamente al nivel del agua del mar (el agua derretida solo sustituye el volumen de la parte sumergida del hielo), desempeña un importante papel indirecto, ya que las plataformas funcionan como barrera estabilizadora de los glaciares que fluyen hacia el mar. La pérdida de esta barrera puede provocar un aumento del flujo de hielo.



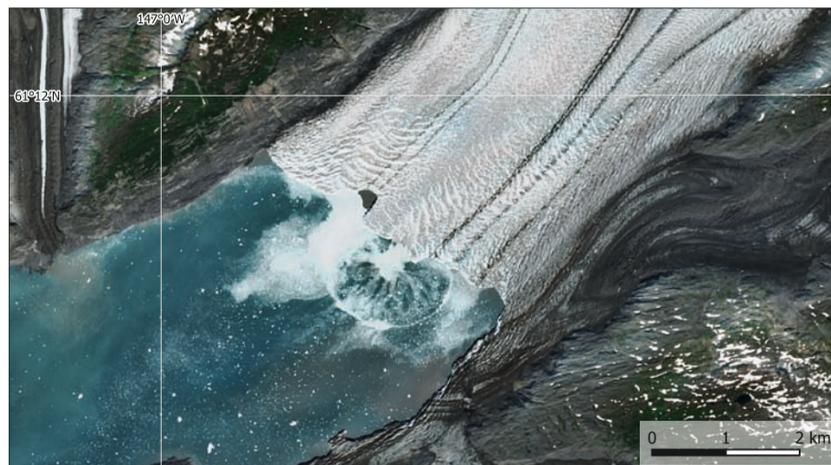
4. Trayectoria del iceberg A23a durante 2022 y 2023. Imagen de fondo: Sentinel-3, 15/11/2023.

5. Iceberg A23a pasando la Península Antártica en su camino hacia el océano Atlántico Sur. Datos: Sentinel-3, 15/11/2023.

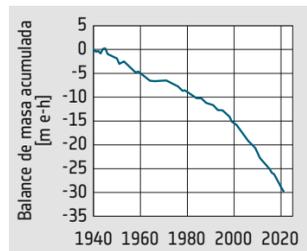




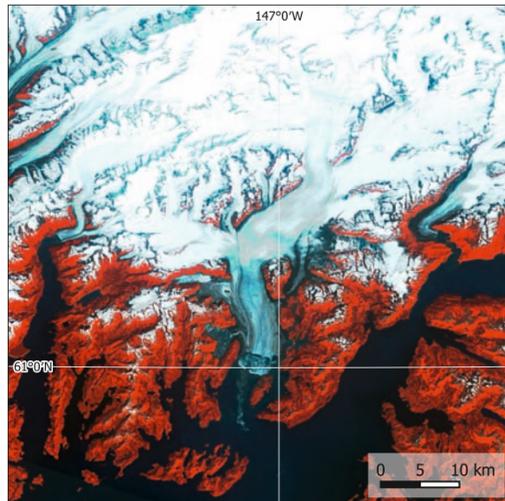
1. Mapa de imagen por satélite de Alaska. Los glaciares se concentran en las cadenas montañosas de la costa sur de Alaska. Datos: SPOT Vegetation



2. Detalle de la imagen de satélite de la terminación del glaciar Columbia. Obsérvese la onda circular que se extiende desde el centro de la terminación, donde se ha desprendido un iceberg. Data: Sentinel-2, 30/07/2023.



3. Media mundial de la pérdida de masa acumulada de los glaciares desde 1940. La unidad "metro de agua equivalente" corresponde aproximadamente a la pérdida de espesor de los glaciares.



4. Imagen infrarroja en falso color del glaciar Columbia, Alaska. Datos: Landsat 5, 28/07/1986.

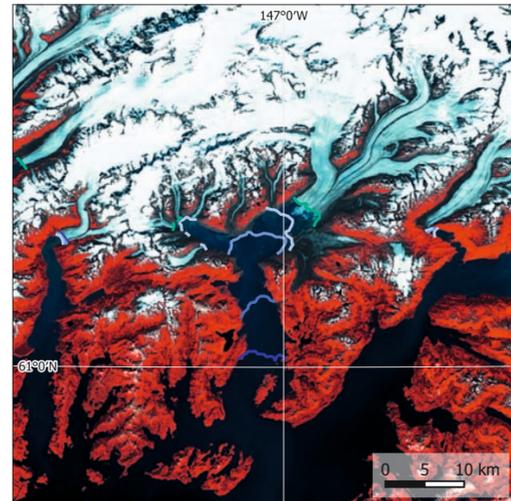
**Glaciar Columbia, Alaska**

Desde hace décadas, los glaciares de todo el mundo retroceden, un fenómeno directamente relacionado con el cambio climático. Por término medio, los glaciares de todo el mundo han perdido unos 30 metros de espesor desde 1940. Actualmente, pierden una media de un metro al año.

El retroceso de varios glaciares de marea, que son glaciares que terminan en el mar, es especialmente espectacular. Los glaciares de marea existen en Alaska, en la Patagonia y a lo largo de las costas de Groenlandia. Estos glaciares terminan directamente a nivel del mar, por lo que su entorno es relativamente cálido durante el verano. En consecuencia, las zonas finales de estos glaciares se encuentran entre las corrientes de hielo más rápidas de la Tierra. Su extremo inferior flota sobre el agua del mar y sigue el movimiento de las mareas. Este movimiento favorece la formación de grietas y el desprendimiento de icebergs que flotan hacia el mar.

El glaciar Columbia está situado en Alaska. Desciende desde más de 3.000 metros sobre el nivel del mar y desemboca en el estrecho de Prince William, en la costa del océano Pacífico. Durante mucho tiempo, el morro (o terminación) del glaciar permaneció estable cerca de la boca de la bahía Columbia. Sin embargo, desde la década de 1980 ha retrocedido más de 20 kilómetros.

El glaciar Columbia demuestra que la combinación de distintos efectos puede dar lugar a una evolución muy dinámica. Al principio, el morro del glaciar se apoyaba en la grava de la morrena final. Tras la fase inicial del retroceso, flotó sobre el agua, haciendo más eficaces las fuerzas de las mareas y aumentando así la velocidad del retroceso, tanto más cuanto que esto permitió que el agua más caliente del océano fluyera bajo el hielo.



5. Imagen infrarroja en falso color del glaciar Columbia, Alaska. La superposición muestra los bordes de los glaciares en diferentes años. Datos: Sentinel-2, 30/07/2023.



**Glaciar Aletsch, Suiza**

Con una longitud total de casi 23 kilómetros y una superficie aproximada de 80 kilómetros cuadrados, el glaciar Aletsch es el mayor de los Alpes. Su hielo alcanza un grosor de hasta 900 metros, formando un río helado que serpentea por el escarpado paisaje montañoso.

Los efectos del cambio climático están pasando factura al glaciar Aletsch, como a la mayoría de los glaciares alpinos. En el último siglo, ha ido retrocediendo a un ritmo creciente de unos 100 metros al año.

Los datos obtenidos por satélite han demostrado que el glaciar Aletsch ha perdido casi dos kilómetros de longitud desde la década de 1980. El aumento de la temperatura global está provocando que el glaciar pierda más hielo por derretimiento del que gana por nevadas. Este desequilibrio amenaza no solo el tamaño del glaciar, sino también los ecosistemas que dependen de él.

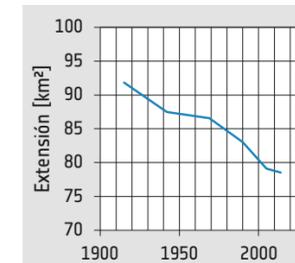


7. Imagen en color verdadero de la extensión del glaciar Aletsch en 1985. Datos: Landsat 5, 26/07/1985.

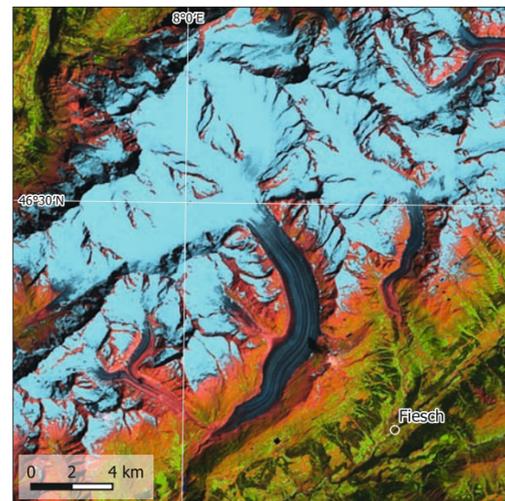


8. Imagen en color verdadero de la extensión del glaciar Aletsch en 2022. Datos: Sentinel-2, 13/07/2022.

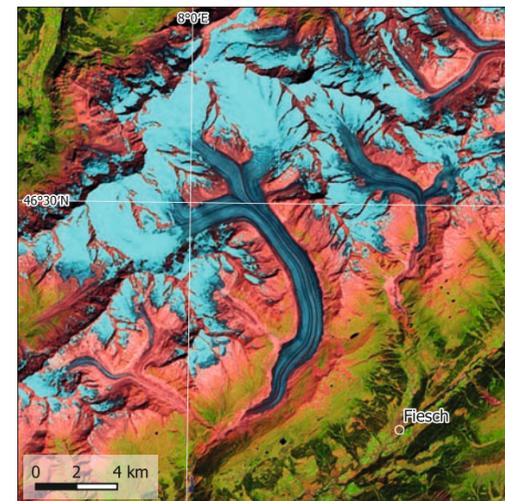
6. Vista del glaciar Aletsch, mostrando las grietas y los escombros de las morrenas.



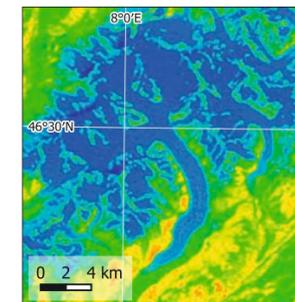
11. Glaciar Aletsch, cambio de superficie desde 1915.



9. Imagen infrarroja en falso color (bandas 5-4-3) del glaciar Aletsch en 1985, destacando el hielo en azul oscuro y la nieve en azul claro. Datos: Landsat 5, 26/07/1985.

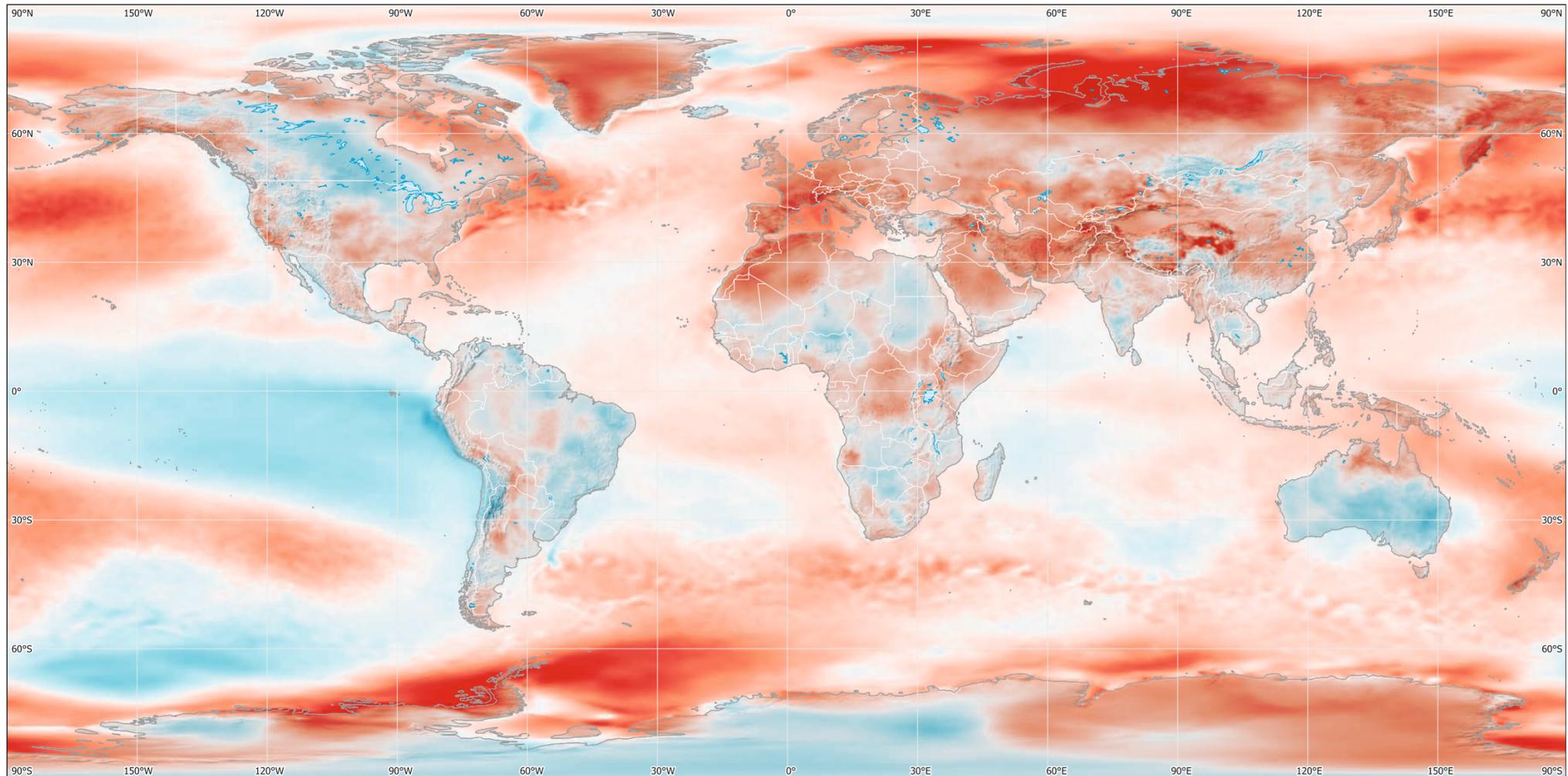


10. Imagen infrarroja en falso color (bandas 11-7-4) del glaciar Aletsch en 2022, destacando el hielo en azul oscuro y la nieve en azul claro. Datos: Sentinel-2, 13/07/2022.

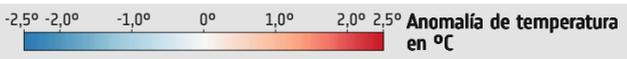


Temperatura superficial [°C]

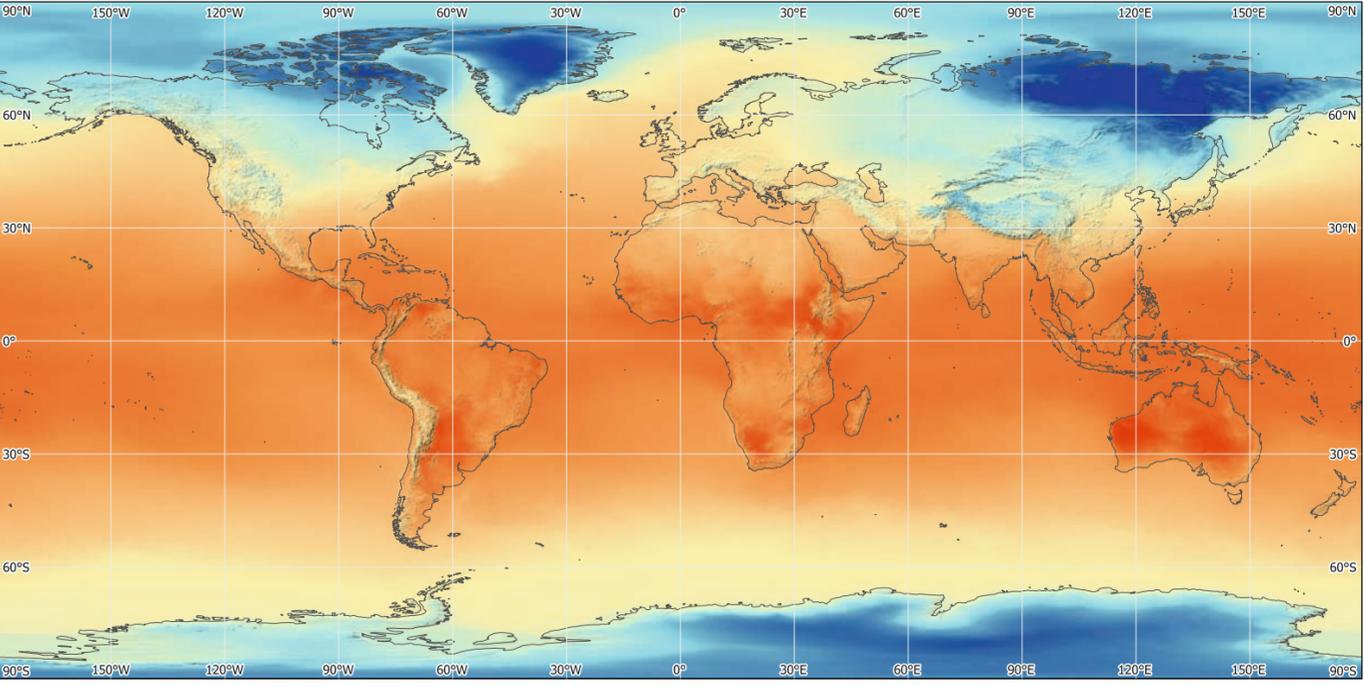
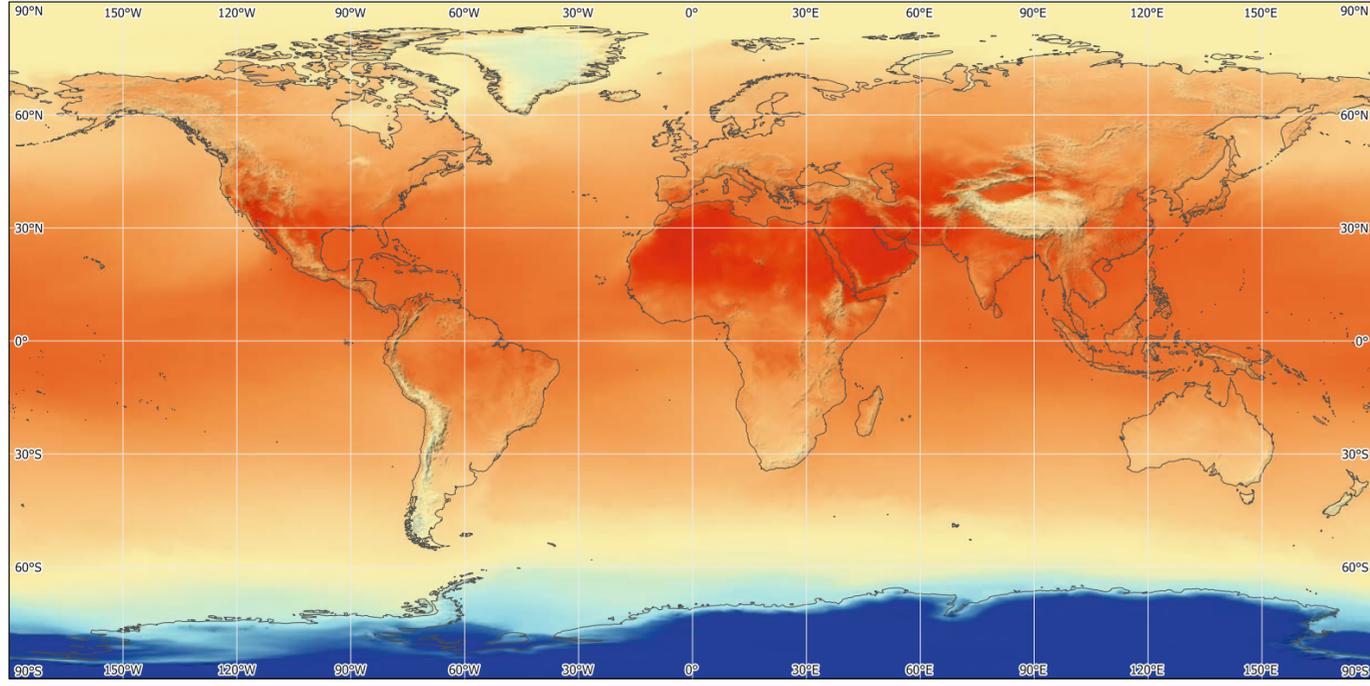
12. Imagen infrarroja térmica del glaciar Aletsch en julio de 1985 (azul oscuro: temperatura -0 °C). Datos: Landsat 5, 26/07/1985.



1. Mapa mundial de las anomalías de temperatura medidas en 2022 con respecto al periodo comprendido entre 1960 y 1990.



2. Temperaturas globales durante el verano boreal (julio de 2023).



3. Temperaturas globales durante el invierno boreal (enero de 2023).

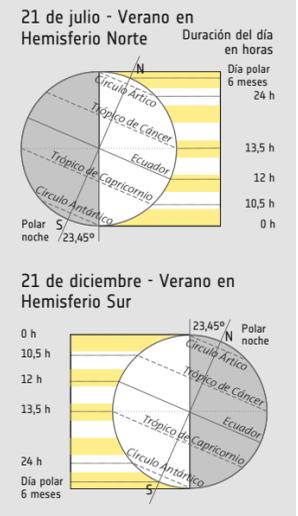
Temperaturas y anomalías térmicas

La temperatura global es uno de los parámetros más importantes del sistema climático de la Tierra, que determina los patrones meteorológicos y los ecosistemas. La irradiación solar, la energía emitida por el Sol, influye en las temperaturas globales al proporcionar la energía necesaria para mantener la vida e impulsar los procesos atmosféricos.

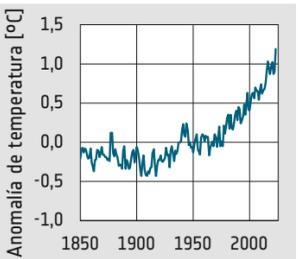
Las variaciones de la producción solar, impulsadas por fenómenos cíclicos como las manchas y las erupciones solares, modulan la cantidad de energía que llega a la atmósfera. Estas fluctuaciones influyen en los patrones de circulación atmosférica, en las corrientes oceánicas y en la distribución del calor en la superficie del planeta.

El factor dominante de los cambios recientes en las temperaturas globales es el aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero derivado de las actividades humanas. La combustión de combustibles fósiles, la deforestación y los procesos industriales han provocado un rápido aumento de las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>) y otros gases de efecto invernadero.

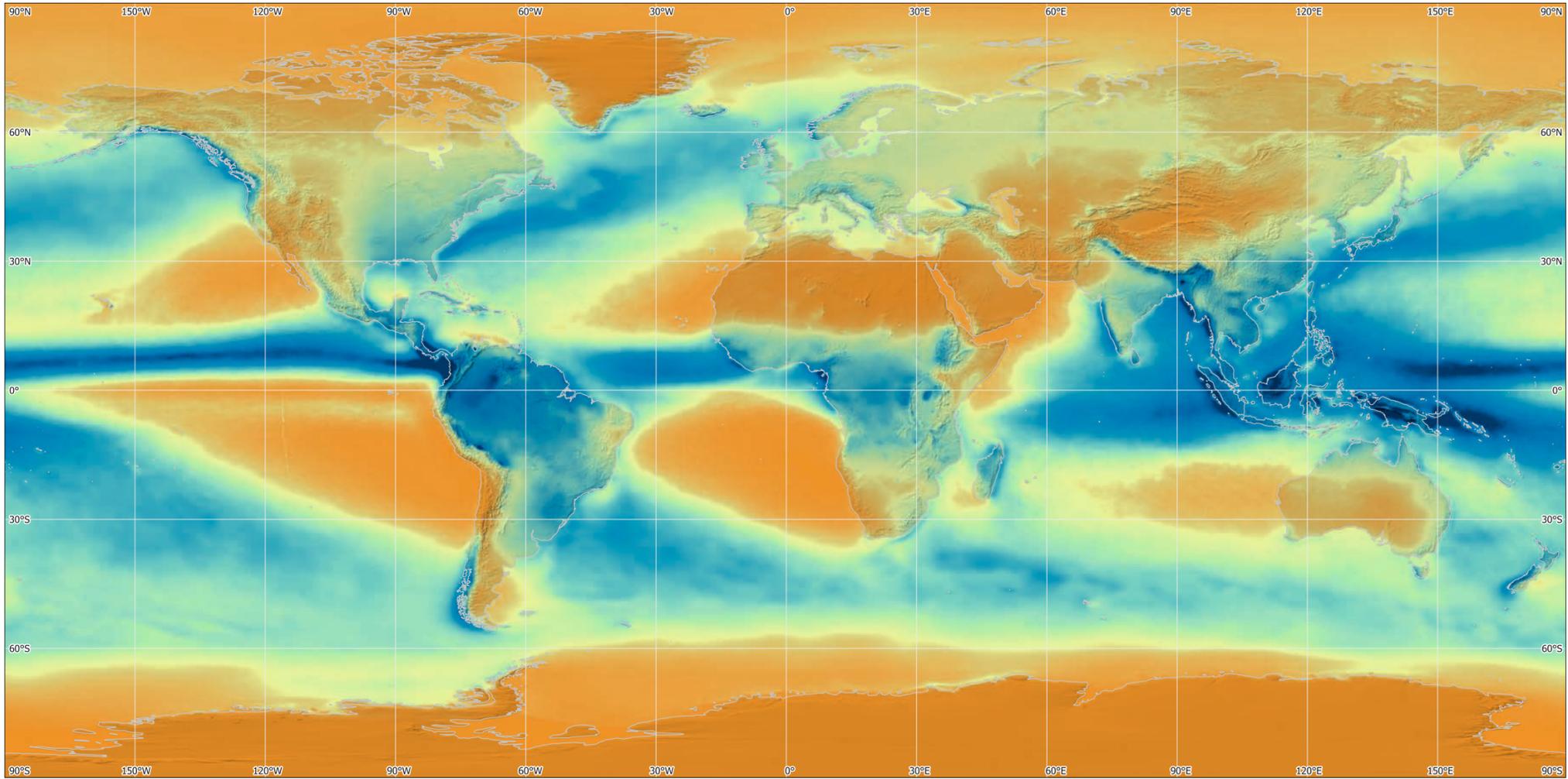
Este aumento de los gases de efecto invernadero amplifica el efecto invernadero natural, atrapando el calor en la atmósfera terrestre y provocando una escalada de las temperaturas globales. Desde la década de 1950, la temperatura media de la superficie de la Tierra ha aumentado aproximadamente 1,1 grados centígrados, con variaciones significativas entre regiones y estaciones. La pasada década (2010-2019) fue la más cálida registrada.



4. El ángulo del eje de la Tierra con respecto a la dirección del sol varía con las estaciones, y con él el ángulo de irradiación solar y la duración de los días. Esto influye en la energía solar recibida en un punto y, en consecuencia, en la temperatura.



5. Anomalía anual de la temperatura media con respecto al periodo 1950-1980.



1. Precipitación media anual para los años 2000 a 2023 medida por satélite.

Distribución de las precipitaciones

La distribución de las precipitaciones en la Tierra depende de varios factores, como la latitud, la proximidad a grandes masas de agua, la altitud y los vientos dominantes. Las regiones ecuatoriales suelen registrar altos niveles de precipitaciones debido a la convergencia de masas de aire cálido y húmedo, lo que se traduce en

abundantes lluvias durante todo el año. Por el contrario, las regiones cercanas a los polos tienden a tener menores índices de precipitaciones debido a las temperaturas más frías y a la limitada disponibilidad de humedad. Las zonas costeras suelen recibir precipitaciones importantes, ya que el aire húmedo de los océanos se ve obligado a ascender por encima de las masas continentales,

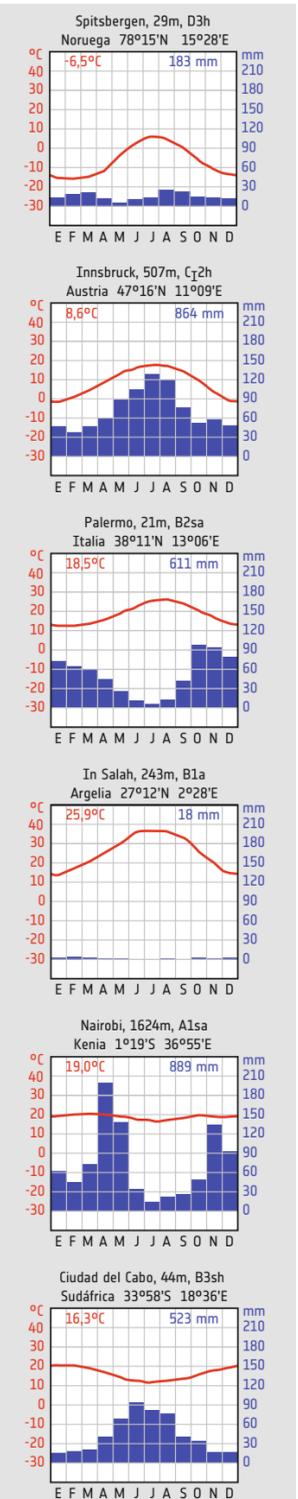
lo que favorece la formación de nubes y las precipitaciones. Por el contrario, las regiones continentales interiores pueden experimentar patrones de precipitación más variables, con algunas zonas que reciben abundantes lluvias, mientras que otras son relativamente secas debido a las sombras de lluvia causadas por las cadenas montañosas o los patrones de viento predominantes.

Formación de nubes y precipitaciones

La relación entre clima, nubosidad y precipitaciones es una interacción compleja que influye en los ecosistemas de la Tierra y en los patrones meteorológicos. El clima está ligado a fenómenos atmosféricos como la formación de nubes y las precipitaciones. La nubosidad, es decir, el grado en que las nubes cubren la superficie de la Tierra, desempeña un papel importante en el equilibrio energético del planeta al reflejar la luz solar hacia el espacio y atrapar el calor saliente. Las precipitaciones, incluidas las lluvias, las nevadas y otras formas de humedad, son un componente fundamental del ciclo del agua en la Tierra, así como de los climas y ecosistemas regionales.

Estos procesos interconectados son esenciales para el cambio climático, los patrones meteorológicos y sus repercusiones en las sociedades humanas y los entornos naturales. Los satélites de observación de la Tierra vigilan estos fenómenos a escala mundial. Equipados con sensores avanzados, estos satélites proporcionan datos sobre la nubosidad, los índices de precipitaciones y las condiciones atmosféricas a diferentes escalas espaciales y temporales.

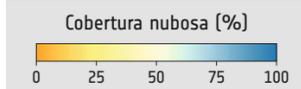
Las observaciones por satélite ofrecen información sobre la distribución espacial y la variabilidad temporal de la nubosidad, lo que permite estudiar los procesos de formación de nubes, sus interacciones con los patrones de circulación atmosférica y su papel en el clima de la Tierra. Las mediciones por satélite de las precipitaciones proporcionan información crucial para la gestión de los recursos hídricos, la previsión de inundaciones y la planificación agrícola. Combinando las observaciones por satélite con modelos climáticos avanzados, los científicos pueden comprender mejor los complejos mecanismos de retroalimentación entre el clima, la nubosidad y las precipitaciones. En este contexto, los satélites de observación de la Tierra son herramientas importantes para vigilar y estudiar el sistema climático.



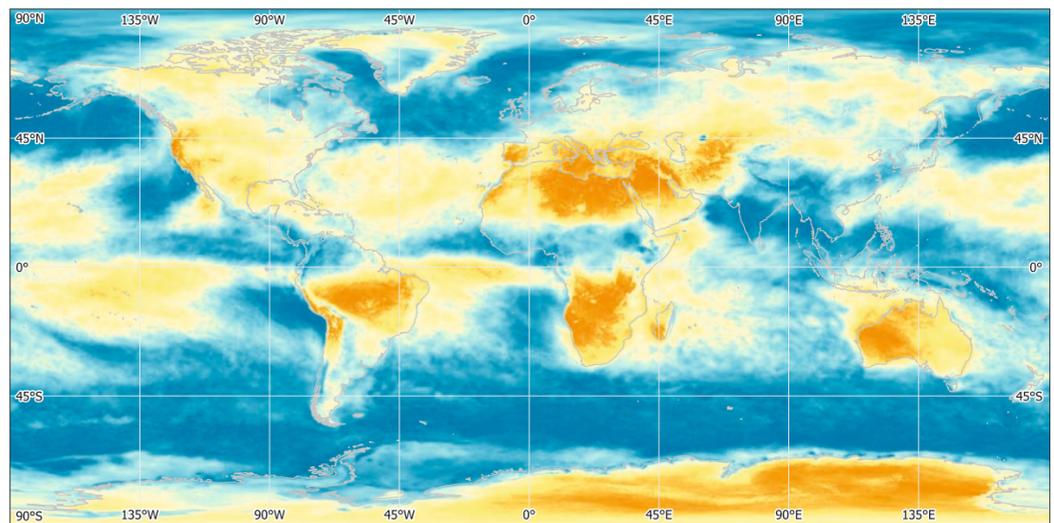
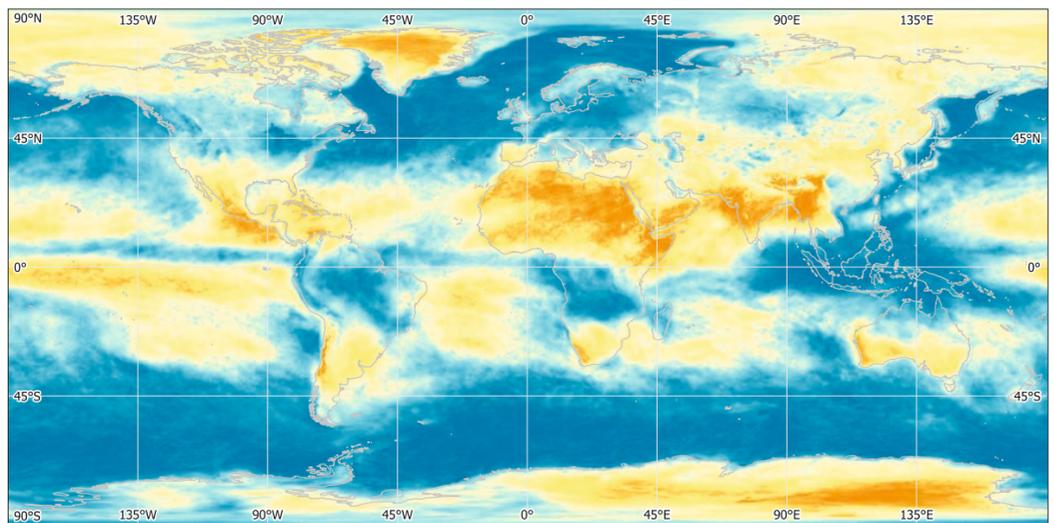
44m Altitud de la estación climática  
B3sh Zona climática de la estación climática  
■ Precipitación media mensual  
— Temperatura media mensual  
523 mm Precipitación media anual  
16,3°C Temperatura media anual

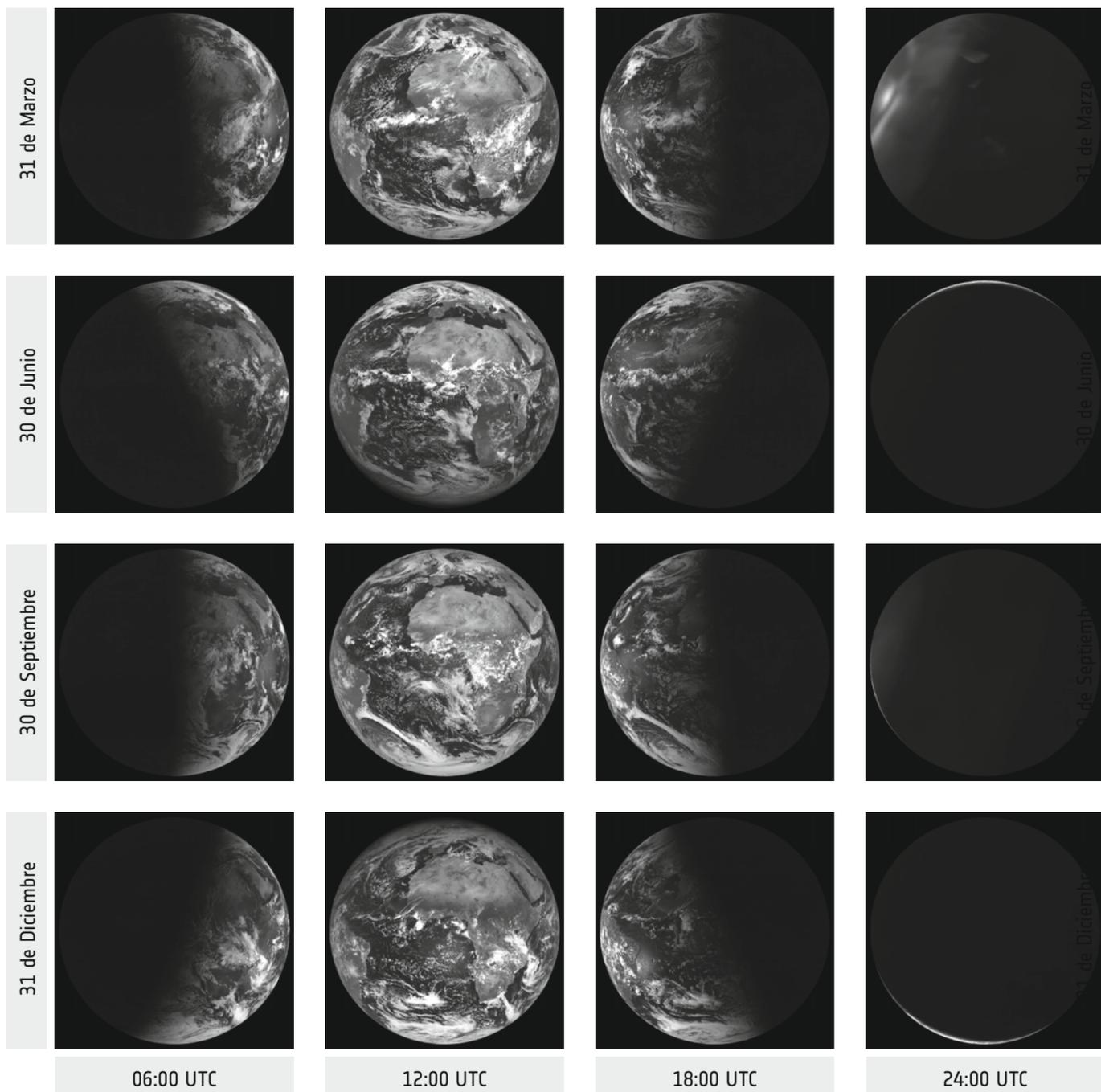
2. Diagramas climáticos para áreas de interés en diferentes latitudes.

4. Nubosidad media, julio de 2016.



3. Nubosidad media, enero de 2016.





1. Cambios estacionales y diarios de la iluminación de la Tierra. Datos: Meteosat (meridiano 0°, luz visible).

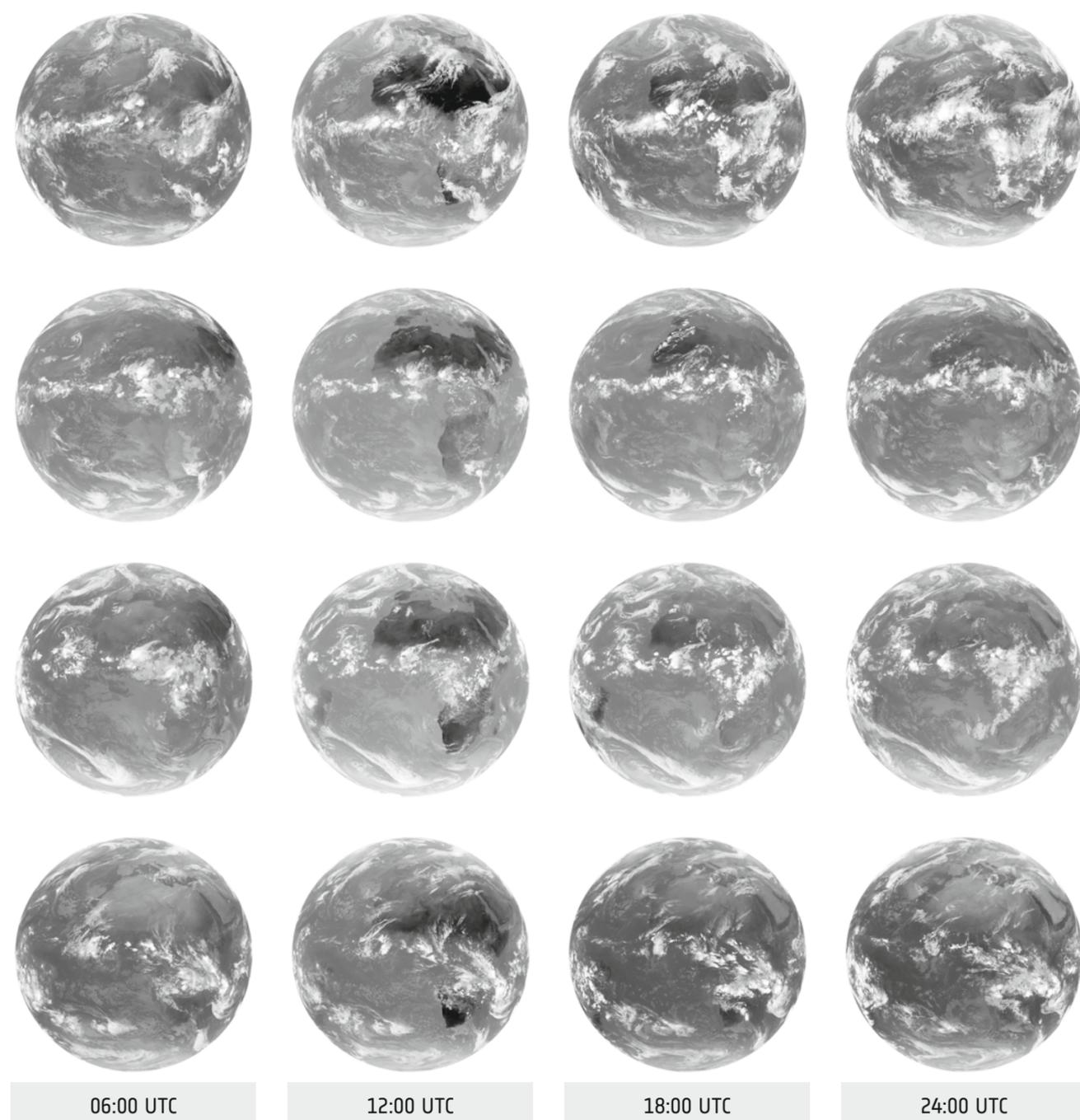
### La Tierra en la luz visible

Los satélites Meteosat proporcionan una visión de la dinámica de la Tierra a través de imágenes del espectro visible, en las que se captan las características de la superficie del planeta y las condiciones atmosféricas con notable detalle. En el espectro visible, estas imágenes revelan una visión de los fenómenos naturales, ilustrando el paisaje siempre cambiante influido por las variaciones estacionales y los ciclos diarios.

A lo largo de un año, las imágenes del Meteosat muestran la interacción dinámica entre las estaciones de la Tierra. El cambio del ángulo de irradiación de la luz solar

es muy bien visible. Durante los equinoccios de primavera y otoño, todo el hemisferio está iluminado a las 12:00 UTC. Además, son visibles los cambios estacionales en la vegetación y en la capa de nieve.

El ciclo diario, con su secuencia de día y noche, también puede observarse en las imágenes de Meteosat. Las estaciones y las horas del día se cruzan en las imágenes. En latitudes altas, la transición de la noche polar al día polar durante el verano da lugar a una luz diurna continua, mientras que los meses de invierno permanecen oscuros. En las regiones ecuatoriales, el ciclo diario permanece relativamente constante durante todo el año.



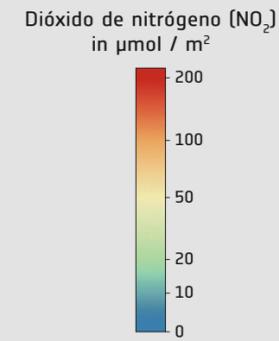
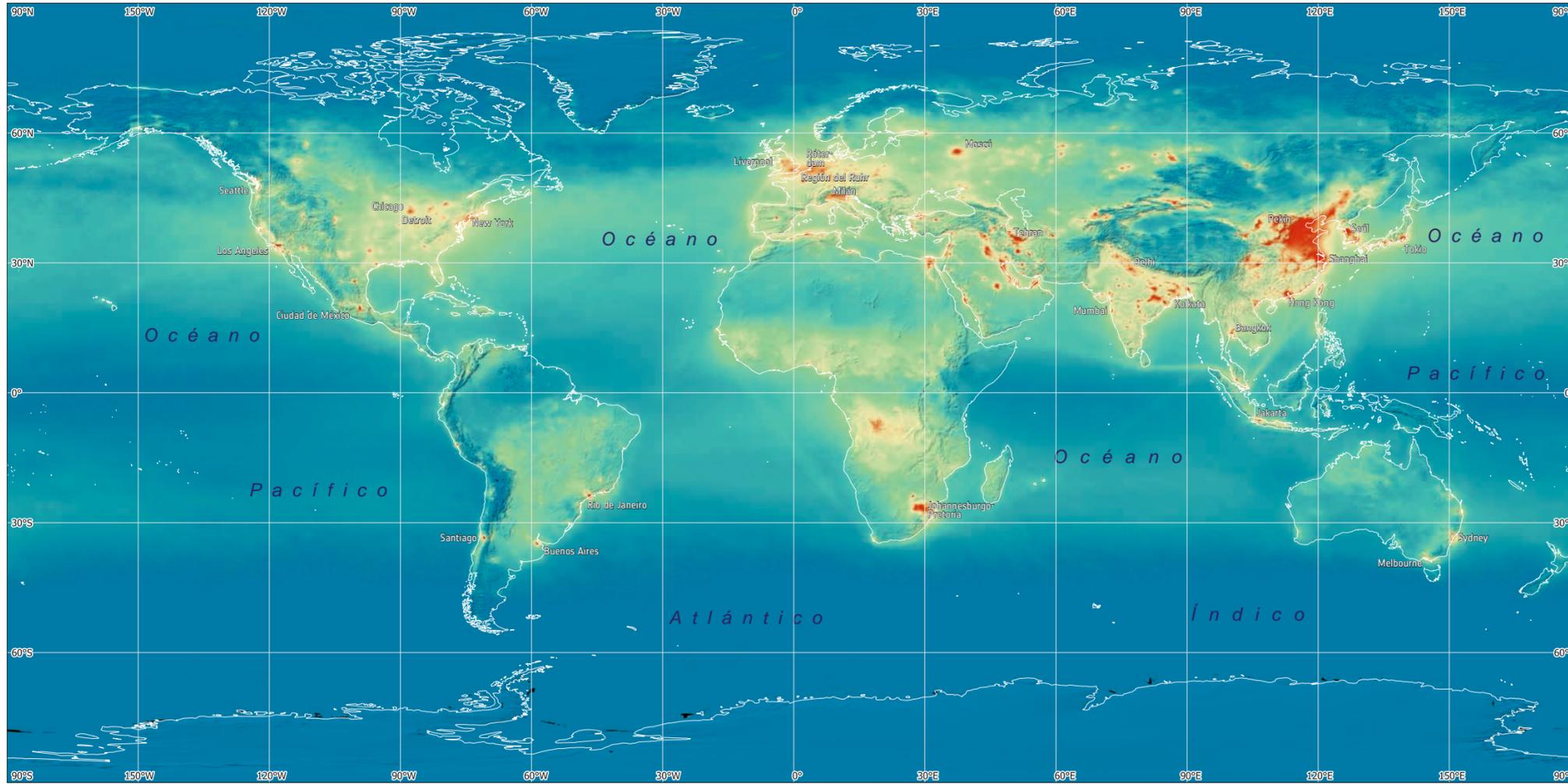
### La Tierra en luz infrarroja

Las imágenes infrarrojas del Meteosat muestran las nubes y la dinámica atmosférica, ofreciendo una perspectiva de los patrones meteorológicos y los fenómenos climáticos. Al operar en el espectro infrarrojo, estas imágenes detectan la radiación térmica emitida por la superficie terrestre y la atmósfera, lo que permite obtener información sobre una perspectiva de la cobertura nubosa y las temperaturas atmosféricas.

La nubosidad domina las imágenes infrarrojas de Meteosat y aparece en tonos grises sobre un fondo más oscuro. Los distintos tipos de nubes, como los cúmulos,

los estratos y los cirros, presentan firmas térmicas diferenciadas que permiten discernir su altura, grosor y composición. Las nubes gruesas y de gran altitud aparecen más frías en las imágenes infrarrojas, mientras que las nubes bajas y la niebla suelen ser más cálidas. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), una región cercana al ecuador donde convergen los vientos alisios, aparece en las imágenes como una banda de tormentas y nubes cumulonimbos. La posición de la ZCIT cambia a lo largo del año con la inclinación del eje de la Tierra, lo que influye en los patrones meteorológicos globales y en la distribución de las precipitaciones.

2. Cambios en la distribución de la temperatura y migración del ZCIT a lo largo del año. Las temperaturas más altas aparecen más oscuras. Datos: Meteosat (meridiano 0°, banda infrarroja térmica).



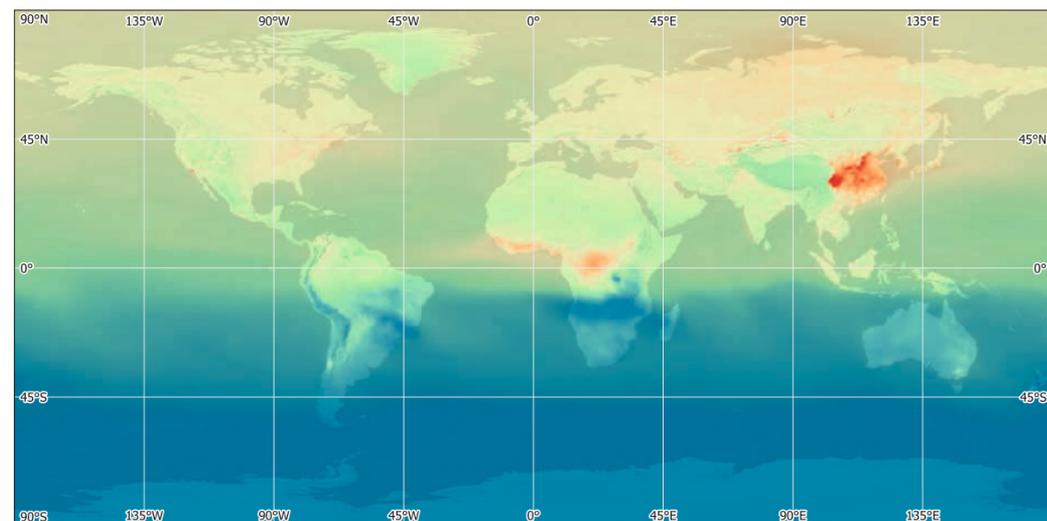
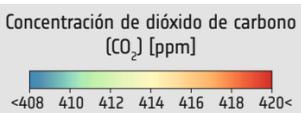
1. Distribución del dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>). NO<sub>2</sub> es producido por procesos de combustión a alta temperatura en la industria y el tráfico y refleja la actividad industrial de una región. Datos: Sentinel-5P.

**Componentes de la atmósfera**

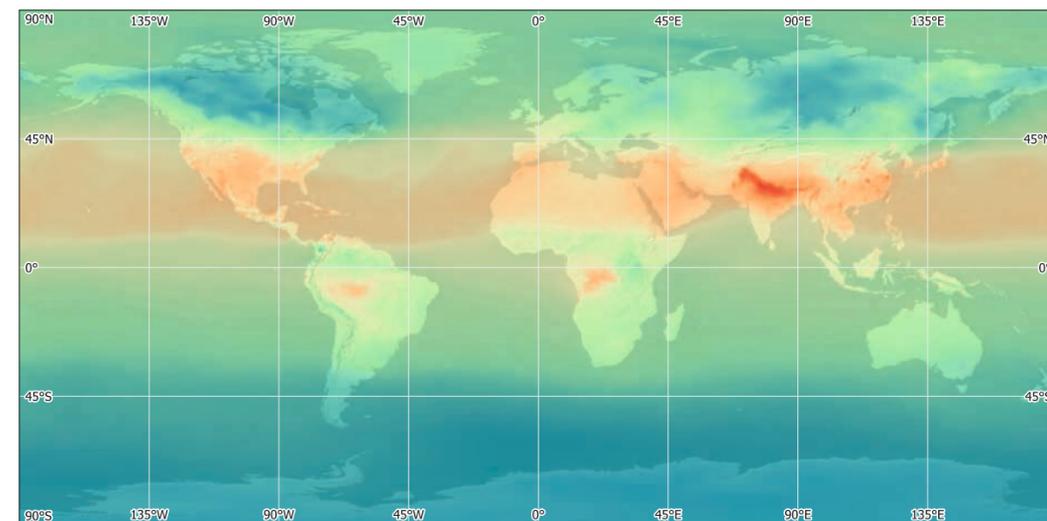
La atmósfera terrestre está compuesta principalmente por nitrógeno (N<sub>2</sub>, 78,08%), oxígeno (O<sub>2</sub>, 20,95%) y argón (Ar, 0,93%). El 0,04% restante está formado por los gases traza, que a pesar de sus pequeñas concentraciones desempeñan funciones importantes.

El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nítrico (N<sub>2</sub>O) son gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. Durante las últimas décadas se ha tomado conciencia especialmente del CO<sub>2</sub>, ya que su concentración ha aumentado de 320 ppm (partes por millón) en 1960 a 420 ppm en 2023.

El ozono (O<sub>3</sub>) desempeña un papel importante en la estratosfera. Actúa como filtro de la radiación ultravioleta (UV) solar, que puede destruir biomoléculas. El agujero de ozono antártico, un déficit de O<sub>3</sub> que se produce todos los años al mes de octubre, se vio intensificado por el gas traza de origen humano CFC (clorofluorocarbono).

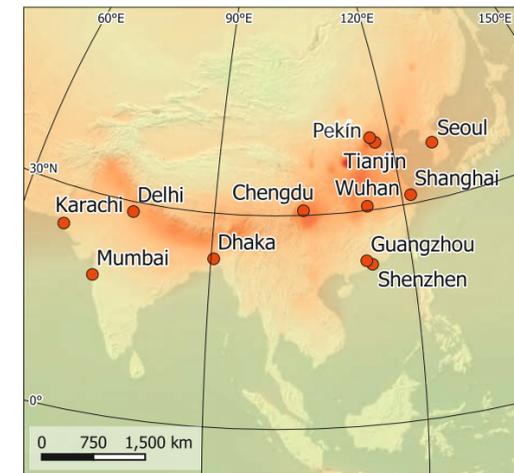
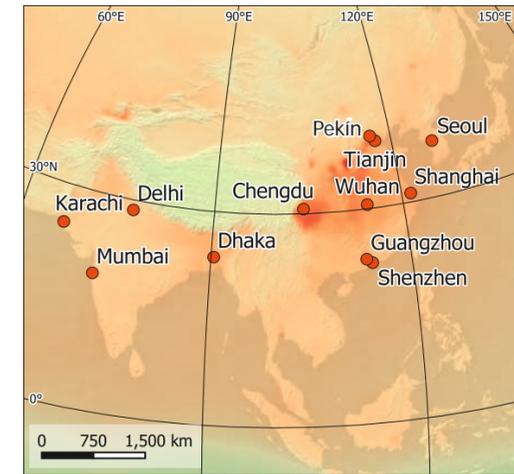


2. Distribución del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en enero de 2020.

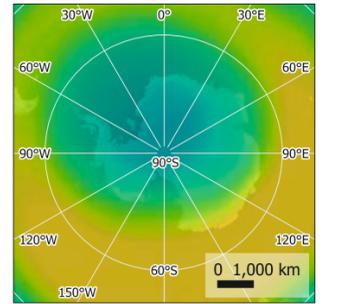


3. Distribución del dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en julio de 2020.

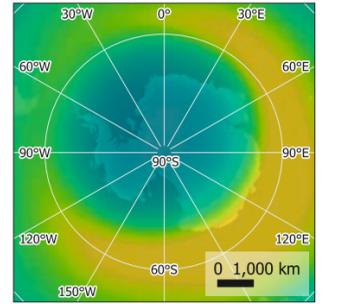
5. Evolución del agujero de ozono antártico desde 1970.



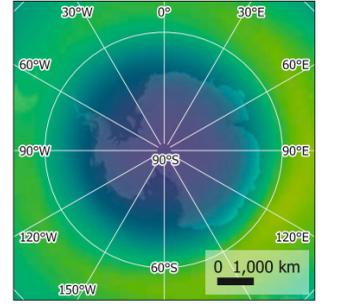
4. Variación estacional de la concentración de metano (CH<sub>4</sub>) en el sudeste asiático, enero de 2020 (arriba) y julio de 2020 (abajo). El cultivo del arroz es una de las fuentes más importantes de CH<sub>4</sub>.



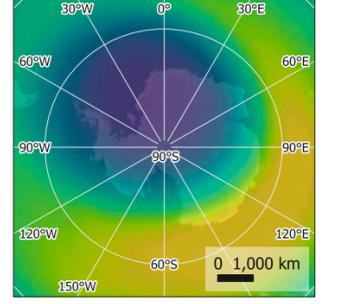
5a. Agujero de ozono, Oct. 1970.



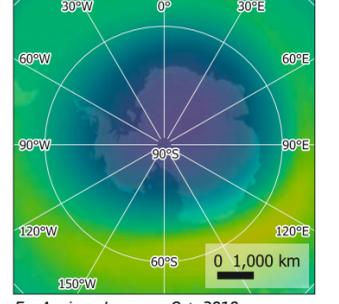
5b. Agujero de ozono, Oct. 1980.



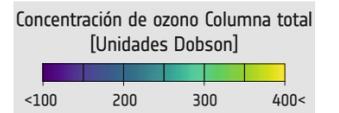
5c. Agujero de ozono, Oct. 1990.



5d. Agujero de ozono, Oct. 2000.



5e. Agujero de ozono, Oct. 2010.





1. Mapa global de las zonas climáticas según Lauer y Frankenberg.

Zonas climáticas

Ejemplo: C3sh es un clima marítimo, semihúmedo, templado cálido de las latitudes medias

57° VDD 12 h Variación anual de la duración del día (VDD) en horas (límite climático solar)

Límite climático ajustado térmicamente teniendo en cuenta la influencia de las montañas y las corrientes oceánicas

C: Grado de continentalidad (en %) como medida de las variaciones anuales de temperatura

Meses húmedos: precipitación > evaporación en el paisaje real

Región de precipitaciones invernales subtropicales

Niebla costera (invierno/verano)

Corrientes oceánicas

Corriente principal fría

Corriente fría

Corriente principal cálida

Corriente cálida

Zonas climáticas

El término clima comprende todas las características meteorológicas responsables del estado medio a largo plazo de la atmósfera en un lugar determinado. En el clima influyen numerosos factores.

El más importante es la posición geográfica, cuanto mayor es la distancia al ecuador y mayor la altitud, menor es la temperatura. La distancia al océano, la continentalidad, tiene una importancia similar — las masas de tierra se calientan y se enfrían más rápido que el agua del océano, lo que hace que las variaciones de temperatura en el continente sean mayores que en las costas. Por eso, en las regiones costeras los veranos suelen ser más frescos y los inviernos más suaves.

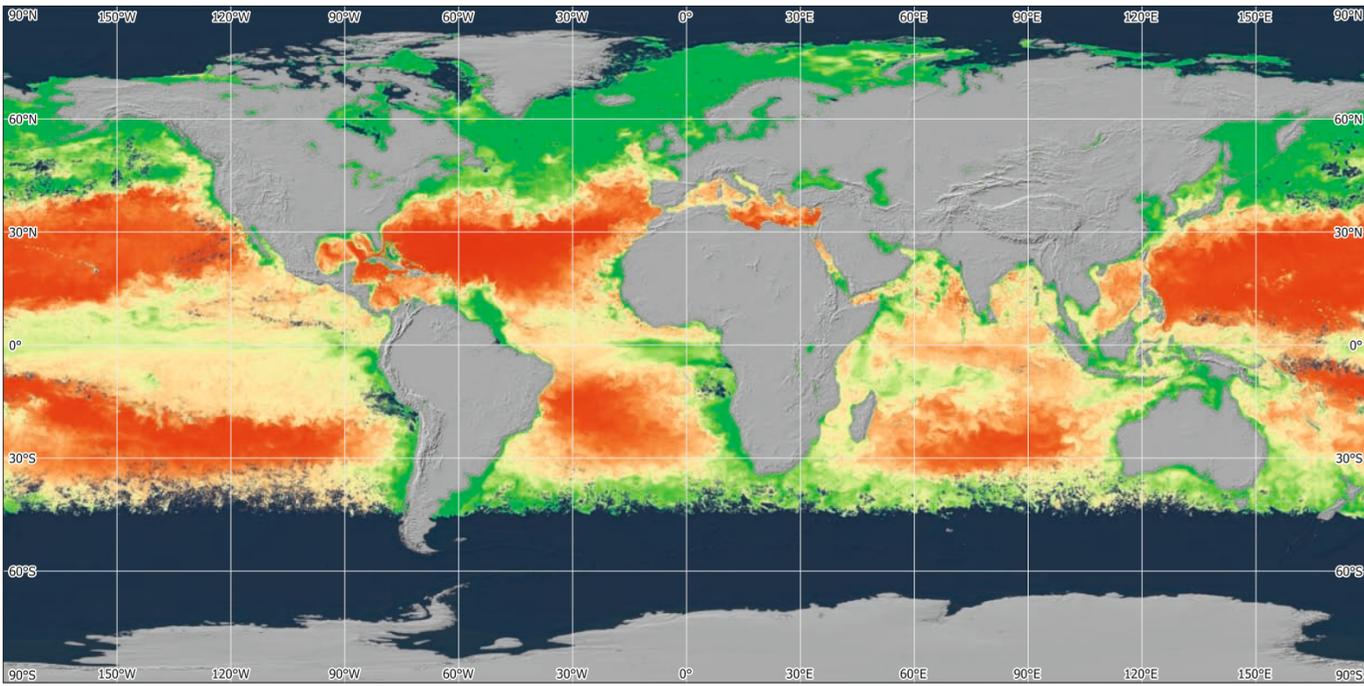
Las regiones con condiciones climáticas similares se asignan a la misma zona climática. La clasificación de climas de Lauer y Frankenberg (1987) define en una primera aproximación las zonas climáticas tropical, subtropical, templada y polar.

Los criterios de clasificación se refieren a la vegetación real. El principio básico de la clasificación climática es la inclusión de las condiciones solar-climáticas de radiación e iluminación. El límite de los trópicos se define por la fluctuación de la temperatura. La frontera se sitúa allí donde la variación entre el verano y el invierno (amplitud anual) es mayor que la variación entre el día y la noche (amplitud diaria). Los climas tropicales son, por tanto, climas diurnos, mientras que los climas no

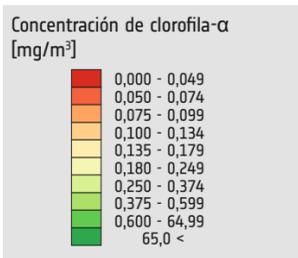
tropicales son climas anuales. Según esta clasificación climática, la Tierra puede dividirse a grandes rasgos en cuatro zonas climáticas, definidas por la radiación solar: el clima tropical, el clima subtropical, el clima templado y el clima polar. Estas zonas se subclasifican en función de sus propiedades térmicas.

El sistema climático de la Tierra es muy complejo: los satélites meteorológicos son muy valiosos para medir las condiciones atmosféricas y extrapolar la evolución integrando estas mediciones en modelos meteorológicos y climáticos. Esto abarca la medición de la nubosidad, las temperaturas y la humedad, así como la concentración de ozono y gases de efecto invernadero con su impacto a largo plazo en el desarrollo del clima.

Zona climática (irradiación solar global)	Región climática (balance térmico)	Balance hídrico (número de meses húmedos)				Límite climático
		a (árido) 0-2	sa (semi-árido) 3-5	sh (semi-húmedo) 6-9	h (húmedo) 10-12	
A Tropical	1 Trópicos fríos					Línea de congelación absoluta VDD 3 hr.
	2 Trópicos cálidos					
	3 marítimo					
B Subtropical	1 continental alto					C=200% C=100% VDD 7 hr.
	2 continental					
	3 marítimo					
C Latitudes medias	I templado alto	1 continental alto				C=200% C=100% VDD 12 hr.
		2 continental				
		3 marítimo				
	II templado bajo	1 continental alto				C=200% C=100% VDD 24 hr.
		2 continental				
		3 marítimo				
D Regiones polares	1 continental alto				C=200% C=100% Línea de nieve	
	2 continental					
	3 marítimo					
	Glaciares					

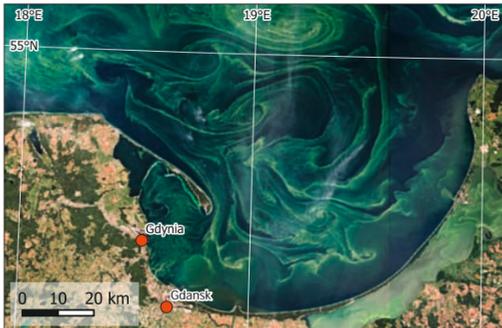


1. Concentración de clorofila-a en la superficie del océano, junio de 2023. Data: Sentinel-3.

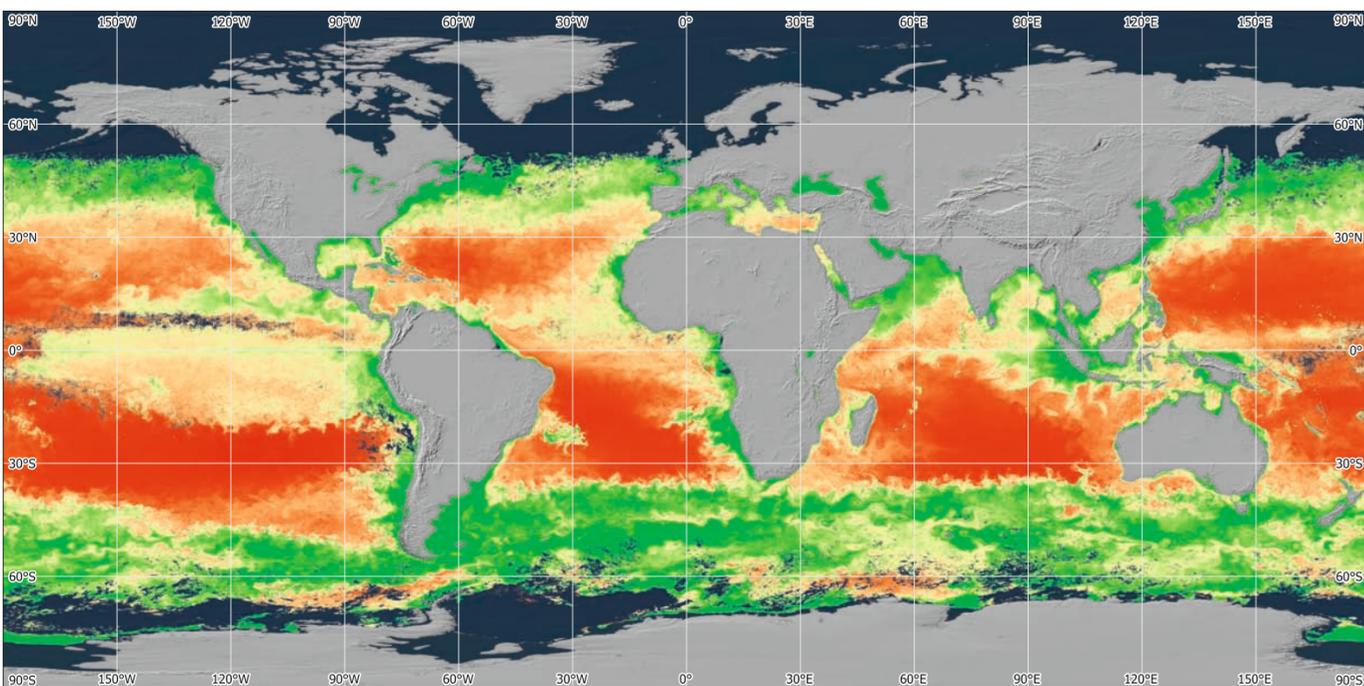


La vida en el agua

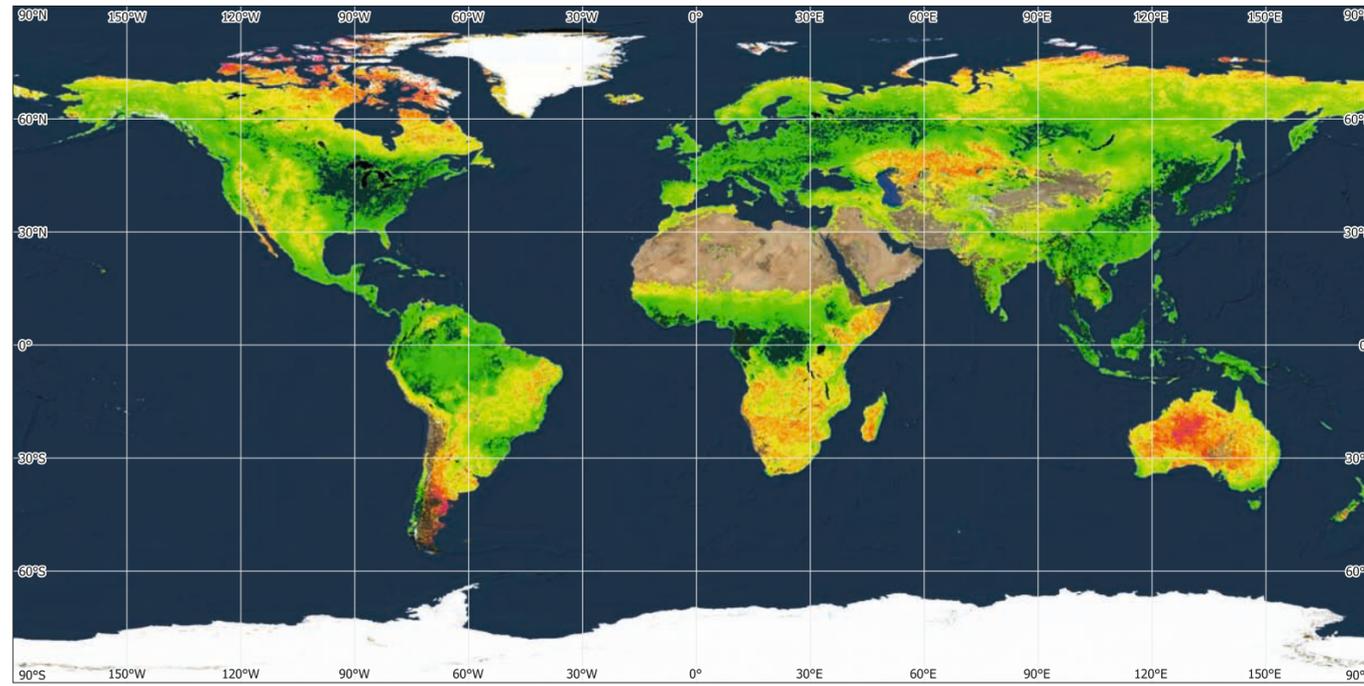
El fitoplancton, plantas marinas microscópicas, esta cruciales para los ecosistemas acuáticos, ya que actúan como productores primarios y fuentes de oxígeno. Su abundancia varía estacionalmente y depende de la disponibilidad de nutrientes. En condiciones de afluencia de nutrientes y temperaturas cálidas, pueden proliferar rápidamente, provocando la proliferación de algas. Estas floraciones consumen oxígeno, lo que provoca condiciones de hipoxia perjudiciales para la vida acuática. Algunas especies de fitoplancton producen toxinas, lo que supone un riesgo para la salud humana.



3. Remolinos de una floración de algas en el mar Báltico cerca de Gdansk, Polonia. Datos: Sentinel-2, 20/07/2019.



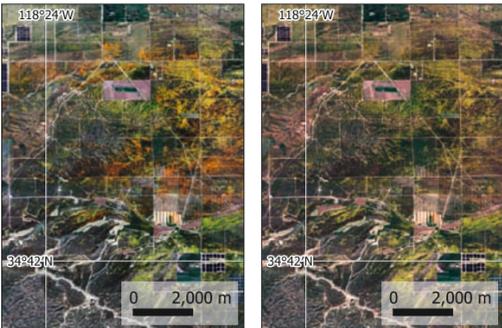
2. Concentración de clorofila-a en la superficie del océano, diciembre de 2023. Data: Sentinel-3.



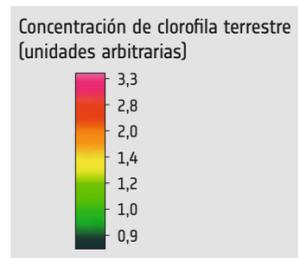
4. Intensidad de la vegetación mostrada por el índice terrestre de clorofila, julio de 2018. Datos: Sentinel-3.

Vegetación terrestre

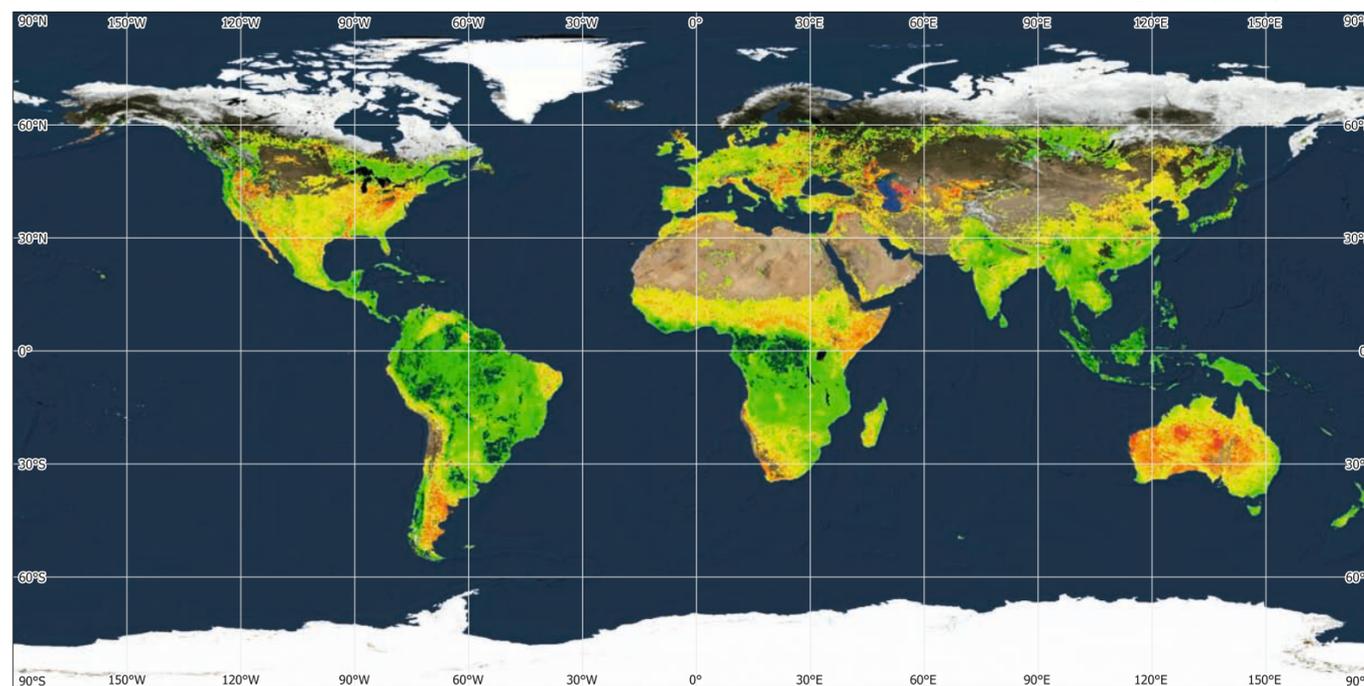
Las plantas cubren la mayor parte de la superficie sólida de la Tierra y están bien adaptadas a las condiciones respectivas dadas por el clima y los suelos de la región. La importancia de la energía solar para el ciclo vital de las plantas se refleja en las grandes diferencias estacionales en el contenido de clorofila de la vegetación. Las diferencias son menores en las regiones tropicales, donde la irradiancia solar permanece relativamente constante. Desde los bosques caducifolios hasta las superflores, la dinámica de la vegetación muestra un amplio espectro de fenómenos diferentes.

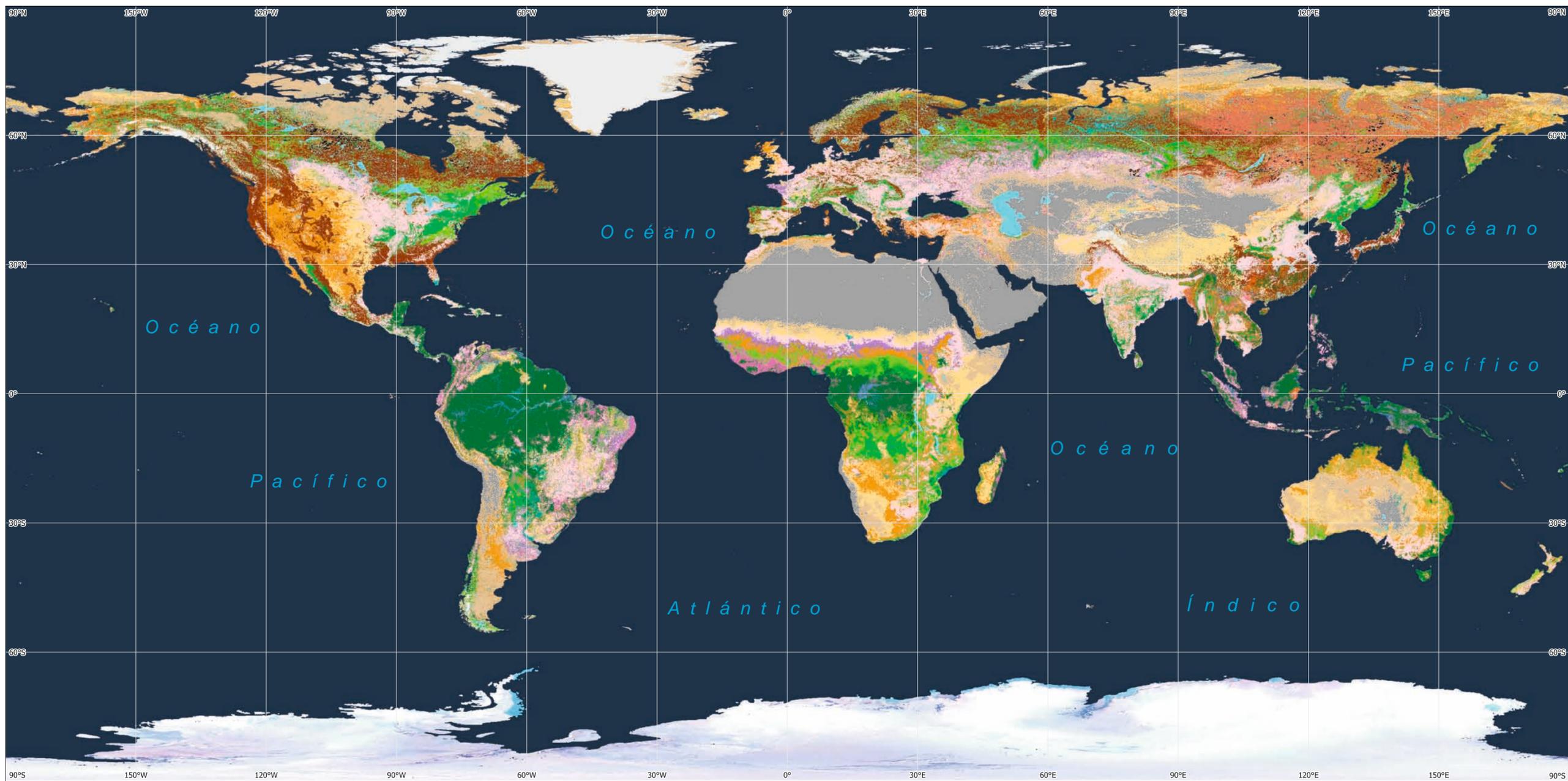


6. Colores durante (08/04/2023, izquierda) y después de una superflores (13/04/2023, derecha) en California. Datos: Sentinel-2.



5. Intensidad de la vegetación mostrada por el índice terrestre de clorofila, enero de 2018. Datos: Sentinel-3.





1. Cubierte terrestre/uso del suelo derivado de datos por satélite.



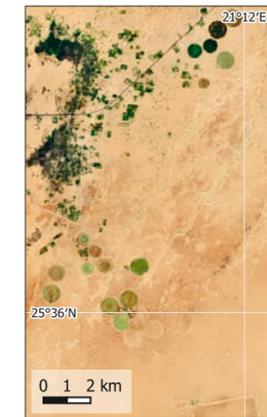
2. Kiruna, Suecia. Cobertura arbórea, agricultura extensiva, minería (Sentinel-2, 08/09/2023).



3. Pärnu, Estonia. Pino, abedul y abeto, silvicultura intensiva (Sentinel-2, 26/09/2023).



4. Salónica, Grecia. Cultivo intensivo de cosechas y frutas (Sentinel-2, 20/09/2023).



5. Tazirbu, Libia. Agricultura en el oasis basada en el regadío (Sentinel-2, 27/09/2023).



6. Abéché, Chad. Cría de ganado en la sabana que rodea la ciudad (Sentinel-2, 24/09/2023).



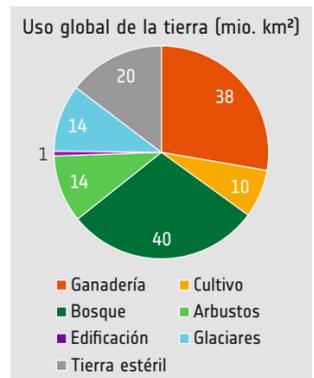
7. Boende, R.D. Congo. Cultivos itinerantes en la selva tropical (Sentinel-2, 08/09/2023).



8. Marchand, Sudáfrica. Agricultura de regadío a lo largo del río (Sentinel-2, 31/03/2023).

Cubierte y uso del suelo en el mundo

La cubierte terrestre se refiere a las características físicas de la superficie de la Tierra, incluida la vegetación, las masas de agua y el suelo desnudo. En su estado natural, depende de los suelos, el clima y la fauna que habita en una región. Por su parte, el uso del suelo describe cómo los humanos utilizan la tierra, por ejemplo, para la agricultura, el desarrollo urbano o la conservación. En muchos casos, el uso del suelo está estrechamente relacionado con los cambios en la cubierte terrestre, como la deforestación, el aumento de las tierras agrícolas y el crecimiento de las superficies selladas debido al desarrollo de asentamientos. Los cambios pueden afectar a los ecosistemas, la biodiversidad y el clima.



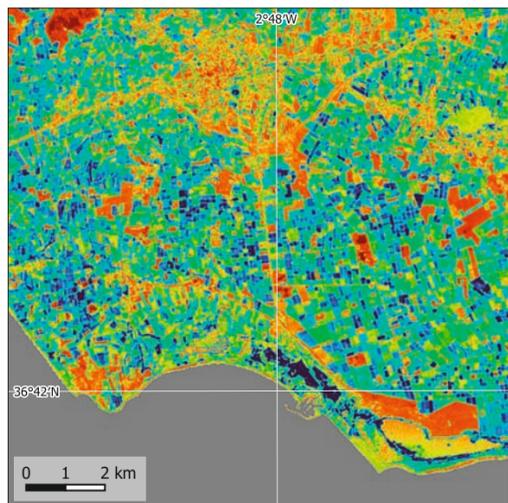
9. Superficies cubiertas por clases importantes de ocupación/uso del suelo (áreas en millones de km²).



1. El Mar de Plástico alrededor de El Ejido, España. Datos: Sentinel-2, 10/09/2022.



2. Índice de humedad del suelo (NDMI) de la comarca de El Ejido (izquierda). Datos: Sentinel-2, 10/09/2022.



3. El Mar de Plástico alrededor de El Ejido en 1985 (derecha). Datos: Landsat 5, 17/10/1985.

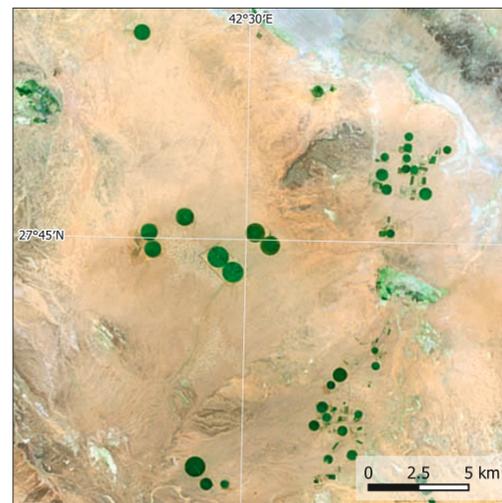


4. Vista de los invernaderos de plástico cerca de El Ejido.

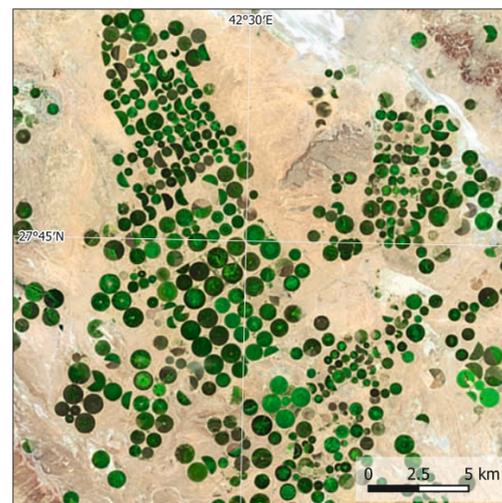
### El Mar de Plástico – El Ejido, España

Es famosa por sus extensos invernaderos, el llamado Mar de Plástico. La región tiene un clima mediterráneo suave y seco, y está protegida al norte por la Sierra de Gádor. Con poco más de 200 mm de precipitaciones anuales, la agricultura depende de las aguas subterráneas que se reponen con el agua de la sierra adyacente. Con su superficie de 30.000 hectáreas, la región ha experimentado cambios significativos, bien visibles en las imágenes de satélite. El Mar de Plástico es un actor importante de la economía española y mantiene más de 40.000 puestos de trabajo. La mayoría de los pro-

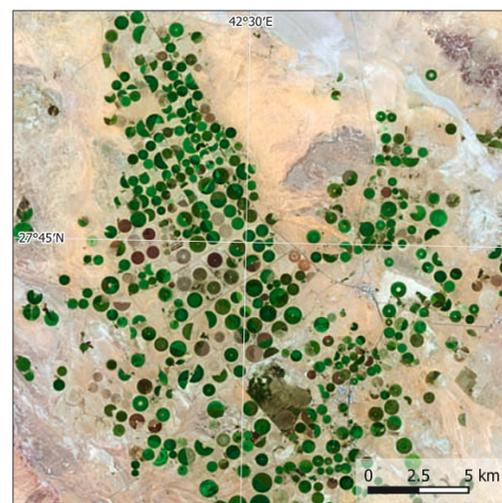
ductores son empresas familiares con superficies de entre 1 y 1,5 hectáreas. En este suelo arenoso artificial se cultivan principalmente hortalizas (por ejemplo, tomates). El desarrollo del Mar de Plástico tiene diversas repercusiones. El paisaje social está en transformación, con cambios en la dinámica del empleo y las estructuras comunitarias, en parte relacionados con la migración ilegal. Al mismo tiempo, surgen consideraciones ecológicas, como los patrones de uso del agua y la preocupación por la escorrentía de productos químicos, lo que suscita una exploración más profunda del delicado equilibrio entre progreso y sostenibilidad medioambiental.



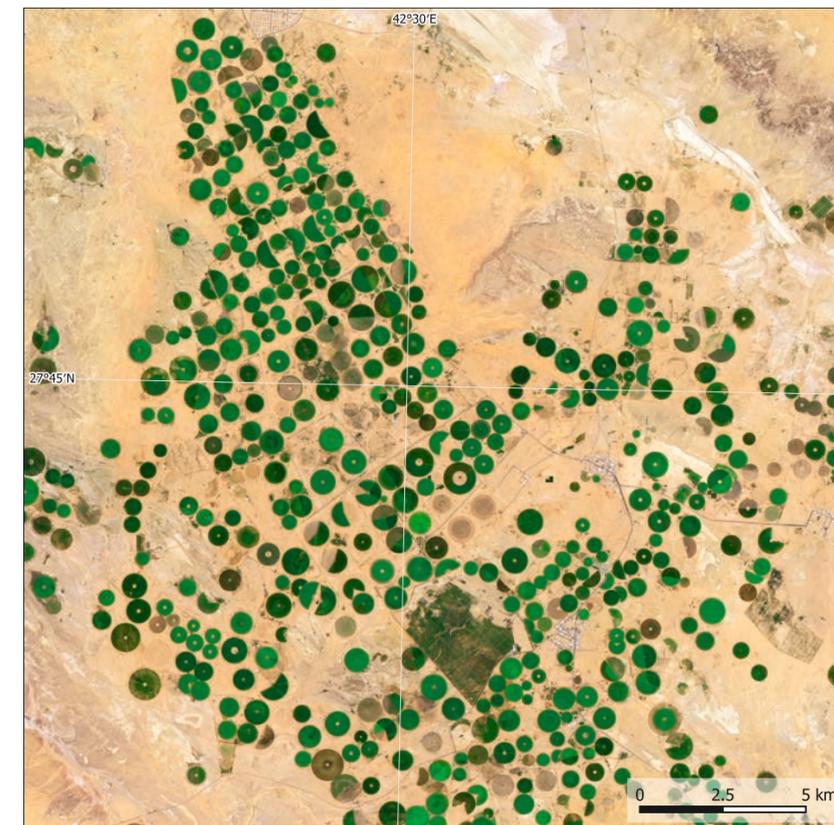
5. Primeros campos de riego con pivote central cerca de Ha'il, Arabia Saudí, en 1985. Datos: Landsat 5, 15/04/1985.



6. Hasta 1995, el número de campos de regadío creció considerablemente. Durante este periodo, la exportación de trigo alcanzó su máximo. Datos: Landsat 5, 17/04/1995.



7. Después de 1995, la intensidad de cultivo disminuyó debido a la situación económica y a los problemas de salinización. Datos: Landsat 5, 18/04/2015.

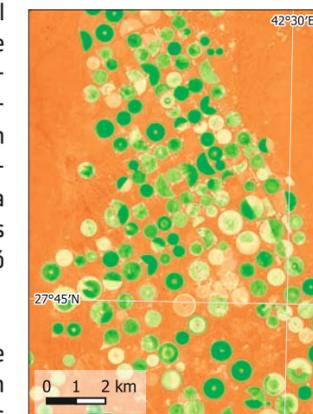


### Agricultura en el desierto – Ha'il, Arabia Saudí

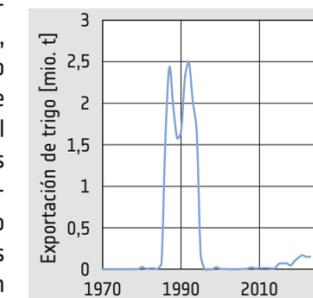
Arabia Saudí es uno de los países más áridos del mundo y está cubierto en su mayor parte por desiertos. El entorno desértico va de la mano de una densidad de población relativamente baja. La economía del país depende en gran medida de la exportación de combustibles fósiles (petróleo y gas), pero Arabia Saudí también exporta trigo. Con la excepción de los oasis, la agricultura de Arabia Saudí se ha basado sobre todo en la ganadería extensiva. La explotación de los yacimientos de aguas subterráneas fósiles para el regadío permitió intensificar la producción de trigo y otros cultivos.

La zona que rodea la ciudad de Ha'il está situada sobre una gran capa de agua subterránea que se explota con creciente intensidad desde los años setenta. Mientras que las técnicas aplicadas en un principio provocaban la evaporación de gran parte del agua, combinada con una importante salinización del suelo, los métodos utilizados ahora se adaptan mejor al entorno. No obstante, el uso de aguas subterráneas fósiles terminará cuando se agoten las capas freáticas. Las imágenes de satélite muestran un buen contraste entre la vegetación y el desierto circundante, como demuestran los numerosos campos de regadío de pivote central. Son muy adecuadas para seguir la evolución de los campos de regadío y el estado de los cultivos. Esto hace posible utilizar los datos para la agricultura de precisión, ya que permiten saber dónde hay que optimizar el suministro de agua y fertilizantes.

8. Situación de los campos de regadío cerca de Ha'il, Arabia Saudí, en 2023. Data: Sentinel-2, 27/04/2023.



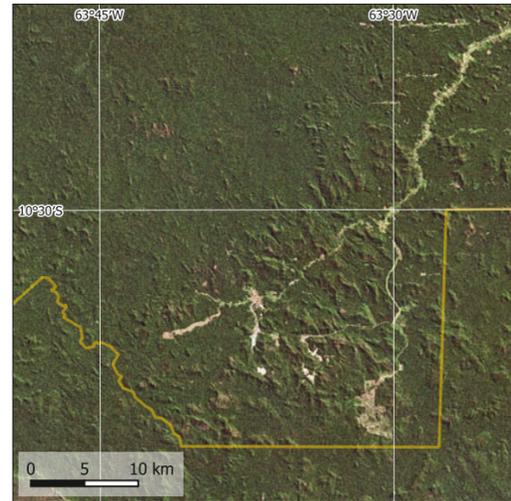
9. El NDVI (índice de vegetación de diferencia normalizada) ayuda a controlar el estado de los cultivos.



10. Evolución de la exportación de trigo de Arabia Saudí.



1. Campo Novo de Rondônia, Brasil, en 1991. La imagen de satélite muestra las estructuras en "espina de pez" durante la fase inicial de la deforestación. Datos: Landsat 5, 28/06/1991



4. Campo Novo de Rondônia en 1984. Línea amarilla: frontera del Territorio Indígena Uru-Eu-Uaw-Uaw. Datos: Landsat 5, 24/06/1984.



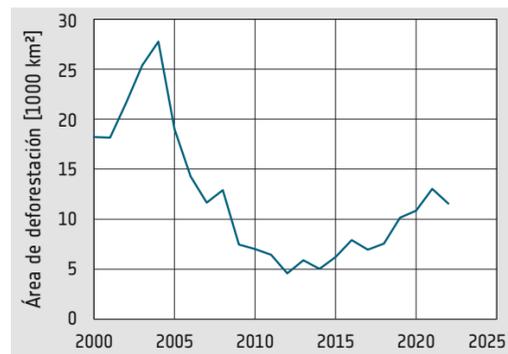
2. Campo Novo de Rondônia. Vista aérea de incendios durante la deforestación.

**Rondônia, Brasil**

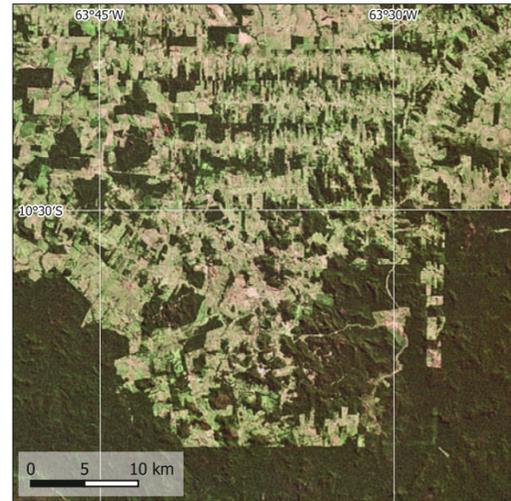
Rondônia es uno de los estados de Brasil, situado en la parte suroccidental de la cuenca del Amazonas. La población del estado ha pasado de unos 40.000 habitantes en 1950 a más de 1,8 millones en 2021. Este desarrollo ha ido acompañado de un cambio en la cubierta vegetal.

Al principio, casi el 90% de la superficie estaba cubierta por selva tropical. En la actualidad se ha convertido en uno de los ejemplos más conocidos de deforestación de la cuenca amazónica. Aproximadamente un tercio de la superficie sigue cubierta de bosques.

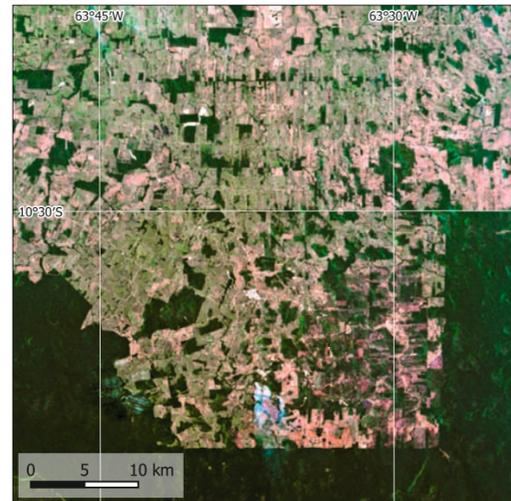
Los mapas de satélite muestran el desarrollo en torno a Campo Novo de Rondônia, que en 2020 tenía 14.200 habitantes. La serie de imágenes muestra cómo la deforestación se inicia con la construcción de carreteras, a lo largo de las cuales los colonos empiezan a talar los bosques para ganar tierras agrícolas. Solo en la parte sur de la zona que aparece en los mapas por satélite han quedado bosques: se trata de una parte del Territorio Indígena Uru-Eu-Uaw-Uaw, establecido por el gobierno de Brasil para proteger a la población indígena. El primer contacto con una de las tribus que viven aquí, los Uru-Eu-Uaw-Uaw, se produjo en 1981.



3. Superficie deforestada en Brasil al año.



5. Campo Novo de Rondônia en 2010. Gran parte de la zona ha sido deforestada para desarrollar tierras agrícolas. Datos: Landsat 5, 15/05/2010.



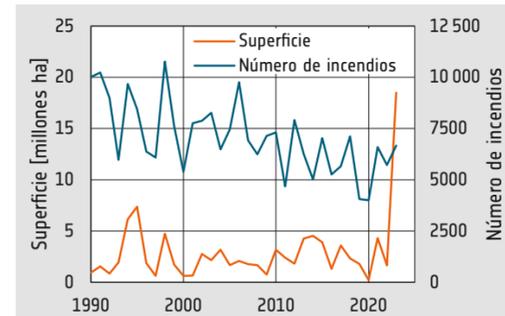
6. Campo Novo de Rondônia en 2023. La mayor parte de la selva del norte ha sido eliminada, sólo en el Territorio Indígena Uru-Eu-Uaw-Uaw ha quedado una zona forestal extensa y mayoritariamente homogénea. Datos: Sentinel-2, 07/10/2023.



**Columbia Británica, Canadá**

Los incendios forestales son una preocupación recurrente en la provincia canadiense de Columbia Británica. Estos se producen cuando la vegetación, las condiciones secas y otros factores se combinan, dando lugar a llamas incontroladas que se propagan por amplias zonas. En 2023, los incendios forestales en Canadá durante el primer semestre del año han afectado a una superficie de 48.000 km², frente a la superficie de 21.000 km² quemada durante un año medio. Se supone que el cambio climático ha desempeñado un papel importante, ya que ha creado condiciones más cálidas y secas que aumentan el riesgo de ignición y propagación del fuego. Los rayos y las actividades humanas, como encender hogueras y provocar incendios, también han contribuido.

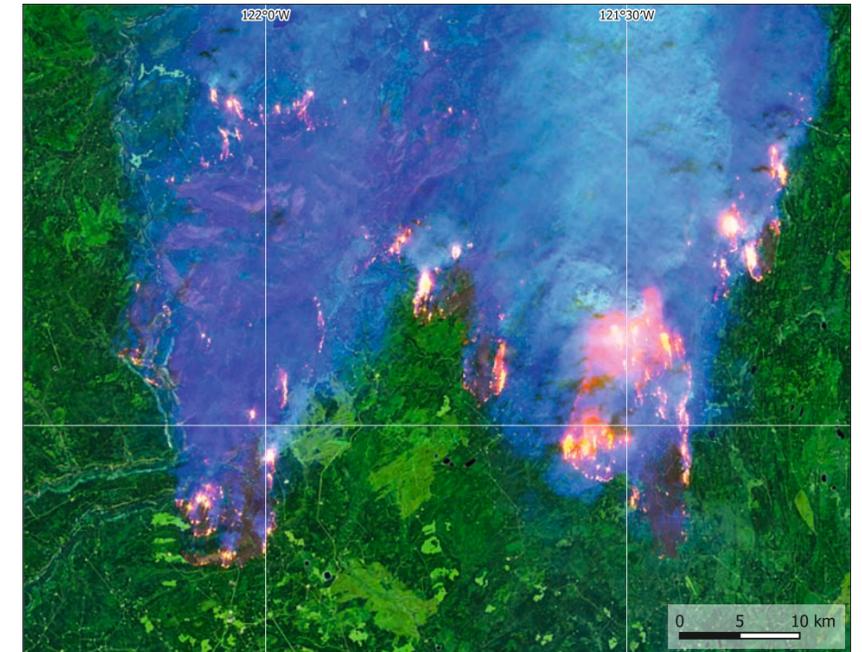
Los incendios forestales tienen consecuencias de gran alcance. Suponen una amenaza para los hábitats de la fauna salvaje, degradan la calidad del aire y dañan las cuencas hidrográficas. Las partículas liberadas en el aire pueden viajar miles de kilómetros. Los incendios forestales afectan a las comunidades locales, perturban el transporte y repercuten en la economía, sobre todo en la industria maderera.



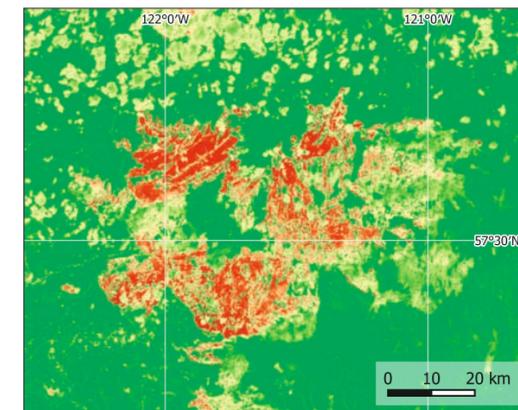
7. Número de incendios forestales y superficie quemada al año en Canadá. En 2023 la superficie quemada ha aumentado drásticamente.



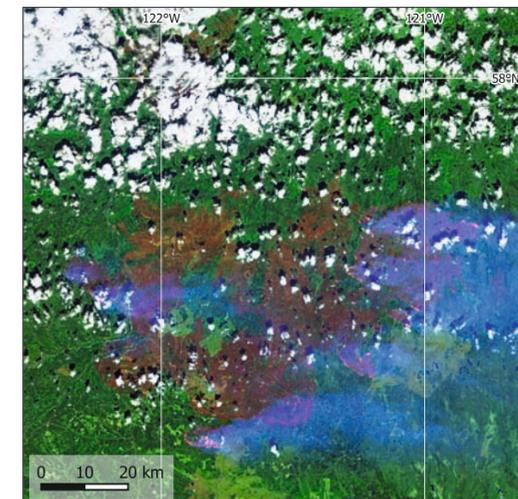
10. Visualización en color real de un incendio forestal en la Columbia Británica que muestra una intensa capa de humo. Datos: Sentinel-2, 07/06/2023.



8. Imagen infrarroja en falso color de un frente de incendio en la Columbia Británica. Datos: Sentinel-2, 18/05/2023.



9. Índice de superficie quemada de un incendio forestal en la Columbia Británica. Datos: Sentinel-2, 07/06/2023.



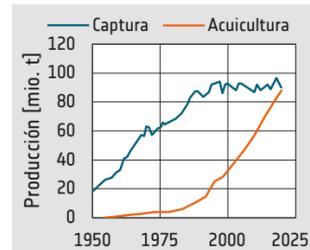
11. La visualización en falso color infrarrojo permite mirar a través del humo, mostrando los frentes de incendio y las zonas quemadas. Datos: Sentinel-2, 07/06/2023.



12. Los grandes incendios forestales pueden ser muy difíciles de combatir.



1. Imagen de satélite de la costa sur de la bahía de Bohai que muestra las zonas de acuicultura a lo largo de la costa. Los colores del mar muestran una alta carga de sedimentos de las aguas poco profundas. Datos: Sentinel-2, 29/04/2023



### Acuicultura – Bahía de Bohai

La acuicultura mundial ha aumentado constantemente a lo largo de los años, produciendo peces, camarones, mejillones y plantas acuáticas. La producción mundial alcanzó casi 90 millones de toneladas métricas en 2020 (FAO), la mitad de la producción total de marisco para consumo humano. Los principales países productores de acuicultura son China, India, Indonesia, Vietnam, Bangladés y Noruega. Esta industria proporciona medios de vida a millones de personas y es una fuente vital de alimentos e ingresos.

La acuicultura contribuye de forma importante a la economía de la región de la bahía de Bohai, siendo China el mayor productor de marisco de piscifactoría del mundo. Incluyendo las algas, China produjo más de 64 millones de toneladas métricas de marisco de piscifactoría en 2020. La bahía de Bohai está rodeada de extensas zonas costeras llanas aptas para la acuicultura, con explotaciones que van desde operaciones tradicionales a pequeña escala hasta grandes empresas comerciales.

2. La creciente demanda y la disminución de los recursos naturales han provocado un desplazamiento de la producción de la pesca de captura a la acuicultura.

3. La imagen de satélite radar de la costa sur de la bahía de Bohai muestra el uso intensivo del suelo en una mezcla de asentamientos, agricultura y acuicultura. Las actividades en alta mar, como los barcos pesqueros y los parques eólicos, aparecen como puntos brillantes en el mar. Datos: Sentinel-1, 26/04/2023.



4. Sección de la costa sur de la bahía de Bohai en 2007, el uso del suelo ha cambiado significativamente. Datos: Landsat 5, 05/05/2007.



5. Sección de la costa sur de la bahía de Bohai durante la fase inicial de las actividades de acuicultura en 1989, mostrando las llanuras de fango extendidas de la zona intermareal original. Datos: Landsat 5, 17/05/1989.



6. Ilha de Orango, Archipiélago de Bissago, durante la marea alta. Datos: Sentinel-2, 24/04/2023.

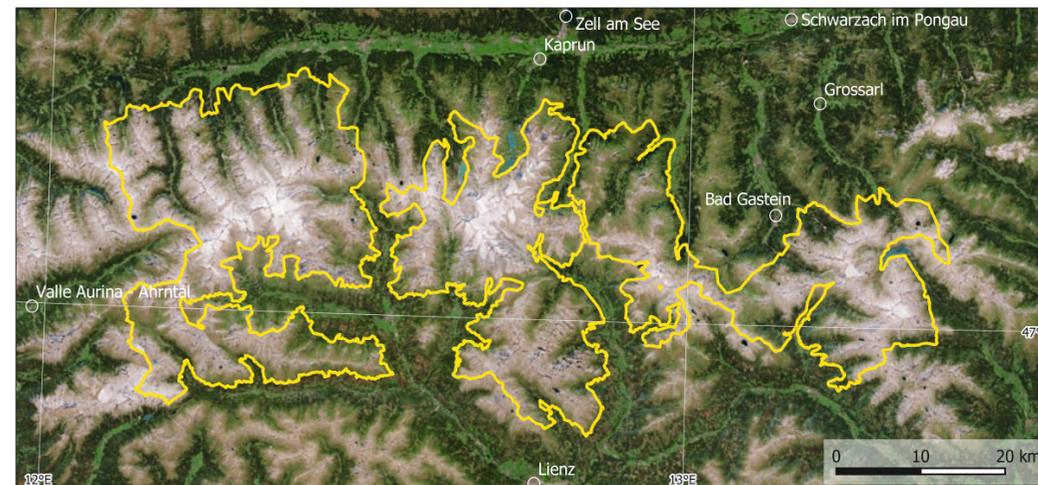


7. Ilha de Orango durante la marea baja. Se aprecian extensas llanuras de fango. Datos: Sentinel-2, 14/04/2023.

### Protección de la naturaleza

La protección de la naturaleza es importante para preservar la biodiversidad y mantener la salud de los ecosistemas. Una protección eficaz de la naturaleza requiere esfuerzos de colaboración en todos niveles. Esto implica aplicar políticas que equilibren la conservación con las necesidades socioeconómicas, implicar a las partes interesadas y concienciar sobre la importancia de la conservación de la biodiversidad. En esta tarea, los satélites se han convertido en una herramienta importante. Esto queda claro al considerar hábitats únicos como los manglares y las regiones alpinas.

Los manglares son ecosistemas costeros vitales que sirven de viveros para la vida marina, protegen de la erosión costera y almacenan carbono. Están amenazados por actividades humanas como la urbanización, la acuicultura y la contaminación. Los esfuerzos de con-



11. Vista del Grossglockner, el pico más alto del Parque Nacional Hohe Tauern.

12. El Parque Nacional Hohe Tauern de Austria se extiende por las zonas de alta montaña del país. Datos: Sentinel-2, 2023.



9. La imagen infrarroja en falso color muestra los manglares en rojo más oscuro. Datos: Sentinel-2, 24/04/2023.

Categoría de zona protegida	
Parque Nacional Terrestre	Parque Marino
Sitio Ramsar (Humedad)	Área marina comunitaria protegida
Reserva forestal	Zona de pesca reservada
Corredor de migración de fauna	UNESCO Reserva de la Biosfera

8. Zonas de protección de la naturaleza en la costa de Bissago. Datos: Sentinel-2, 24/04/2023.

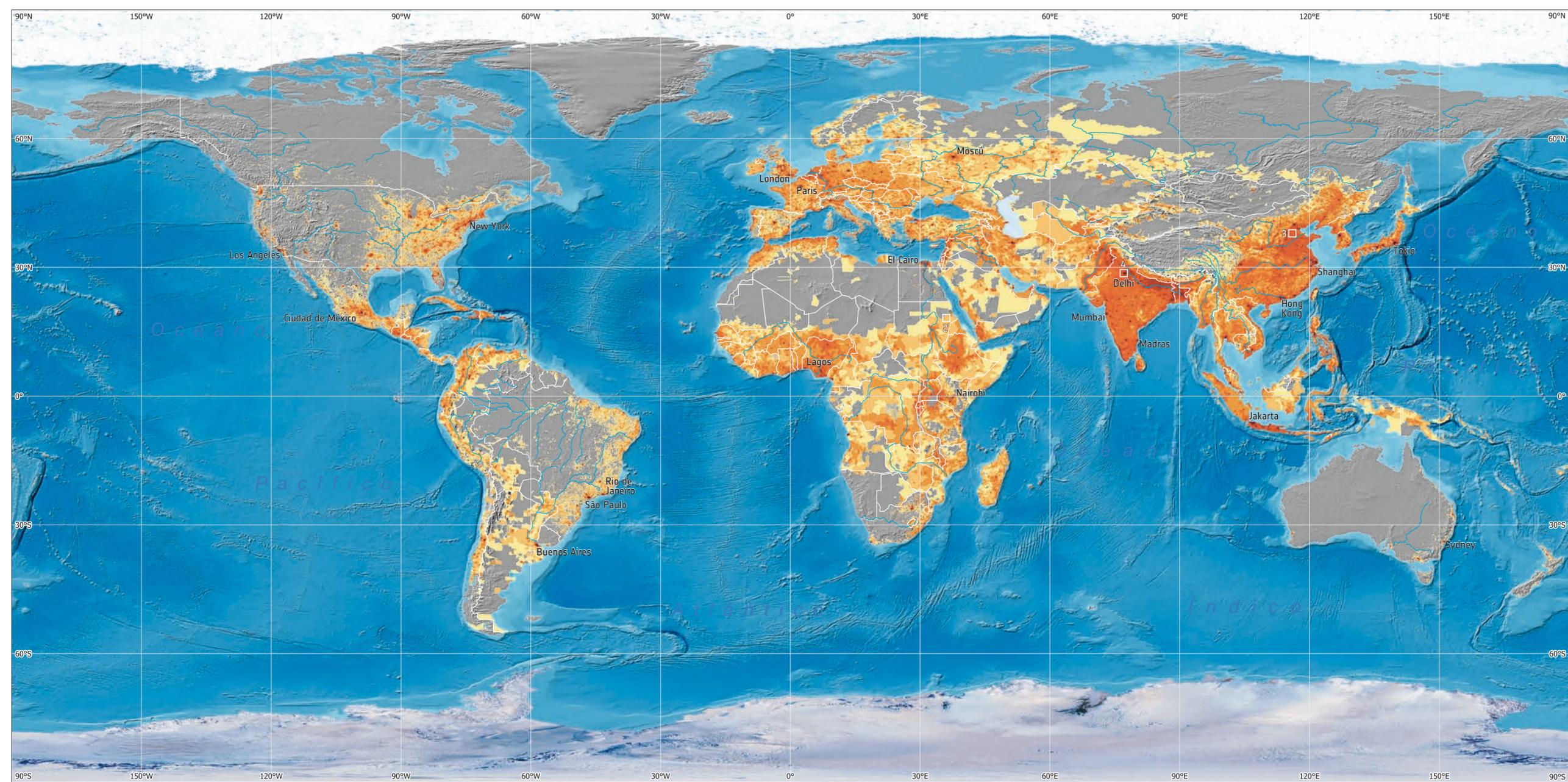


10. Vista de la llanura intermareal a lo largo de la costa de Bissago.

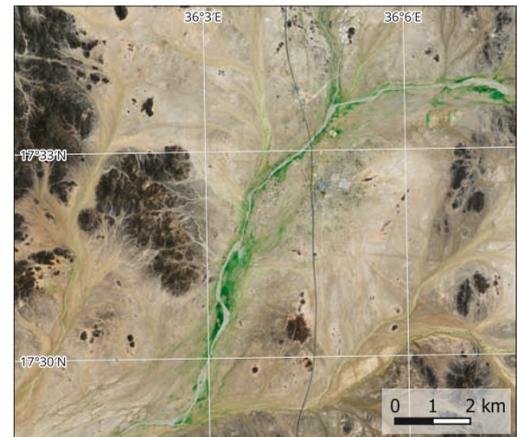
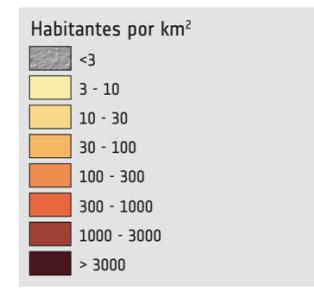
servación se centran en establecer zonas protegidas, restaurar los hábitats degradados e implicar a las comunidades locales en prácticas de gestión sostenible. Del mismo modo, los hábitats alpinos, con su biodiversidad y sus funciones de regulación del agua, están sometidos a la presión del cambio climático, el turismo y los cambios en el uso del suelo. Las iniciativas de conservación pretenden preservar estos ecosistemas promoviendo procedimientos económicos sostenibles.



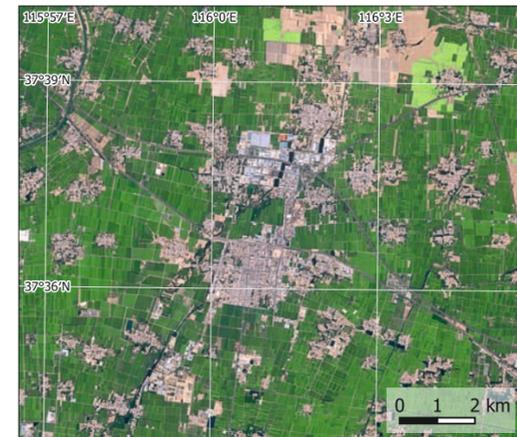
ANTROPOSFERA



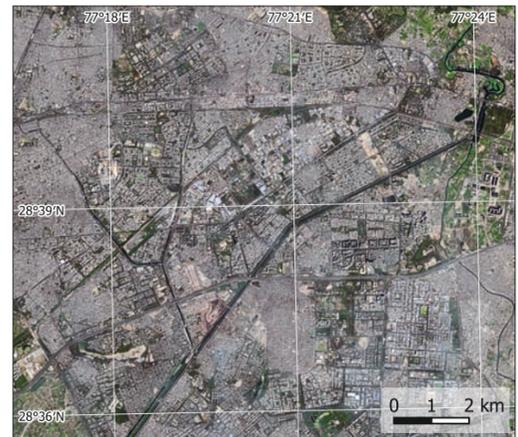
1. Densidad de población (Datos: Gridded Population of the World, 2020).



2. Derudeb, Sudán. Datos: Sentinel-2, 13/04/2024. Densidad de población 3-10 habitantes por km².



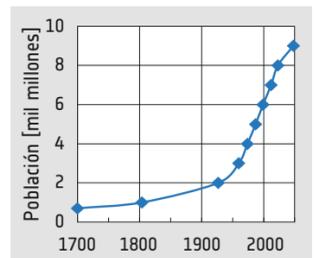
3. Longhuazhen, China. Datos: Sentinel-2, 18/04/2024. Densidad de población 100-300 habitantes por km².



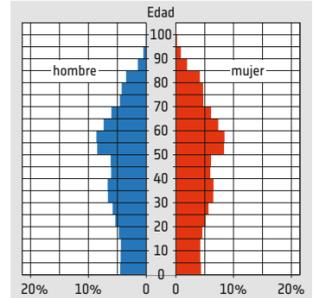
4. Delhi, India. Datos: Sentinel-2, 19/03/2024. Densidad de población > 3.000 habitantes por km².

Distribución y crecimiento de la población

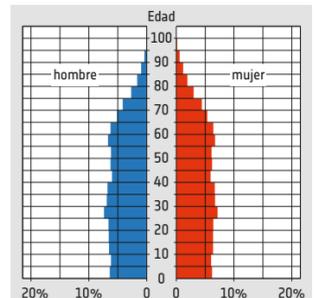
La población de la Tierra está distribuida de forma muy desigual. Grandes zonas del planeta apenas tienen habitantes, como los desiertos, las regiones polares y los bosques densos. Esto contrasta fuertemente con las regiones densamente pobladas del este de China, el delta del Ganges en la India y Europa occidental, por ejemplo. La población mundial ha experimentado un enorme aumento, especialmente en los últimos 100 años. Mientras muchas sociedades de la Tierra se estancan y envejecen, hay sociedades jóvenes que crecen rápidamente. La mayoría de los escenarios demográficos muestran que en las próximas décadas se alcanzará una cifra máxima de entre 10.000 y 11.000 millones de seres humanos.



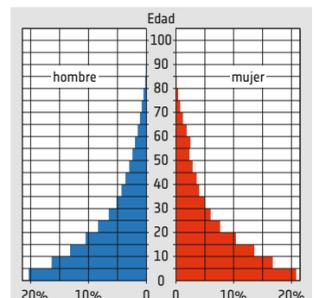
6. Evolución de la población mundial (en miles de millones) desde 1700. Los puntos marcan los años en los que se alcanzaron los mil millones.



5a. Pirámide de población, Alemania 2022.



5b. Pirámide de población, Estados Unidos de América 2021.

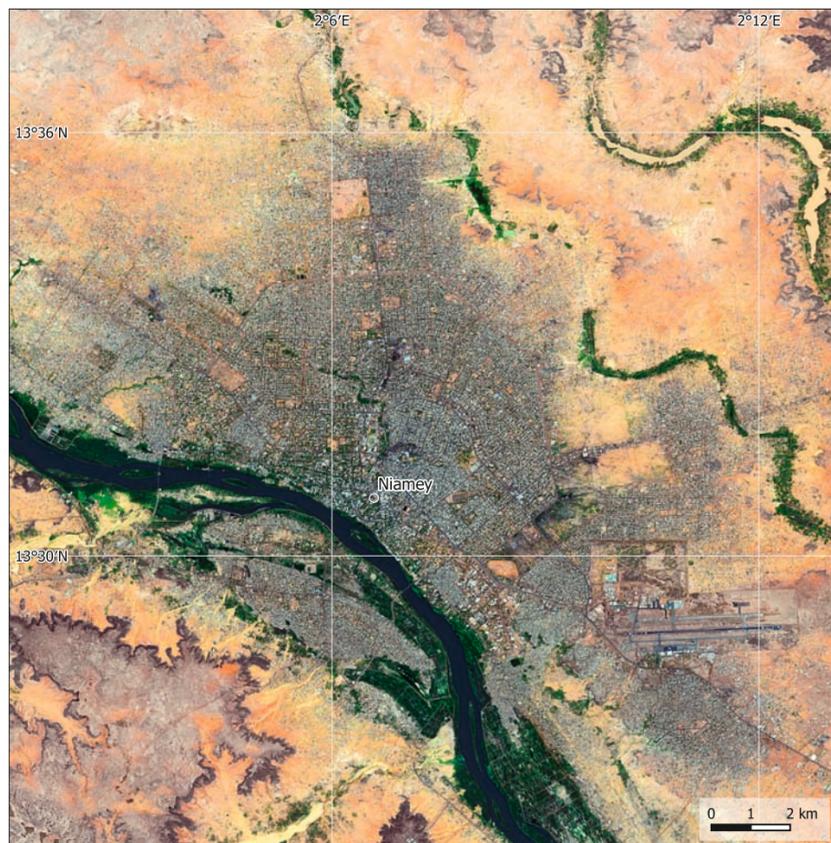


5c. Pirámide de población, Níger 2021.

ANTROPOSFERA



1. Niamey, Níger, en 1984. Datos: Landsat 4, 13/10/1984.

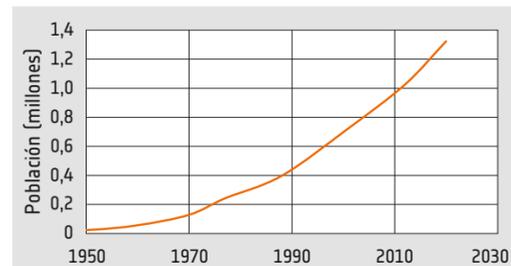


2. Niamey, Níger, en 2023. La superficie de la ciudad ha aumentado considerablemente, acompañada del desarrollo de grandes proyectos de infraestructura. Datos: Sentinel-2, 27/02/2023.

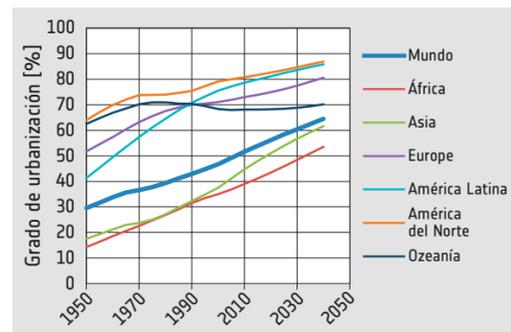
**Niamey, Níger**

Niamey, la capital de Níger, ha experimentado un notable desarrollo demográfico a lo largo de los años. Situada a orillas del río Níger, la ciudad ha crecido considerablemente desde que Níger obtuvo la independencia en 1960. A finales del siglo, se había convertido en una de las ciudades africanas de más rápido crecimiento.

Varios factores han contribuido al auge demográfico de Niamey, entre ellos la mejora de los servicios sanitarios y las oportunidades educativas. El factor más importante es la migración del campo a la ciudad. Estos factores han aumentado la población total de la ciudad y también han influido en la estructura por edades, con una media de 21 años. Esta población joven es un recurso para el desarrollo de la ciudad, ya que ofrece mano de obra y potencial para la innovación. Sin embargo, también presenta enormes retos en términos de oferta de educación, empleo y atención sanitaria.



3. Niamey. Evolución de las cifras de población desde 1900. Nótese el fuerte aumento a partir de mediados del siglo XX.



4. Registro y prospección de la evolución del grado de urbanización en distintas partes del mundo.



5. Puente de Niamey sobre el río Níger, una de las obras de infraestructura de la ciudad.

**Desarrollo urbano en China**

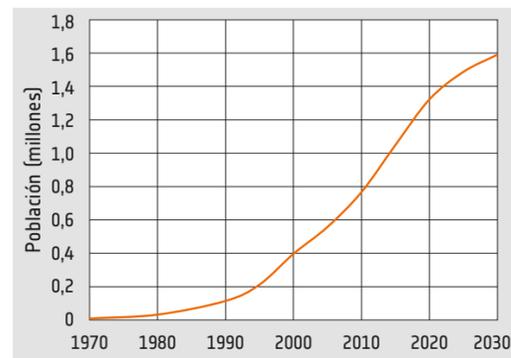
La ciudad de Suqian se encuentra en la provincia de Jiangsu, al este de China, y es un ejemplo típico del rápido desarrollo y crecimiento urbano de este país. Las raíces de Suqian se remontan a la antigüedad, cuando servía de centro de transporte a lo largo del Gran Canal, que conectaba el norte y el sur de China. Con el paso de los siglos, se convirtió en un centro regional de comercio.

En las últimas décadas, Suqian ha experimentado un auge económico, que se refleja en los cambios de uso del suelo visibles en las imágenes por satélite. El producto interior bruto (PIB) pasó de 1.000 millones de euros en el año 2000 a más de 30.000 millones en el año 2020. Este crecimiento se ha visto impulsado por las inversiones en industria, agricultura y tecnología, con un valor anual de las exportaciones superior a 20.000 millones de euros. La ubicación estratégica de la ciudad, sus excelentes infraestructuras y sus políticas favorables a la actividad empresarial han atraído a más de 10.000 empresas nacionales e internacionales.

Suqian se ha comprometido con el desarrollo sostenible y las iniciativas ecológicas, como la creación de más de 800 kilómetros cuadrados de cobertura forestal y la adopción de fuentes de energía renovables, con las que cubre el 30% de sus necesidades energéticas. Los esfuerzos de planificación urbana ya se han traducido en una reducción de los niveles de contaminación y en un aumento de los espacios verdes.



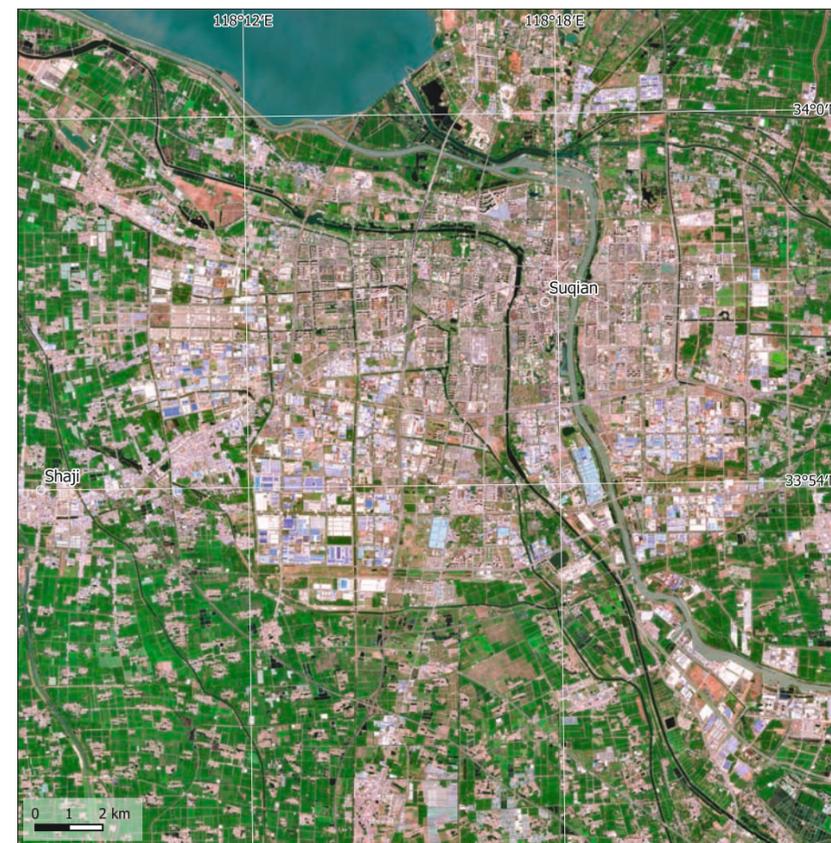
6. Vista de Suqian.



7. Suqian. Evolución de las cifras de población desde 1970. El rápido crecimiento comenzó con la apertura de China tras 1990.



8. Suqian, China, en 1987. Datos: Landsat 4, 21/04/1987.



9. Suqian, China, en 2023. Las zonas residenciales, comerciales e industriales han desplazado gran parte de las tierras agrícolas. Datos: Sentinel-2, 16/04/2023.



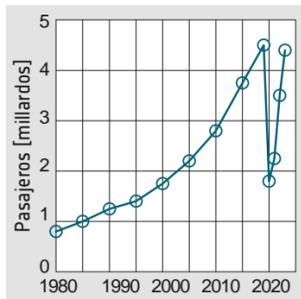
1. Mapa general de imagen de satélite del Bósforo y Estambul, Turquía. Datos: Sentinel-2, 23/07/2023.

**Nuevo aeropuerto de Estambul**

Inaugurado en 2019, el Nuevo Aeropuerto de Estambul se ha convertido rápidamente en el aeropuerto más transitado de Europa en términos de tráfico de pasajeros, con más de 64 millones de pasajeros en 2022. La construcción del Nuevo Aeropuerto de Estambul fue una enorme empresa financiera que costó más de 10.000 millones de euros.

El aeropuerto está diseñado para el largo plazo, con una capacidad potencial para atender a más de 200 millones de pasajeros al año una vez que alcance su pleno funcionamiento. Esto lo convierte en uno de los aeropuertos más transitados del mundo, destacando el papel de Estambul como importante centro mundial de viajes y comercio. Se espera que el Nuevo Aeropuerto de Estambul tenga una profunda influencia económica y contribuya sustancialmente al PIB de Turquía. Además, generará miles de oportunidades de empleo directo e indirecto.

El mapa por satélite muestra el enorme impacto que ha tenido en el paisaje. Situado a unos 30 kilómetros al noroeste del centro de la ciudad, el nuevo aeropuerto ha sustituido bosques y terrenos agrícolas en una superficie de casi 40 kilómetros cuadrados. Además, la red de carreteras que da servicio al aeropuerto se ha mejorado sustancialmente.



2. Durante las últimas décadas, el número mundial de pasajeros de avión ha experimentado un aumento significativo. Una breve interrupción de este desarrollo fue causada por la pandemia de Covid-19 de 2020/22.

3. Vista aérea del nuevo aeropuerto de Estambul Havalimani, mirando hacia el oeste.



4. Región al noroeste de Estambul, Turquía. Imagen de satélite en color verdadero que muestra los bosques y las tierras agrícolas antes de la construcción del nuevo aeropuerto. Datos: Landsat 5, 18/09/2010.



5. Obras de construcción del nuevo aeropuerto de Estambul en 2017. Imagen de satélite en color verdadero que destaca la extensión de las obras. Datos: Sentinel-2, 24/07/2017.



6. Aeropuerto de Estambul en 2023. Mapa de imagen de satélite en color verdadero. Datos: Sentinel-2, 23/07/2023.

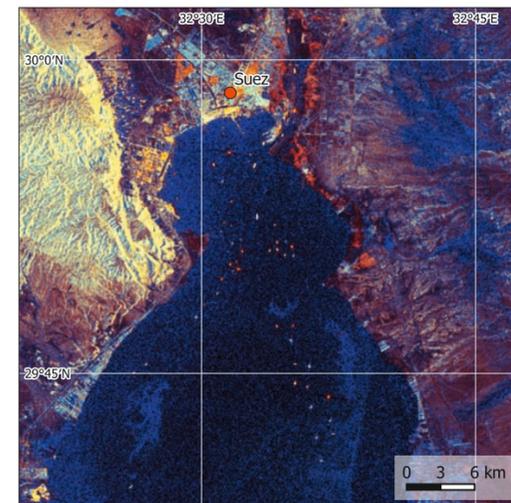
**Canal de Suez, Egipto**

El Canal de Suez es una vía navegable artificial que conecta el Mar Mediterráneo con el Mar Rojo. Inaugurado en 1869, el canal acortó drásticamente la ruta marítima entre Europa y Asia, lo que permitió a los barcos evitar el largo y peligroso viaje alrededor de África. Su ubicación estratégica lo ha convertido en un enlace vital entre Oriente y Occidente, contribuyendo significativamente al comercio mundial.

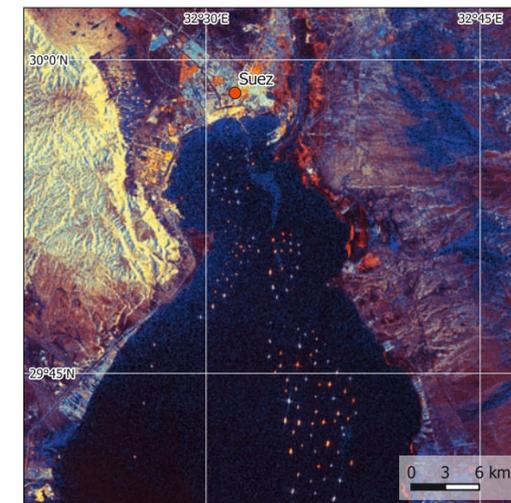
En marzo de 2021, el Ever Given, un portacontenedores de 400 metros de eslora y capaz de transportar más de 20.000 contenedores, encalló en la sección sur del canal debido a las adversas condiciones meteorológicas. Esto provocó el cierre temporal del canal, lo que causó una importante interrupción en las cadenas de suministro mundiales. Los satélites ópticos y de radar captaron el Ever Given, que bloqueaba todo el canal, y el atasco provocado por el accidente a los buques que esperaban en las entradas del canal.



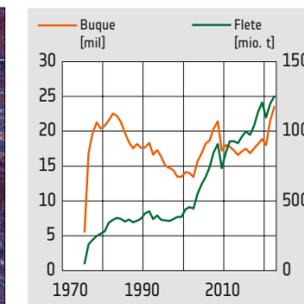
7. Suez, Egipto, con el extremo sur del Canal de Suez, el 29/03/2021. La imagen de satélite en color verdadero muestra el buque portacontenedores Ever Given atascado en el canal, bloqueando todo el tráfico. Datos: Sentinel-2.



8. Imagen radar de Suez con el extremo sur del Canal de Suez el 21/03/2021. La imagen muestra el tráfico normal a través del canal y sólo unos pocos buques en espera. Datos: Sentinel-1.



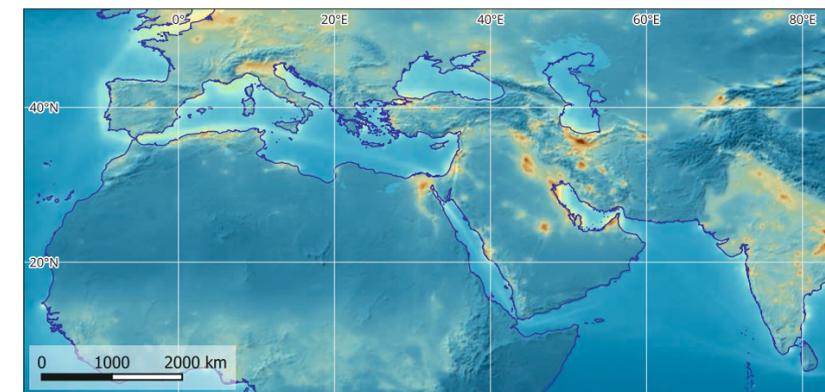
9. Imagen de radar de Suez con el extremo sur del Canal de Suez el 27/03/2021. Se ha producido un atasco debido al bloqueo del canal. Datos: Sentinel-1.



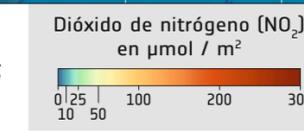
10. La creciente importancia del tráfico internacional se refleja en el desarrollo del transporte de mercancías a través del Canal de Suez. Al mismo tiempo, el número de buques que pasan por el canal ha cambiado mucho menos, porque se han utilizado buques más grandes.



11. El Ever Given, un portacontenedores de la naviera Evergreen. Con sus casi 400 metros de eslora, es uno de los mayores portacontenedores del mundo y puede transportar más de 20.000 contenedores estándar.



12. Concentración total en columna de NO<sub>2</sub> en la región mediterránea medida por el sensor TROPOMI a bordo de Sentinel-5P. El NO<sub>2</sub> es producido por los procesos de combustión en la industria y el tráfico. Los gases de combustión de los buques son visibles como una débil banda de NO<sub>2</sub> que rodea la Península Ibérica y continúa hasta el Canal de Suez.





1. Obras de construcción a lo largo del Río Xingu cerca de Altamira en 2015. Datos: Landsat 5, 15/07/2015.

### Energía hidroeléctrica — Presa de Belo Monte, Brasil

La central de Belo Monte, en el noroeste del estado brasileño de Pará, es una de las mayores centrales hidroeléctricas del mundo. Su construcción comenzó en 2011 y finalizó en 2019. La central utiliza el agua del río Xingu, un importante afluente del río Amazonas. La capacidad total instalada de más de 11.000 megavatios (MW) es suficiente para suministrar electricidad a más de 60 millones de personas. La central tiene 18 unidades generadoras, cada una con una capacidad de 611 MW.



5. Vista de la central de Belo Monte durante su construcción.

La construcción de la central de Belo Monte ha sido muy controvertida. Los ecologistas y los grupos indígenas han expresado su preocupación por el impacto de la central en el ecosistema local y en los medios de subsistencia de los indígenas de la zona. La construcción de la central supuso la inundación de una amplia zona de bosque y el desplazamiento de miles de personas. Además, el cambio del régimen hídrico ha afectado al ecosistema del río Xingu por debajo de la presa.

A pesar de estas preocupaciones, el gobierno brasileño ha defendido la construcción de la central de Belo Monte como necesaria para satisfacer las necesidades energéticas del país y promover el desarrollo económico. La central también se ha promovido como una forma de reducir la dependencia de Brasil de los combustibles fósiles y de ayudar a combatir el cambio climático.



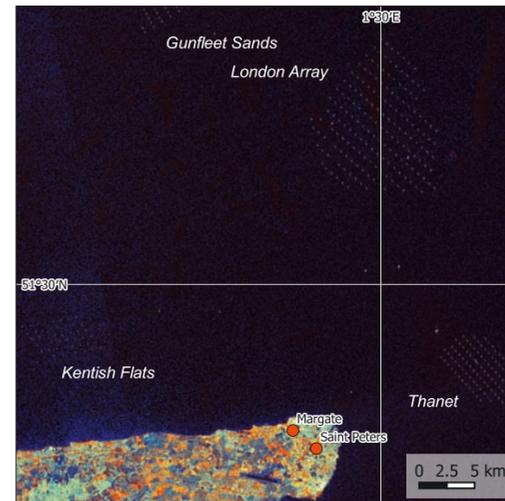
2. Río Xingu cerca de Altamira en 2011. Imagen de satélite en color verdadero que muestra los bosques y las tierras agrícolas antes de la construcción de la presa. Datos: Landsat 5, 27/07/2011.



3. Río Xingu cerca de Altamira tras la finalización de la presa. Imagen de satélite en color verdadero que muestra masas de agua, bosques y tierras agrícolas. Datos: Sentinel-2, 28/07/2017.



4. Río Xingu cerca de Altamira tras la finalización de la presa. La superposición muestra las nuevas superficies de agua (azul) y los cursos de agua caídos en seco (verde claro). Imagen de satélite en color verdadero. Datos: Sentinel-2, 28/07/2017.

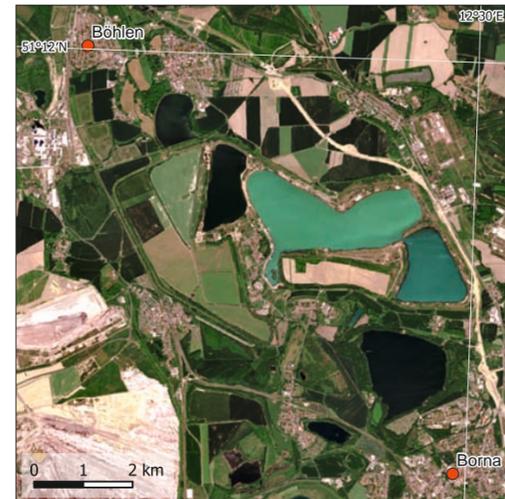


6. Imagen de radar de los parques eólicos en el estuario del Támesis. Datos: Sentinel-1, 02/03/2024.

### Aprovechar la energía eólica sobre el mar

El estuario del Támesis, situado en el sureste de Inglaterra, se ha convertido en un lugar destacado para la instalación de parques eólicos marinos. Estos parques eólicos aprovechan las fuertes y constantes corrientes de viento presentes en el estuario.

Su proximidad a zonas densamente pobladas como Londres garantiza una distribución eficaz de la electricidad generada, minimizando las pérdidas por transmisión. En segundo lugar, la ubicación en alta mar reduce la contaminación visual y acústica en comparación con los parques eólicos terrestres. Los parques eólicos marinos contribuyen a los objetivos de energías renovables, ayudando a reducir las emisiones de carbono y a combatir el cambio climático. El desarrollo de parques eólicos en el estuario del Támesis también plantea retos, entre ellos el impacto potencial sobre los ecosistemas marinos y los hábitats de la fauna.



9. La región al sur de la ciudad alemana de Leipzig ha sido escenario de una intensa explotación minera de lignito a cielo abierto. Partes de las antiguas zonas mineras se han reconvertido y transformado en zonas recreativas. Sentinel-2, 27/05/2017.



7. Imagen de satélite general del estuario del Támesis con sus parques eólicos marinos. Datos: Sentinel-2, 07/07/2023.

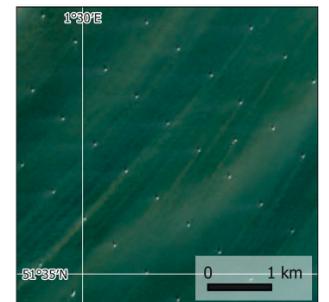
### Del lignito a la energía solar

Situado en el estado de Sajonia (Alemania), el parque solar cerca de Böhlen (Solarpark Böhlen) aprovecha la luz solar de la región para generar electricidad limpia y sostenible. Esta central solar, la mayor de su clase en Alemania, consta de paneles fotovoltaicos (FV) que convierten la luz solar directamente en energía eléctrica. La instalación ocupa unas 100 hectáreas de terreno y alberga más de 300.000 paneles fotovoltaicos. Con una capacidad total instalada de más de 100 megavatios (MW), esta instalación puede generar electricidad limpia suficiente para abastecer a más de 30.000 hogares al año.

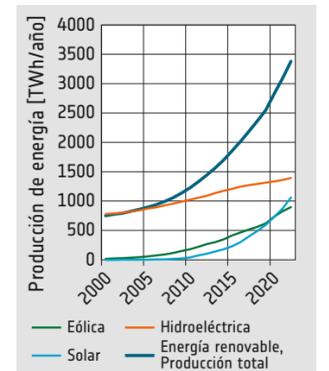
La instalación de la central solar cerca de Böhlen es sólo una pequeña parte de los ambiciosos objetivos de *Energiewende* (transición energética) de Alemania, cuyo objetivo es abandonar los combustibles fósiles en favor de las fuentes renovables.



10. Una parte de la zona de una antigua mina de lignito alberga ahora una central de energía solar (Solarpark Böhlen), otras partes se utilizan como zonas recreativas. Datos: Sentinel-2, 28/01/2024.



8. Detalle de la imagen Sentinel-2 del parque eólico London Array. Las corrientes de marea remueven los sedimentos.



11. La producción mundial de energía eléctrica a partir de fuentes renovables, especialmente de energía eólica y solar, está creciendo rápidamente.

## GLOSARIO

**A**

**Absorción** — Proceso por el cual la energía radiante es retenida por una sustancia.

**Acimut** — La dirección, en grados referidos al norte verdadero, a la que debe apuntar una antena para recibir la señal de un satélite. La distancia angular se mide en el sentido de las agujas del reloj.

**Aerosol** — Coloide de partículas sólidas o líquidas suspendidas en un gas (por ejemplo, humo, niebla).

**Agua dulce** — Agua líquida o congelada que contiene bajas concentraciones de sales y otros sólidos disueltos.

**Albedo** — Relación entre la radiación solar saliente reflejada por un objeto y la radiación solar entrante que incide sobre él.

**Altimetro** — Instrumento activo utilizado para medir la altitud de un satélite por encima de un nivel fijo. Junto con el conocimiento exacto de la órbita, permite determinar la topografía.

**Amplitud** — Magnitud del desplazamiento de una onda con respecto a un valor medio. Para una onda armónica simple, es el desplazamiento máximo con respecto a la media.

**Ancho de banda** — Rango total de frecuencias necesario para hacer pasar una señal modulada específica sin distorsión ni pérdida de datos.

**Apogeo** — Punto de la órbita elíptica de un satélite en el que su distancia a la Tierra es máxima.

**Ariane** — Vehículos de lanzamiento desarrollados para la ESA por una filial de la European Aeronautic Defence and Space Company (EADS) y lanzados desde el Centro Espacial de Kourou, en la Guayana Francesa.

**Árido** — Seco. Subtipo de clima en el que hay un gran exceso de evaporación con respecto a las precipitaciones.

**ASAR** (*Advanced Synthetic Aperture Radar*) — sensor radar del satélite ENVISAT que opera en banda C.

**ASTER** (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) — Instrumento de formación de imágenes instalado en el satélite Terra de la NASA. ASTER se utiliza para obtener mapas detallados de la temperatura, emisividad, reflectancia y elevación de la superficie terrestre.

**Atenuación** — Disminución de la potencia de una señal en transmisión. La atenuación puede expresarse en decibelios y puede estar causada por interferencias como la lluvia, las nubes o las señales de radiofrecuencia.

**AVHRR** (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) — Instrumento de barrido de cinco canales que mide cuantitativamente la radiación electromagnética en los satélites medioambientales de la NOAA. Determina la cobertura

de nubes y la temperatura de la superficie. Los detectores visibles e infrarrojos observan la vegetación, las nubes, los lagos, las costas, la nieve y el hielo.

**B**

**Balance de radiación** — Medida de las entradas y salidas de energía radiativa en relación con un sistema, como la Tierra.

**Banda** — Región del espectro electromagnético a la que responde un sensor remoto; un sensor multispectral realiza mediciones en varias bandas espectrales.

**Banda C** — Parte del espectro electromagnético de microondas comprendida entre 500 MHz y 1000 MHz.

**Banda espectral** — Segmento finito de longitudes de onda en el espectro electromagnético.

**Banda Ku** — Banda de radar y microondas en la que las longitudes de onda varían entre 1,67 y 2,4 cm.

**Banda S** — Gama de frecuencias de 4 a 2 GHz (7 a 20 cm de longitud de onda) dentro de la porción de microondas (radar) del espectro electromagnético. Los radares de banda S se utilizan para aplicaciones meteorológicas de alcance medio, por ejemplo, mediciones de precipitaciones.

**Banda X** — Banda de frecuencia de radar entre 12,5 y 8 GHz (longitud de onda 2,4-3,75 cm).

**Batimetría** — Cartografía de la topografía del fondo oceánico.

**Biodiversidad** — diversidad biológica, variedad de todos los seres vivos y sus interacciones en una zona.

**Biomasa** — ecología: masa total de organismos biológicos vivos en una zona o ecosistema determinado; producción de energía: masa biológica utilizada como fuente de energía renovable.

**Biomass** — Parte de la misión Earth Explorer de la ESA, creada para observar y analizar los bosques del mundo mediante tecnología de radar.

**C**

**Calibración** — Acto de comparar la precisión de medición de un instrumento con un patrón conocido.

**Cambio climático** — Cambios a largo plazo de las temperaturas y los patrones meteorológicos debidos a efectos naturales o provocados por el hombre.

**Campo de visión** — Rango de ángulos que son escaneados o detectados por un sistema o instrumento, medido en grados de arco.

**Carga útil** — Los instrumentos que se alojan en una nave espacial.

**Clorofila** — Molécula de las plantas verdes que

les da su color. Permite a las plantas absorber energía del sol cuando realizan el proceso de fotosíntesis.

**Cobertura terrestre** — Características de una superficie terrestre determinadas por su firma espectral (la forma única en que un determinado tipo de cobertura terrestre refleja y absorbe la luz).

**Color oceánico** — Capacidad del fitoplancton de aparecer en diferentes colores en determinadas bandas del espectro electromagnético debido a sus concentraciones de clorofila.

**Constante solar** — Constante que expresa la cantidad de radiación solar que llega a la Tierra procedente del sol, aproximadamente 1370 W/m².

**Contaminante** — Sustancia que contamina algo, especialmente el agua, la atmósfera o el suelo.

**Copernicus** — antiguo nombre de GMES (Vigilancia Mundial del Medio Ambiente y la Seguridad), el programa de observación de la Tierra Copernicus de la UE.

**CryoSat** — Satélite de investigación de la ESA que cartografía la criosfera terrestre y recoge datos, en particular, sobre el volumen de las capas de hielo del Ártico y el Antártico (desde 2010).

**D**

**Dedclinación** — Distancia angular entre el ecuador y el satélite.

**Degradación** — Disminución del valor de un entorno biofísico debido a procesos inducidos por el hombre.

**Delta** — Desembocadura de un río de forma triangular formada por los sedimentos arrastrados por el río.

**Demografía** — Estudio estadístico de las poblaciones humanas (tamaño, composición étnica, edades) y de sus cambios.

**Dispersión** — Proceso por el cual la radiación electromagnética interactúa con las moléculas de la atmósfera, el océano o la superficie terrestre y es redirigida por ellas.

**Diurno** — En un ciclo diario.

**DMSP** (Defense Meteorological Satellite Program, Programa de Satélites Meteorológicos de Defensa) — Programa de satélites meteorológicos de las Fuerzas Aéreas de EE.UU. con satélites que giran en órbita sincronizada con el Sol. Las imágenes se recogen en la banda del visible al infrarrojo cercano (0,4 a 1,1 µm) y en la banda del infrarrojo térmico (alrededor de 8 a 13 µm) con una resolución de unos 3 km.

**E**

**EAC** — Centro Europeo de Astronautas, Colonia; instalación central de la ESA para la formación de astronautas.

**Earth Explorer** — Misión de la ESA y parte del Programa Planeta Vivo, que comprende las misiones de satélites que proporcionan nuevos datos de observación de la Tierra.

**EarthCARE** — Misión espacial programada para investigar los aerosoles y las nubes y su impacto en la radiación de la atmósfera terrestre, como parte del Programa Planeta Vivo de la ESA. Fecha de lanzamiento: 2024.

**Ecuatorial** — Región cercana al ecuador.

**Emisividad** — Relación entre la radiación emitida por una superficie y la emitida por un cuerpo negro a la misma temperatura.

**Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)** — Radiómetro de barrido multispectral de ocho bandas a bordo del satélite Landsat 7 que proporciona información de imágenes de alta resolución de la superficie terrestre.

**Envisat** (*Environmental Satellite*) — Misión de satélites medioambientales, 2002-2012; gran plataforma de seguimiento de los cambios medioambientales en la Tierra y en la atmósfera, misión científica para estudiar las aplicaciones de la observación de la Tierra.

**Erosión** — Procesos superficiales (por ejemplo, el flujo de agua o el viento) que remueven suelo, roca o material disuelto de la corteza terrestre y lo transportan a otro lugar donde se deposita.

**ERS** (*European Remote Sensing Satellite*) — dos satélites radar operados por la ESA, 1991-2011, precursores de Sentinel-1.

**ESA** — Agencia Espacial Europea

**Multispectral Scanner (MSS)** — Instrumento de barrido lineal de los satélites Landsat que escanea continuamente la Tierra en una franja de 185 km. En Landsat 1, 2, 4 y 5, el MSS tenía cuatro bandas espectrales en el visible y el infrarrojo cercano con un IFOV de 80 metros. Landsat-3 tenía una quinta banda en el infrarrojo térmico con un IFOV de 240 metros.

**Escena** — Espacio objeto iluminado por un sensor.

**Escorrentía** — Evacuación de agua o sustancias transportadas por ella desde la superficie de una zona.

**ESOC** — Centro Europeo de Operaciones Espaciales

**Esparcidómetro** — Instrumento de radar de alta frecuencia que transmite impulsos de energía hacia el océano y mide la retrodispersión de la superficie oceánica. Detecta la velocidad y dirección del viento sobre los océanos analizando la retrodispersión de las pequeñas ondulaciones inducidas por el viento en la superficie del agua.

**Espectro electromagnético** — Toda la gama de energías radiantes o frecuencias de onda, desde las longitudes de onda más largas a

las más cortas. El espectro suele dividirse en siete secciones: radiación de radio, microondas, infrarrojos, visible, ultravioleta, rayos X y rayos gamma.

**ESRIN** — Instituto Europeo de Investigación Espacial.

**ESTEC** — Centro Europeo de Investigación y Tecnología Espaciales.

**Excentricidad** *e* — Describe la forma de una órbita. La órbita de un satélite es una elipse, y la excentricidad define la forma de la elipse. Cuando e=0, la elipse es un círculo. Cuando e está muy cerca de 1, la elipse es muy larga y delgada.

**Extensiva (agricultura)** — Sistema de producción agrícola que utiliza pequeños insumos de mano de obra, fertilizantes y capital, y produce una pequeña producción en relación con la superficie de tierra cultivada.

**F**

**Falso color** — Proceso de imagen en color que produce una imagen de un color que no se corresponde con el color verdadero o natural de la escena (tal como la ven nuestros ojos).

**Firma espectral** — Se refiere a la forma particular evocada por el espectro de potencia calculado a partir de los datos que comprenden las series temporales de un proceso.

**Fitoplancton** — Componentes vegetales de la comunidad planctónica que forman una parte fundamental de los ecosistemas oceánicos y de agua dulce.

**Fluvial** — Relativo a los ríos.

**Fracción de radiación fotosintéticamente activa (FPAR)** — Radiación entre 400 y 700 nm utilizada por el dosel verde en el proceso fotosintético.

**Frecuencia** *f* — Número de ciclos y partes de ciclos completados por segundo; *f* = 1/*T*, donde *T* es la duración de un cido en segundos.

**G**

**Galileo** — Sistema europeo de navegación por satélite, compuesto por 30 satélites en 3 órbitas.

**Gas de efecto invernadero** — Sustancias gaseosas en la atmósfera que afectan a la radiación y contribuyen al calentamiento de la atmósfera terrestre, conocido como efecto invernadero.

**Geocodificación** — Elemento de la georreferenciación en el que los datos sin georreferencia se traducen al sistema de referencia deseado.

**Geostacionario** — Describe una órbita en la que un satélite está siempre en la misma posición con respecto a la Tierra en rotación. El satélite viaja alrededor de la Tierra en la misma dirección, a una altitud aproximada de 35.790 km porque eso produce un período orbital igual al período de rotación de la Tierra. Se utiliza

para los satélites meteorológicos y la mayoría de los satélites comerciales de telecomunicaciones.

**Geomorfología** — estudio del origen y la evolución de las características topográficas y batimétricas generadas por procesos que operan en la superficie terrestre o cerca de ella.

**Geosíncrono** — Sincrónico con respecto a la rotación de la Tierra.

**GOES** (*Geostationary Operational Environmental Satellite, Satélite Geoestacionario Operacional Medioambiental*) — Observa Estados Unidos y las zonas oceánicas adyacentes desde puntos situados a 35.790 km sobre el ecuador, a 75 grados oeste y 135 grados oeste. Los satélites GOES tienen una órbita ecuatorial, sincronizada con la Tierra, con un período de 24 horas, una resolución visible de 1 km y una resolución IR de 4 km.

**GOME** (*Global Ozone Monitoring Experiment*) — Instrumento a bordo del ERS.

**GPS** (*Global Positioning System*) — Sistema formado por 25 satélites en 6 planos orbitales a 20.000 km de altitud con períodos de 12 horas, utilizado para proporcionar información muy precisa sobre posición, velocidad y tiempo.

**I**

**Inclinación** — La inclinación es el ángulo entre la órbita de un satélite y el ecuador.

**Indígena** — Grupo de personas nativas de una región específica.

**Infrarrojo cercano (NIR, near infrared)** — Radiación electromagnética con longitudes de onda desde un poco más largas que el visible (unos 0,7 µm) hasta unos 2 µm.

**Infrarrojo lejano (FIR, far infrared)** — Radiación electromagnética, más larga que el infrarrojo térmico, con longitudes de onda comprendidas entre unos 25 y 1.000 micrómetros.

**Infrarrojo medio (MIR)** — Radiación electromagnética entre el infrarrojo cercano y el infrarrojo térmico, de unos 2-5 µm.

**Infrarrojo térmico (TIR)** — Radiación electromagnética con longitudes de onda entre 3 y 25 µm.

**Interferometría** — método de análisis de datos que aprovecha la diferencia de fase entre dos haces ópticos; se utiliza, por ejemplo, para deducir diferencias o cambios de elevación.

**Interferometría de radar** — Estudio de los patrones de interferencia causados por las señales de radar; técnica que permite a los científicos generar imágenes tridimensionales de la superficie terrestre.

**ISS** (*International Space Station*) — Estación Espacial Internacional, proyecto conjunto de 16 países concebido como laboratorio científico en el espacio.

## GLOSARIO

**L**

**Landsat** — Satélite de teledetección terrestre, operado por la empresa estadounidense Earth Observation Satellite Company (EOSAT). Comercializado en virtud de la Ley de Comercialización de la Teledetección Terrestre de 1984, Landsat es una serie de satélites (anteriormente denominados ERTS) diseñados para recopilar datos sobre los recursos de la Tierra de forma regular y sistemática.

**Luz visible** — Parte del espectro electromagnético visible para el ojo humano (0,4 µm a 0,7 µm).

**M**

**Mapa de imágenes de satélite** — Mapa creado a partir de datos de imágenes de satélite.

**MERIS** (*Medium Resolution Imaging Spectrometer*) — Instrumento a bordo de Envisat para la observación del océano y de la vegetación.

**METEOSAT** (*METEOrological SATellite*) — Satélite meteorológico geostacionario europeo, lanzado por la Agencia Espacial Europea y operado por Eumetsat.

**Microondas** — Radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre unos 1000 µm y 1 m.

**Modelo climático** — Modelo informático para calcular y proyectar el clima durante un periodo determinado.

**Modelo digital de elevación (MDE)** — Representación de la topografía de la Tierra en formato digital, es decir, mediante coordenadas y descripciones numéricas de la altitud.

**MODIS** (*Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer*) — Espectrorradiómetro de imágenes de resolución moderad. Sensor que vuela a bordo de Terra y observa toda la superficie de la Tierra cada 1-2 días, realizando observaciones en 36 bandas espectrales, con una resolución moderada (0,25 — 1 km), de la temperatura de la superficie terrestre y oceánica, la productividad primaria, la cobertura de la superficie terrestre, las nubes, los aerosoles, el vapor de agua, los perfiles de temperatura y los incendios.

**Multiespectral** — Comprende datos de diferentes bandas espectrales.

**Multitemporal** — Comprende datos de diferentes puntos en el tiempo.

**N**

**NASA** (*National Aeronautics and Space Administration*) — La NASA, creada en 1958 con sede en Washington D.C., es la agencia responsable del programa espacial público de los Estados Unidos. Su misión es planificar, dirigir y realizar actividades aeronáuticas y espaciales.

**NDVI** (*Normalised Difference Vegetation Index*) — Índice de vegetación de diferencia normalizada. Modelo para convertir mediciones basadas en satélites en tipos de vegetación de superficie. Para ello, el NDVI utiliza una com-

pleja relación de reflectancia en las porciones roja y cercana al infrarrojo del espectro. Es una cantidad que mide el verdor y el vigor de la vegetación.

**NOAA** (*National Oceanic and Atmospheric Administration*) — La NOAA se creó en 1970 dentro del Departamento de Comercio de Estados Unidos. Se centra en las condiciones de los océanos y la atmósfera. La NOAA tiene dos componentes principales: el Servicio Meteorológico Nacional (NWS) y el Servicio Nacional de Información, Datos y Satélites Medioambientales (NESDIS).

**O**

**Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)** — Llamamiento a la acción adoptado por las Naciones Unidas en 2015 para proteger el planeta y mejorar la vida y las perspectivas de la humanidad.

**OLI (Operational Land Imager)** — sensor de imágenes multispectrales a bordo de Landsat 8 y 9.

**Onda** — Cambios móviles de un parámetro, periódicos en el espacio y en el tiempo; por ejemplo, la radiación electromagnética.

**Órbita** — Trayectoria descrita por un cuerpo celeste en su revolución periódica. Las órbitas de los satélites terrestres con inclinaciones cercanas a 0º se denominan órbitas ecuatoriales porque el satélite permanece casi sobre el ecuador. Las órbitas con inclinaciones cercanas a 90º se denominan órbitas polares porque el satélite cruza casi sobre los polos norte y sur.

**Órbita elíptica** — Los cuerpos en el espacio orbitan en órbitas elípticas en lugar de circulares debido a factores como la gravedad y la resistencia. El punto en el que el satélite en órbita está más cerca de la Tierra es el perigeo, el punto en el que el satélite está más lejos de la Tierra se llama apogeo.

**Órbita polar** — Órbita con una inclinación orbital cercana a los 90º en la que la trayectoria terrestre del satélite cruzará ambas regiones polares una vez durante cada órbita.

**P**

**Panromático** — Sensible a la totalidad o a la mayor parte del espectro visible.

**Perigeo** — En una órbita elíptica, punto en el que el satélite se encuentra más cerca de la Tierra.

**Periodo** — Tiempo necesario para que un satélite realice una órbita completa.

**Pixel** — "Elemento de imagen", superficie correspondiente a un solo elemento de un conjunto de datos de imagen digital.

**Plano orbital** — Plano plano gigante imaginario que contiene la órbita de un satélite terrestre. El plano orbital pasa por el centro de la Tierra.

**Plataforma** — Satélite que puede transportar

## GLOSARIO

instrumentos.

**Precipitación** — Agua que cae de la atmósfera al suelo en forma líquida (lluvia) o sólida (nieve, granizo).

**PROBA** (*Project for On-Board Autonomy*) — Sa-télite de demostración tecnológica a pequeña escala de la ESA, portador de varios instrumen-tos de observación de la Tierra con resoluciones en tierra de hasta 20 m (CHRIS, multispectral) y 5 m (HRV, pancromático).

**Producto interior bruto (PIB)** — Valor moneta-rio de los bienes y servicios finales produci-dos en un país en un periodo de tiempo deter-minado (por ejemplo, un año), una medida del poder económico de un país.

**Punto caliente** — Zona del manto terrestre desde la que se elevan penachos calientes que forman volcanes en la corteza suprayacente.

**R**

**Radiación** — Transferencia de energía en forma de ondas o partículas electromagnéticas que liberan energía cuando son absorbidas por un objeto.

**Radiación de onda corta** — La radiación re-cibida del sol y emitida en las longitudes de onda espectrales inferiores a 4 µm. También se denomina radiación solar.

**Radiación electromagnética** — Energía pro-pagada como campos eléctricos y magnéticos variables en el tiempo a la velocidad de la luz. La luz y el radar son ejemplos de radiación electromagnética que sólo se diferencian por su longitud de onda (o frecuencia).

**Radiación infrarroja (IR)** — El infrarrojo es la radiación electromagnética con longitudes de onda de aproximadamente 0,7 a 1000 µm (en-tre la radiación visible y la de microondas), sub-dividida en visible e infrarrojo cercano, infrarrojo medio e infrarrojo lejano.

**Radiación solar** — Energía recibida del sol. La energía se presenta en muchas formas, como la luz visible. Otras formas de radiación son las ondas de radio, los infrarrojos, las ondas ultra-violetas y los rayos X.

**Radiación terrestre** — La radiación infrarroja total emitida por la Tierra y su atmósfera en el rango de temperaturas de aproximadamente 200-300 K.

**Radiación ultravioleta (UV)** — Parte del es-pectro electromagnético con longitudes de onda por debajo de la región violeta; contiene alrededor del 5% de la energía irradiada por el Sol y es la principal fuente de energía en la estratosfera y en la mesosfera.

**Radiómetro pasivo de microondas** — Sistema que detecta únicamente la radiación de micro-ondas emitida por el objeto observado o re-flejada por el objeto desde una fuente distinta del sistema.

**Rayos gamma** — Radiación electromagnética

de alta energía, especialmente la emitida por un núcleo en una transición entre dos niveles de energía.

**Reflectancia** — Proporción de radiación elec-tromagnética irradiada reflejada por una su-perficie.

**Reflexión** — Retorno de ondas luminosas o sonoras desde una superficie. Si una superficie reflectante es plana, el ángulo de reflexión de un rayo de luz es el mismo que el ángulo de incidencia.

**Resolución** — En el caso de las imágenes, describe el área representada por cada píxel de una imagen. Cuanto menor sea el área repre-sentada por un píxel, más precisa y detallada será la imagen.

**Resolución terrestre** — Describe la longitud del lado de un único píxel cuadrado en una imá-gen. Cuanto menor es este valor, más precisa y detallada es la imagen.

**Retrodispersión** — Proceso por el cual hasta el 25% de la energía radiante del sol es re-flejada o dispersada lejos de la superficie por las nubes.

**S**

**Salinidad** — Contenido en sal del agua (oceá-nica) o del suelo.

**Salinización** — Aumento de la concentración de sal en los suelos, lo que reduce su fertilidad.

**SAR** (*Synthetic Aperture Radar*) — Técnica de cartografía terrestre de alta resolución que sintetiza eficazmente una gran antena recep-tora procesando la fase del retorno del radar reflejado.

**Satélite** — Objeto en vuelo libre que orbita al-redeedor de la Tierra, de otro planeta o del Sol.

**Satélite de observación de la Tierra** — Sa-télite que observa la Tierra desde el espacio.

**Satélite meteorológico** — Satélite de obser-vación de la Tierra que observa los procesos meteorológicos.

**Saturación** — Estado de un sistema, como una solución, que contiene la mayor cantidad posi-ble de otra sustancia, como un soluto, a una temperatura determinada.

**Sedimentación** — Deposición de sedimentos como arena o limo transportados por el agua, el viento o los glaciares.

**Sensor** — Dispositivo que produce un resul-tado en respuesta a una radiación incidente. Los sensores a bordo de satélites obtienen información sobre características y objetos de la Tierra detectando la radiación reflejada o emitida en diferentes bandas del espectro electromagnético.

**Sentinel** — Serie de satélites de observación de la Tierra bajo la responsabilidad de la ESA en el marco del programa Copernicus.

**Síncrona solar** — Una órbita síncrona solar es una órbita casi polar. Cada vez que cruza el Ecuador, lo hace a la misma hora local.

**Sistema activo (sensor activo)** — Sistema de teledetección que transmite su propia radiación para detectar un objeto o zona de observación y recibe la radiación reflejada o transmitida. Ejemplo: Radar.

**Sistema de Información Geográfica (SIG)** — Sistema para archivar, recuperar y manipu-lar datos almacenados e indexados según las coordenadas geográficas de sus elementos. Por lo general, el sistema puede utilizar diversos tipos de datos, como imágenes, mapas, tablas, etc.

**Sistema pasivo** — Sistema que detecta úni-camente la radiación emitida por el objeto que está siendo visualizado o reflejada por el objeto desde una fuente distinta del sistema.

**SMOS** (*Sail Moisture and Ocean Salinity Mis-sion*) — la segunda misión Earth Explorer Op-portunity de la ESA destinada a recopilar datos de observación global para la modelización del tiempo, el clima y las corrientes oceánicas.

**Sostenibilidad** — Satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer las suyas.

**SPOT** (*Systeme Pour l’Observation de la Terre*) — Satélites franceses de observación de la Tie-rra en órbita polar con una resolución terrestre de 5 m. Las imágenes SPOT están disponibles comercialmente y se destinan a fines como la investigación y el seguimiento medioambienta-les o la gestión ecológica.

**SRTM** (*Shuttle Radar Topography Mission*) — Misión del transbordador espacial que utilizó radares interferométricos de apertura sintética (IFSAR) de banda C y banda X para adquirir datos topográficos sobre el 80% de la masa terrestre de la Tierra (entre 60°N y 56°S) en febrero de 2000.

**Suelo** — medio biológicamente activo que cu-bre la capa superior de la corteza terrestre.

**Swarm** — Misión Earth Explorer de la ESA, para observar el campo magnético de la Tierra.

**Swath** — Zona observada por un satélite mien-tras orbita alrededor de la Tierra.

**T**

**Tasa de repetición (periodo orbital)** — Tiem-po para que un satélite complete una órbita.

**Tectónico** — Relacionado con los procesos que dan lugar a la estructura y propiedades de la corteza terrestre y su evolución a lo largo del tiempo.

**Teledetección** — Tecnología de adquisición de datos e información sobre un objeto o fe-nómeno mediante un dispositivo sin contacto físico. La teledetección terrestre se refiere a la recopilación de información sobre la Tierra y su

entorno a distancia.

**Temperatura de la superficie del mar (TSM)** — Temperatura de la capa de agua de mar (aproximadamente 0,5 m de profundidad) cer-cana a la superficie.

**Thematic Mapper (TM)** — Sensor de imáge-nes multispectrales con 7 bandas espectrales a bordo de Landsat-4 y Landsat-5, que adque-re datos en las partes visible e infrarroja del es-pectro electromagnético. La resolución terrestre de las bandas visible e infrarroja de onda corta es de 30 m/píxel, la de la banda térmica de 120 m/píxel.

**Toxina** — Sustancia venenosa natural produci-da por células u organismos vivos, por ejemplo, las algas.

**Traza terrestre** — La inclinación de un satélite, junto con su altitud orbital y el periodo de su órbita, crea una traza definida por una línea imaginaria que une el satélite y el centro de la Tierra.

**TRMM** (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) — programa por satélite lanzado por la NASA y NASDA en 1997 para adquirir datos sobre las precipitaciones tropicales.

**U**

**Unidad Dobson (UD)** — unidad estándar para las cantidades de ozono en la atmósfera. Una UD equivale a 2,7 x 1016 moléculas de ozono por cm2 y se refiere a una capa de ozono que tendría 0,001 cm de espesor en condiciones de temperatura [0 °C] y presión estándar.

**Urbanización** — Aumento de la proporción de personas que viven en pueblos y ciudades de-bido al traslado de personas de zonas rurales a zonas urbanas.

**USGS** (*United States Geological Survey*) — ofi-cina estadounidense responsable de la adquisi-ción y distribución de geoinformación.

**Uso del suelo** — Las características de una su-perficie terrestre determinadas por su uso (la forma singular en que un determinado tipo de suelo es -o no es- explotado por el hombre).

**V**

**Vapor de agua** — Agua en estado gaseoso; en la atmósfera es el factor más importante del efecto invernadero natural.

**Ventanas atmosféricas** — Rango de longitu-des de onda en las que los gases atmosféricos sólo absorben ligeramente la radiación. Las ventanas atmosféricas permiten que la radiación de la Tierra escape al espacio a menos que las nubes absorban la radiación.

**VHR** (*Very High Resolution*) — datos de ob-servación de la Tierra con una resolución del terreno de 1 m o superior.

**VISSR** (*Visible/Infrared Spin Scan Radiomet-er*) — sistema de imágenes multispectrales de alta resolución, desplegado a bordo de los satélites meteorológicos GOES (hasta GOES-7).

**A**

A23a (iceberg tabular) 45
Abéché 60
Adís Abeba 25
Agricultura desértica 63
Agujero de ozono 55
Aitik (mina) 30
Alejandría 36
Al Fayyúm 36
Altamira 74
Amu Darya 38
Anchorage 46
Anomalías térmicas 49
Antártida 44
Archipiélago de Bissago 67
Ariane 11
Ashgabat 38
Asiut 36

**B**

Bahía Columbia 46
Bahía de Bohai 66
Bangkok 55
Belchatów 32
Boende 61
Böhlen 75
Bruselas 8
Buenos Aires 54, 68

**C**

Campo Novo de Rondônia 64
Canal de Suez 73
Cantanhez Forest, Parque nacional 67
Catania 28
Chengdu 55
Chicago 39, 54
Ciudad del Cabo 51
Ciudad de México 54, 68
Clorofila-a 58
Colonia 8, 9
Colorado (río) 27
Columbia Británica 65
Copenhague 15
Corriente Circumpolar Antártica 56, 57
Corriente de Agulhas 57
Corriente de Benguela 56
Corriente de Brasil 56
Corriente de California 56
Corriente de Guinea 56
Corriente de Humboldt 56
Corriente del Atlántico Norte 35, 56
Corriente del Golfo 35, 56
Corriente del Labrador 56
Corriente del Pacífico Norte 56
Corriente de Somalia 57
Corriente Ecuatorial del Norte 56, 57
Corriente Ecuatorial del Sur 56, 57
Cubierta del suelo 61
Cumbre Vieja 29

**D**

Dallas 39
Darmstadt 8, 9
Deepwater Horizon 39
Deforestación 64
Delhi 24, 55, 69
Delta del Misisipi 39
Delta del Nilo 36
Depresión de Tshka 37
Derudeb 68
Desierto Pintado 27
Detroit 54
Dhaka 55

**E**

El Cairo 36, 69
El Ejido 62
El Niño 34
El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) 35
ENOS 35
Escudo de Hielo de Groenlandia 43
Estación Espacial Internacional (ISS) 11
Estambul 72
Estrecho de Prince William 46
Estuario del Támesis 75
Etna 28

**F**

Fairbanks 46
Fitoplancton 58
Frascati 8, 9

**G**

Gällivare 30
Gdansk 58
Glaciar Aletsch 47
Glaciar Columbia 46
Golfo de México 39
Gran Cañón 27
Groenlandia 43
Grossglockner 67
Guangzhou 55
Guiza 36

**H**

Ha'il 63
Harwell 8, 9
Havalimani (aeropuerto Estambul) 72
Himalaya 25, 26
Hohe Tauern, Parque nacional 67
Hong Kong 55, 69
Houston 39
Hubble (telescopio espacial) 10

**I**

Iceberg A23a 45
Ilha de Orango 67
Incendio forestal 65
Industria petrolera 39
Innsbruck 51
In Salah 51
Islas Canarias 29

**J**

Jakarta 55, 69
Jakobshavn Isbrae 43
James Webb (telescopio espacial) 10
João Vieira, Parque nacional marino 67
Johannesburgo-Pretoria 54

**K**

Kabul 24
Karachi 55
Kiruna 8, 60
Kolkata 55
Kontish Flats parque eólico 75
Kourou 9
Kuro-Shio 57

**L**

Lago Nasser 37
Lagos 68
Lagos supraglaciales 43
Lahore 24
La Niña 34
La Palma 29
Litio 33

Liverpool 54
London 68, 75
London Array parque eólico 75
Longhuazhen 68
Los Angeles 54, 68

**M**

Madras 69
Madre de Dios 31
Malmö 15
Mar Báltico 58
Marchand 61
Mar de Aral 38
Mar de Plástico 62
Marino ártico 42
Melbourne 55
Meseta de Kaibab 27
Meseta del Colorado 27
Meseta tibetana 25, 26
Mesina 28
Milán 54
Mina de carbón 32
Mina de cobre 30
Mina de lignito 32
Minería de oro 31
Misisipi (río) 39
Mogadiscio 25
Moscú 54, 69
MOSE 41
Mumbai 54, 55, 69

**N**

Nairobi 25, 51, 69
New York 54, 68
Niamey 70
Niger (río) 70
Nilo (río) 36
Noordwijk 8, 9
Nueva Orleans 39
Nukus 38

**O**

Oya-Shio 57

**P**

Palermo 28, 51
París 8, 68
París 9
Pärnu 60
Parque Nacional 67
Pekín 55
Phoenix 39
Pirámide de población 69
Placa Africana 24, 25
Placa Amuria 25
Placa Antártica 24
Placa Arábiga 24
Placa Australiana 25
Placa de Cocos 24
Placa de Indochina 25
Placa de las Carolinas 25
Placa del Caribe 24
Placa del Pacífico 24, 25
Placa de Ojotsk 25
Placa de Sandwich 24
Placa Euroasiática 24, 25, 26
Placa Filipina 25
Placa India 26
Placa Índica 24, 25
Placa Norteamericana 24, 25
Placa Scotia 24
Placa Somalí 24, 25
Placa Sudamericana 24

## ÍNDICE GEOGRÁFICO

Plataforma de hielo Filchner-Ronne 45
Plattsmouth 40
Poilão, Parque nacional marino 67
Presa alta de Asuán 36
Presa de Belo Monte 74
Proyecto Tshka 37
Puerto Saíd 36
Punto caliente canario 29

**R**

Redu 8, 9
Región del Ruhr 54
Río de Janeiro 54, 68
Rondônia 64
Rosetta 37
Róterdam 54

**S**

Salar de Atacama 33
Samarcanda 38
Santiago 54
São Paulo 68
Seattle 54
Sentinel 15
Seúl 55
Shanghai 55, 69
Shenzhen 55
Sicilia 28
Siracusa 28
Spitsbergen 51
Suez 36, 73
Suqian 71
Sydney 55, 69
Syr Darya 38

**T**

Tazirbu 60
Teheran 54
Thanet parque eólico 75
Thessaloniki 60
Tianjin 55
Tokio 55, 69
Trípoli 28
Túnez 28
Türkmenabat 38

**U**

Uru-Eu-Uaw-Uaw [Territorio Indígena] 64
Uso del suelo 61

**V**

Valle del Rift de África Oriental 25
Valle Nuevo 37
Vastitas Borealis (cráter) 10
Vega 11
Velocidad del escudo de hielo 43
Venecia 41
Villafranca 8, 9
Volcanismo de puntos calientes 29

**W**

Whitehorse 46
Wuhan 55

**X**

Xingu (río) 74

**Y**

Yibuti 25

**Z**

Zona protegida 67

## FUENTES DE IMÁGENES Y DATOS

- 8.1:** ESA • **8.2** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **8.3, 9.4:** ESA • **9.5:** ESA - Harwell Campus • **9.6:** ESA • **9.7:** ESA - A. Van Der Geest • **9.8:** ESA • **9.9:** ESA - Philippe Sebirot • **9.10:** ESA - Stephane Corvaja • **9.11, 9.12, 10.1:** ESA • **10.2:** ESA/D. Ducros • **10.3:** ESA/DLR/FU Berlin (G. Neukum) • **10.4:** NASA, ESA, CSA, STScI, J. Diego (Instituto de Física de Cantabria, Spain), J. D'Silva (U. Western Australia), A. Koekemoer (STScI), J. Summers & R. Windhorst (ASU), and H. Yan (U. Missouri) • **10.5:** ESA/ATG medialab • **11.6:** ESA/CNES/Arianespace • **11.7:** ESA/David Ducros, Jacky Huart • **11.8, 12.1** [GOCE | Mosaic]: ESA • **12.2** [Aeolus | 06.05.2020]: ESA/ViRES • **12.3** [SMOS | 01.09.2023]: ESA CCI/Climate from Space • **12.4, 13.5, 13.6, 13.7, 14.1, 14.1, 14.1:** ESA • **14.2:** Copernicus • **15.7:** ESA/P. Carril • **15.3a:** ESA/ATG medialab • **15.3b** [Sentinel-1 | 06.02.2024]: Copernicus • **15.4a:** ESA • **15.4b** [Sentinel-2 | 08.07.2023]: Copernicus • **15.5a:** ESA • **15.5b** [Sentinel-3 | 08.06.2023]: Copernicus • **15.6a:** ESA/P. Carril • **15.6b** [Sentinel-5P | 08.07.2023]: Copernicus • **16.1:** eoVision • **16.2:** Union of Concerned Scientists • **16.3:** ESA • **17.4, 17.5, 18.4:** eoVision/ESA • **18.1a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1c** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1d** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.1e** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.2a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.2b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3a** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3b** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **18.3c** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **19.5** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.6** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.7** [Sentinel-1 | 23.03.2022], **19.8** [Sentinel-1 | 23.03.2022]: Copernicus • **19.9:** eoVision/ESA • **20.1** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.2** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.3** [Sentinel-2 | 21.03.2022], **20.4** [Sentinel-2 | 21.03.2022]: Copernicus • **21.5** [Modis | Mosaic], **21.6a** [Modis | Mosaic], **21.6b** [Modis | Mosaic], **21.6c** [Modis | Mosaic], **21.6d** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **21.7a:** BEV • **21.7b** [Sentinel-2 | 19.06.2023]: Copernicus • **21.7c:** BEV • **22.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **22.2** [DMSP OLS | Mosaic]: NASA/NOAA/USGS • **22.3** [07.12.1972]: Ron Evans/Harrison Schmitt, NASA • **22.4** [Modis | Mosaic], **24.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **24.2** [Sentinel-2 | 02.08.2023]: Copernicus • **24.3** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **25.4:** eoVision, based on work of American Museum of Natural History • **25.5:** eoVision, based on work by Hannes Grobe • **25.6** [Sentinel-2 | 26.08.2023]: Copernicus • **25.7** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **26.1:** USGS • **26.2** [Sentinel-2 | 22.10.2023]: Copernicus • **26.3, 26.3, 26.4, 26.4, 27.5:** USGS • **27.5** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **27.6** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **27.7:** Copernicus • **27.8, 27.9** [Landsat 7 | 06.06.2000]: USGS • **28.1** [Sentinel-2 | June 2022], **28.2** [Sentinel-2 | 03.06.2022], **28.3** [Sentinel-2 | 21.06.2022], **28.4** [Sentinel-5P | 21.06.2022]: Copernicus • **28.5:** Branca, S., M. Coltelli, G. Groppelli and F. Lentini (2011). Geological map of Etna Volcano • **28.6:** gnuclx • **29.7** [Sentinel-2 | 21.08.2021], **29.8** [Sentinel-2 | 30.09.2021], **29.9** [Sentinel-2 | 03.01.2022], **29.10** [Sentinel-2 | 03.01.2022]: Copernicus • **29.11:** eoVision • **29.12** [Modis | Mosaic]: NASA; Carracedo et al. 1998 • **29.13** [Sentinel-2 | 21.08.2021], **30.1** [Sentinel-2 | 15.06.2023]: Copernicus • **30.2** [Landsat 5 | 05.06.1992]: USGS • **30.3:** Tzorn • **30.4** [2022]: Boliden Summary Report • **30.5** [2024]: USGS, Mineral Commodity Summaries 2024 • **31.6** [Landsat 5 | 03.09.2011]: USGS • **31.7** [Sentinel-2 | 03.06.2023], **31.8** [Sentinel-1 | 25.05.2023], **31.9** [Sentinel-2 | 03.06.2023]: Copernicus • **31.10:** Jason Houston (iLCP Redsecker Response Fund/CEES/CINCIA) • **32.1** [Sentinel-2 | 15.08.2023], **32.2** [Sentinel-2 | 01.07.2020]: Copernicus • **32.3** [Landsat 5 | 22.08.2010], **32.4** [Landsat 5 | 28.07.2001], **32.5** [Landsat 4 | 12.06.1990]: USGS • **32.6:** Copernicus • **32.7:** Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) • **33.8** [Landsat 4 | 25.01.1985], **33.9** [Landsat 5 | 03.01.2000]: USGS • **33.10** [Sentinel-2 | 18.01.2023]: Copernicus • **33.11:** Energy Institute - Statistical Review of World Energy (2023) • **33.12** [Sentinel-2 | 18.01.2023]: Copernicus • **34.1** [Multisensor | January 2023]: Copernicus Marine Service/OSTIA • **34.3** [Multisensor | 25.12.2015], **34.4** [Multisensor | 25.12.2011]: Copernicus/ESA SST CCI • **35.2** [Multisensor | July 2023]: Copernicus Marine Service/OSTIA • **35.5** [Multisensor | 01.07.2014]: Copernicus/ESA SST CCI • **35.6:** NOAA • **36.1** [Sentinel-2 | July 2023]: Copernicus • **36.2:** Copernicus Land Monitoring Service • **37.3** [Landsat 5 | 10.06.1985]: USGS • **37.4** [Sentinel-2 | 25.06.2023]: Copernicus • **37.5:** Mohamed Eissa • **37.6** [Sentinel-2 | 05.11.2017], **37.7** [Sentinel-2 | 14.11.2022], **38.1** [Sentinel-2 | 2023], **38.2** [Sentinel-3 | 2023]: Copernicus • **38.3:** Kamshat Tusspova et al., Water 12/2020. • **38.4** [Sentinel-3 | 2023]: Copernicus • **38.5** [Landsat 4 | 1987], **38.6** [Argon | 1964]: USGS • **39.7** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **39.8** [Sentinel-2 | 22.04.2023]: Copernicus; U.S. Department of the Interior, BOEM (Bureau of Ocean Energy Management) • **39.9** [Landsat 4 | 04.05.1985], **39.10** [Landsat 5 | 19.07.1995]: USGS • **39.11** [Sentinel-2 | 08.05.2017], **39.12** [Sentinel-2 | 12.05.2023], **40.1** [Sentinel-2 | 21.03.2023], **40.2** [Sentinel-2 | 31.03.2019], **40.3** [Sentinel-2 | 31.03.2019]: Copernicus • **40.4:** US Army Corps of Engineers (Omaha) • **41.5:** Città di Venezia, Alte Maree • **41.6:** Fusi Sandro • **41.7** [Sentinel-2 | 04.11.2021], **41.8** [Sentinel-2 | 24.11.2022]: Copernicus • **42.1** [1980-2020], **42.2, 42.3:** NSIDC • **42.4** [CryoSat | January 2011], **42.5** [CryoSat | January 2024]: CPOM • **43.6:** Copernicus Climate Change Service • **43.7** [Sentinel-1 | 2020]: Copernicus/ENVEO • **43.8** [Sentinel-2 | 01.09.2023], **43.9** [Sentinel-2 | 01.09.2023]: Copernicus • **44.1** [2004]: NSIDC • **44.2** [CryoSat | 2012]: ESA/Helm et al., The Cryosphere, 2014 • **44.3.1** [Sentinel-1 | 06.08.2023], **44.3.2** [Sentinel-1 | 13.09.2023], **44.3.3** [Sentinel-1 | 19.10.2023], **45.4** [Sentinel-3 | 15.11.2023], **45.5** [Sentinel-3 | 15.11.2023]: Copernicus • **46.1** [Modis | Mosaic]: NASA Goddard Space Flight Center • **46.2** [Sentinel-2 | 30.07.2023]: Copernicus • **46.3** [2023]: WGMFS Fluctuation of Glaciers database • **46.4** [Landsat 5 | 28.07.1986]: USGS • **46.5** [Sentinel-2 | 30.07.2023]: Copernicus • **47.6:** Dirk Beyer • **47.7** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **47.8** [Sentinel-2 | 13.07.2022]: Copernicus • **47.9** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **47.10** [Sentinel-2 | 13.07.2022]: Copernicus • **47.11** [2023]: WGMFS Fluctuation of Glaciers database • **47.12** [Landsat 5 | 26.07.1985]: USGS • **48.1** [Multisensor | 2022]: Copernicus/C3S/ECMWF • **48.2** [Multisensor | July 2023], **48.3** [Multisensor | January 2023]: Copernicus Atmosphere Monitoring Service • **49.4:** eoVision/ESA • **49.5:** NOAA/NCEI • **50.1** [Multisensor | 2000-2023]: NASA • **50.3** [NOAA AVHRR | January 2023]: EUMETSAT/CM SAF • **51.2, 51.2, 51.2, 51.2, 51.2, 51.2:** climat-echarts.net • **51.4** [NOAA AVHRR | 01.07.2023]: EUMETSAT/CM SAF • **52.1** [Meteosat MSG | 2004], **53.2** [Meteosat MSG | 2004]: EUMETSAT • **54.1** [Sentinel-5P | 2023], **54.2** [Multisensor | January 2020], **55.3** [Multisensor | July 2020], **55.4a** [Sentinel-5P | January 2020], **55.4b** [Sentinel-5P | July 2020]: Copernicus Atmosphere Monitoring Service information • **55.5a** [Multisensor | October 1970], **55.5b** [Multisensor | October 1980], **55.5c** [Multisensor | October 1990], **55.5d** [Multisensor | October 2000], **55.5e** [Multisensor | October 2010]: Copernicus Climate Change Service, Climate Data Store • **56.1:** W. Lauer, P. Frankenberg; USGS • **56.1, 56.1:** 0 • **58.1** [Sentinel-3 | June 2023], **58.2** [Sentinel-3 | December 2023]: Copernicus Marine Service Information, provided by OCTAC/PML production centre • **58.3** [Sentinel-2 | 20.07.2019], **59.4** [Sentinel-3 | July 2018], **59.5** [Sentinel-3 | January 2018], **59.6a** [Sentinel-2 | 08.04.2023], **59.6b** [Sentinel-2 | 13.04.2023]: Copernicus • **60.1** [2019]: Copernicus Land Monitoring Service • **60.2** [Sentinel-2 | 08.09.2023], **60.3** [Sentinel-2 | 26.09.2023], **60.4** [Sentinel-2 | 20.09.2023], **60.5** [Sentinel-2 | 27.09.2023], **60.6** [Sentinel-2 | 24.09.2023], **61.7** [Sentinel-2 | 08.09.2023], **61.8** [Sentinel-2 | 31.03.2023]: Copernicus • **61.9** [2024]: Our World in Data • **62.1** [Sentinel-2 | 10.09.2022], **62.2** [Sentinel-2 | 10.09.2022]: Copernicus • **62.3** [Landsat 5 | 17.10.1985]: USGS • **62.4:** ANE • **63.5** [Landsat 5 | 15.04.1985], **63.6** [Landsat 5 | 27.04.1995], **63.7** [Landsat 5 | 18.04.2015]: USGS • **63.8** [Sentinel-2 | 26.04.2023], **63.9** [Sentinel-2 | 26.04.2023]: Copernicus • **63.10:** U.S. Dept. Agriculture • **64.1** [Landsat 5 | 28.06.1991]: USGS • **64.2:** Bruno Kelly/Amazônia Real • **64.3:** INPE • **64.4** [Landsat 5 | 24.06.1984], **64.5** [Landsat 5 | 15.05.2010]: USGS • **64.6** [Sentinel-2 | 07.10.2023]: Copernicus • **65.7:** National Forestry Database • **65.8** [Sentinel-2 | 18.05.2023], **65.9** [Sentinel-2 | 07.06.2003], **65.10** [Sentinel-2 | 07.06.2003], **65.11** [Sentinel-2 | 07.06.2003]: Copernicus • **65.12:** Cameron Strandberg • **66.1** [Sentinel-2 | 29.04.2023]: Copernicus • **66.2** [2022]: FAO, The state of world fisheries and aquaculture 2022 • **66.3** [Sentinel-1 | 26.04.2023]: Copernicus • **66.4** [Landsat 5 | 05.05.2007], **66.5** [Landsat 5 | 17.05.1989]: USGS • **67.6** [Sentinel-2 | 24.04.2023], **67.7** [Sentinel-2 | 14.04.2023], **67.8** [Sentinel-2 | 24.04.2023], **67.9** [Sentinel-2 | 24.04.2023]: Copernicus • **67.10:** Powell.Ramsar • **67.11:** Bsmuc64ger • **67.12** [Sentinel-2 | July 2023]: Copernicus • **68.1:** Gridded Population of the World (GPW) v4; NASA/SEDAC • **68.2** [Sentinel-2 | 13.04.2024], **68.3** [Sentinel-2 | 18.04.2024], **69.4** [Sentinel-2 | 19.03.2024]: Copernicus • **69.6:** UNDESA, 2013 • **69.5a, 69.5b, 69.5c:** LivePopulation.com • **70.1** [Landsat 4 | 13.10.1984]: USGS • **70.2** [Sentinel-2 | 27.02.2023]: Copernicus • **70.3:** worldpopulationreview.com • **70.4** [2018]: UNDESA, World Urbanization Prospects 2018 • **70.5:** Noah Maxwell • **71.6:** Sinopitt Xu • **71.7** [2015]: UNDESA • **71.8** [Landsat 4 | 21.04.1987]: USGS • **71.9** [Sentinel-2 | 05.07.2023], **72.1** [Sentinel-2 | 23.07.2023]: Copernicus • **72.2:** ICAO, ACI/Moodie-Davitt-Report • **72.3:** Kulttuurinavigaattori • **72.4** [Landsat 5 | 18.09.2010]: USGS • **72.5** [Sentinel-2 | 24.07.2017], **72.6** [Sentinel-2 | 23.07.2023], **73.7** [Sentinel-2 | 29.03.2021], **73.8** [Sentinel-1 | 21.03.2021], **73.9** [Sentinel-1 | 27.03.2021]: Copernicus • **73.10:** Suez Canal Authority • **73.11:** Wolfgang Fricke • **73.12** [Sentinel-5P | 2023]: Copernicus (SSP-PAL; STAC?) • **74.1** [Landsat 5 | 15.07.2015], **74.2** [Landsat 5 | 27.07.2011]: USGS • **74.3** [Sentinel-2 | 26.07.2017], **74.4** [Sentinel-2 | 26.07.2017]: Copernicus • **74.5:** Fernanda Brandt • **75.6** [Sentinel-1 | 02.03.2024], **75.7** [Sentinel-2 | 07.07.2023], **75.8** [Sentinel-2 | 07.07.2023], **75.9** [Sentinel-2 | 27.05.2017], **75.10** [Sentinel-2 | 28.01.2024]: Copernicus • **75.11** [2024]: IRENA - International Renewable Energy Agency •

### Explicación de las fuentes de imágenes y datos:

**19.8** [Sentinel-1 | 23.03.2022]: Copernicus

**19.8** ..... número de página - número consecutivo de figura  
[satélite | fecha de adquisición] ... en caso de que la figura sea una imagen de satélite, se especifica el modelo de satélite y la fecha de adquisición  
Copernicus ..... fuente de datos/crédito de la imagen  
..... separador

