

Meteorología y pronóstico del tiempo

Material educativo para las clases de E.S.O. o equivalente

Material para el profesor e información documental

Introducción general a la meteorología

El estado del tiempo en la Tierra está regido por leyes científicas, que por cierto son bastante complejas y no siempre perfectamente conocidas. Por eso es tan difícil prever el tiempo que hará en un lugar determinado o durante un periodo prolongado, con la precisión que generalmente se atribuye a las ciencias exactas. No obstante, gracias a más de 6.000 estaciones meteorológicas repartidas por toda la superficie terrestre, una red de satélites meteorológicos que cubre el planeta de par en par y una moderna tecnología, basada en potentes herramientas informáticas y en técnicas matemáticas muy elaboradas, podemos hacer pronósticos meteorológicos a un día con mucha precisión (86% de fiabilidad) y a 3-7 días con bastante precisión (80 % a 3 días). A más largo plazo es prácticamente imposible hacer previsiones con un grado de fiabilidad razonable.

Los satélites son un factor importante en la previsión meteorológica, ya que nos permiten observar grandes áreas del planeta y estudiar la formación y composición de las nubes, los frentes, las temperaturas, etc. También hacen que, por ejemplo, se pueda ver lo que ocurre con los frentes de nubes por la noche y analizar la distribución del vapor de agua en la atmósfera. Los satélites pueden proporcionar, asimismo, información precisa sobre la concentración de gases como el ozono o de partículas de polvo transportadas por el aire (aerosoles), cuyo papel en las condiciones meteorológicas es decisivo.

La circulación general (Ficha 1/10)

Todos los procesos meteorológicos (los vientos, la formación de nubes, los cambios de temperatura, las precipitaciones...) sacan su energía de la radiación solar. En ausencia de radiación solar, la Tierra se enfriaría rápidamente y alcanzaría la temperatura del espacio exterior hasta transformarse en un bloque inerte de piedra y hielo.

La proporción de energía solar absorbida por la superficie terrestre depende de la distancia con respecto al ecuador. En las regiones polares, la radiación solar incidente se extiende por un área mucho más amplia que a la altura del ecuador. Por este motivo, proporcionalmente, hay mucha más energía disponible en los trópicos. La inclinación de la Tierra y las estaciones también son determinantes.

El desequilibrio en la distribución de la energía es el principal 'motor' de la circulación general atmosférica. La energía solar absorbida se desplaza desde las regiones tropicales hacia los polos y esto genera los sistemas de vientos que hacen a la circulación general.

Nociones meteorológicas básicas

Los fenómenos meteorológicos se producen principalmente a nivel de la fina capa inferior de la atmósfera que rodea la superficie terrestre (troposfera y estratosfera inferior). Muchos de ellos son el resultado de un escaso número de mecanismos fundamentales.

1. El aire transita por corredores orientados globalmente de norte a sur. Esto es así porque el aire se calienta más rápido a la altura del **ecuador**, dado que es aquí donde la superficie terrestre recibe la mayoría de la radiación solar (el sol no calienta el aire directamente sino el suelo). El aire caliente asciende desde el suelo hasta una altura de 15 a 20 km; allí se enfría y va derivando alejándose del ecuador, antes de descender nuevamente en forma de una masa de aire mucho más fría. El sistema de circulación se cierra cuando esta masa de aire vuelve hacia el ecuador a menor altura. Así se crea lo que se denomina celdas de circulación (véase más abajo y también el CD: estabilización de la presión, vientos alisios, zona de convergencia intertropical).
2. El **ciclo del agua** tiene un protagonismo fundamental en fenómenos atmosféricos como la formación de las nubes, los frentes y las precipitaciones. El vapor de agua de la atmósfera es el principal gas de efecto invernadero y a la vez una condición sine qua non para el desarrollo de la vida en la Tierra. Un volumen colosal de agua se evapora permanentemente en las regiones ecuatoriales de la Tierra. El vapor asciende por convección y da lugar a la formación de las nubes. Las masas de aire que se alejan del ecuador también forman nubes.
Si el vapor de agua se condensa, cae sobre la superficie terrestre en forma de **precipitaciones**. Al final, vuelve al ecuador a través de las corrientes oceánicas, aumentadas por las aguas de escorrentía pluvial que terminan en los mares. La evaporación y las precipitaciones consumen gran cantidad de energía.
3. A escala continental, las **celdas calientes y frías** son responsables de la formación de zonas de alta y baja presión (véase el modelo de circulación del aire entre mar y tierra). Las masas de aire de características distintas (presión, humedad, temperatura) forman frentes y sistemas meteorológicos.
4. La rotación de la Tierra, asociada a las fuerzas de Coriolis (véase el CD), hace que los procesos meteorológicos se desplacen de forma distinta en el hemisferio norte y en el hemisferio sur. En el hemisferio norte, el desplazamiento se produce **de oeste a este**.
5. El factor determinante de los cambios del tiempo es la **inestabilidad local** que puede existir en lo que se refiere a la distribución de la temperatura, la humedad, etc. El resultado combinado de los procesos derivados de esa inestabilidad es el conjunto de fenómenos complejos que determinan las condiciones meteorológicas.

Modelo de circulación del aire entre mar y tierra (Ficha 2/10)

(Recuerde: la presión es el peso de la columna atmosférica en un punto determinado.) Lo que ocurre en una isla es un buen ejemplo de cómo se producen los movimientos de aire verticales. Por la mañana, el aire que se halla por encima de una masa de tierra se calienta mucho más rápido que el aire que está por encima de una masa de agua adyacente. De igual forma, el aire se calienta más rápido sobre un campo abierto que sobre la selva, sobre una ladera orientada hacia el sur que sobre otra orientada hacia el norte, sobre suelo seco que sobre suelo húmedo, etc.

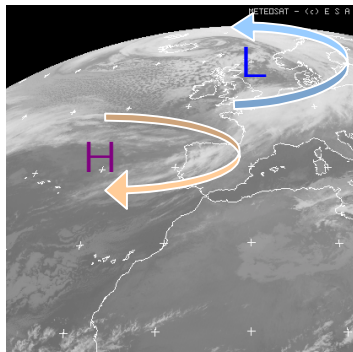
A medida que pasan las horas, se van formando localmente en tierra unos puntos calientes a partir de los cuales el aire tiende a ascender, mientras que el aire situado

por encima de las zonas aledañas más frías se mueve hacia las zonas más cálidas para mantener el equilibrio general. Al ascender las masas de aire, la presión disminuye ligeramente (menor densidad), mientras que al descender el aire (mayor densidad) la presión será ligeramente mayor. Esto explica, por ejemplo, la brisa local que nos llega, de día, desde el mar o los lagos, mientras que por la noche el fenómeno se revierte.

Por otra parte, las masas de aire con características más o menos uniformes en términos de presión, temperatura y humedad, se ven modificadas cuando están en contacto prolongado con áreas continentales u oceánicas. Esto, junto con las celdas de circulación a gran escala, es lo que provoca las zonas de alta y baja presión que tan bien conocen los meteorólogos, quienes observan:

1. un movimiento geográfico: movimiento del aire (vientos) desde los centros de baja presión hacia los de alta presión,
2. un movimiento horizontal: movimiento del aire cuando la diferencia de presión (gradiente) es mayor,
3. un movimiento vertical: rápido movimiento ascendente en áreas de baja presión, vientos calmos en áreas de alta presión, etc., lo cual es indispensable para entender los patrones meteorológicos.

En adelante nos referiremos únicamente al hemisferio norte. En este hemisferio, las fuerzas de Coriolis hacen que el viento siempre gire en espiral **en el sentido contrario a las agujas del reloj** en las zonas de baja presión y **en el sentido de las agujas del reloj** en las zonas de alta presión (en el hemisferio sur este fenómeno se revierte.)



Las zonas de alta y baja presión son fáciles de localizar. En una imagen de satélite se ven claramente las nubes en espiral y, si se comparan varias imágenes sucesivas, se puede comprobar sencillamente la dirección de rotación. Si el sentido es el de las agujas del reloj, se trata de una zona de alta presión mientras que si el sentido es el contrario al de las agujas del reloj, es una zona de baja presión. El centro de las zonas de alta presión no presenta nubes.

< Imagen Meteosat con nubes y frentes observados en el espectro visible.

Movimiento vertical, convección y formación de nubes (Ficha 3/10)

El vapor de agua está presente en toda la atmósfera terrestre en forma de pequeñas gotas de agua líquida y de finos cristales de hielo en suspensión. La mayor concentración se encuentra a baja altura. Cuanto más caliente es el aire, mayor es la proporción de agua en forma de vapor. En determinadas condiciones, el vapor se condensa a baja altura y provoca niebla.

Las masas de aire ascendentes se van enfriando; en la troposfera, el aire pierde aproximadamente 1 °C cada 100 m de altura. Cuando la temperatura llega a un nivel que se conoce como el punto de rocío, el vapor de agua comienza a condensarse

perceptiblemente. El proceso se acelera en presencia de aerosoles, es decir, finas partículas de polvo, a las cuales las microscópicas gotas de agua pueden adherirse.

Hablamos de convección cuando el movimiento vertical del aire se produce por calentamiento de las capas inferiores. Si en dicho movimiento se produce un intercambio de aire y calor con la atmósfera circundante que resulta insignificante hablamos de "ascenso adiabático". Una fuerte convección causa tormentas, tornados, etc.

El ascenso del aire puede producirse también por otros motivos. En el "ascenso orográfico", las masas de aire que se desplazan horizontalmente chocan contra un obstáculo (p. ej.: una cadena montañosa) que las obliga a elevarse. A veces esto genera la formación de una línea visible de nubes a lo largo de la cadena montañosa, todas ellas situadas a igual altura. El ascenso del aire también puede ocurrir cuando se encuentran dos masas de aire distintas (frentes).

Una masa de aire muy seca puede permanecer despejada pese al movimiento ascendente, si no contiene suficiente vapor de agua.

Nubes y lluvia (Ficha 4/10)

Las nubes son porciones locales de la atmósfera cargadas con gotas de agua y cristales de hielo. Cuando una nube se forma en un proceso ascendente del aire, éste transportará las partículas más pequeñas mientras que las más grandes y pesadas caerán hacia la superficie terrestre. Si estas gotas de agua llegan al suelo, se produce lluvia. No obstante, puede suceder que las gotas de agua se evaporen antes de llegar al suelo (así es como vemos "virgas" colgando de las nubes) o helarse y formar copos de nieve. Los cristales de hielo que caen de las nubes pueden crecer tanto que llegan al suelo en forma de granizo.

Las nubes asociadas a los frentes fríos y cálidos son de distinto tipo, dado que las condiciones en las que el aire se eleva son diferentes. Otro criterio de clasificación de las nubes suele ser la altura de su base.

Nubes características de un frente **frío**: cumulonimbos, cúmulos.

Nubes características de un frente **cálido**: cirroestratos, cirros, altoestratos, nimboestratos.

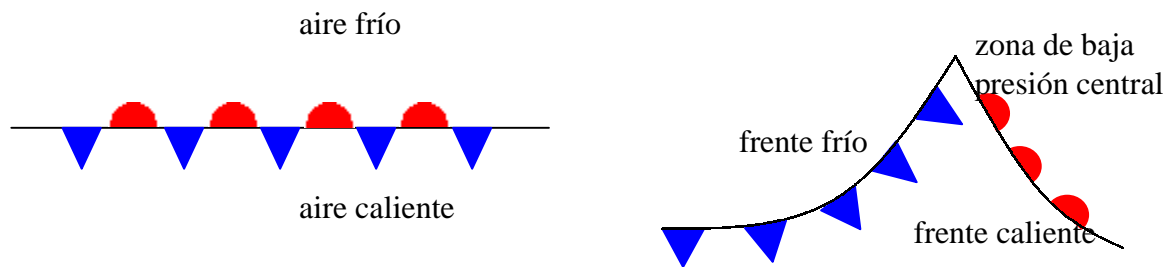
Sistemas de presión

Las regiones situadas en las latitudes medias se caracterizan por la presencia mayoritaria de vientos del oeste que accionan una sucesión de sistemas de baja y alta presión, provocando el tiempo variable propio de esas latitudes. Los sistemas de presión son fundamentalmente amplias masas de aire en rotación. Un **centro de baja presión** se llama depresión o ciclón, mientras que un **centro de alta presión** se denomina anticiclón.

Vida y muerte de un ciclón en las latitudes medias (Ficha 5/10)

Los ciclones (depresiones o centros de baja presión) se forman habitualmente en las latitudes medias, en una zona de encuentro entre una masa de aire caliente tropical o subtropical y una masa de aire polar. Los ciclones que afectan más comúnmente a Europa están situados en general en el océano Atlántico. El frente polar es generalmente estacionario y se caracteriza por un gradiente de temperatura pronunciado de norte a sur.

Supongamos que el siguiente es un esquema del hemisferio norte. Esto es lo que suele ocurrir:

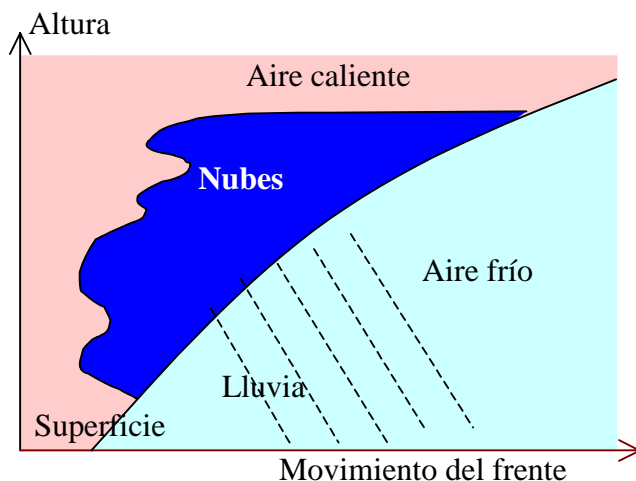


En este ejemplo vemos un movimiento de aire frío en dirección al sur y de aire caliente en dirección al norte, que crea una perturbación en el frente semejante a una ola (obsérvese el esquema de la derecha). Localmente inestable, la perturbación aumenta rápidamente en tamaño e intensidad, hasta formar un ciclón y provocar la típica constitución de "frentes": un **frente cálido** y un **frente frío**.

Cuando un frente cálido pasa por un punto de la superficie terrestre, a nivel del suelo el aire frío es sustituido gradualmente por aire caliente. Lo mismo sucede, aunque en sentido contrario, si se trata de un frente frío.

Frente cálido

El aire del lado "cálido" del frente es menos denso que el aire del lado frío, o sea más ligero, y por eso tiende a ascender. Un corte transversal mostraría una inclinación de la parte delantera del frente, el ascenso de las masas de aire calientes y el avance de las masas de aire frías. Durante este proceso se forman nubes de forma característica que se pueden identificar claramente en las imágenes de satélites.

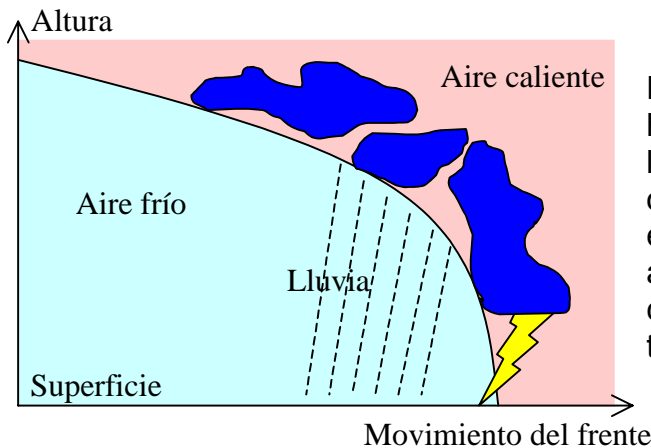


A medida que ascienden las masas de aire caliente, se forman nubes estratiformes que traen lluvias o nieve persistentes aunque no muy intensas.

Las nubes estratiformes que acompañan un frente cálido pueden ser cirroestratos, altoestratos o nimboestratos.

Frente frío

Un frente frío es una zona de transición bien marcada entre aire caliente y aire frío. La consecuencia del paso de un frente frío es la sustitución de aire caliente por aire frío.



El aire frío y denso avanza empujando hacia arriba el aire caliente que es más ligero, de forma muy análoga a lo que ocurre con un frente cálido. Sin embargo, como los frentes fríos avanzan más rápido que los frentes cálidos, su ángulo (en un corte transversal) será mucho más pronunciado.

Sistema de baja presión en verano (Ficha 6/10)

Sistema de baja presión en invierno (Ficha 7/10)

Patrones meteorológicos clásicos (Ficha 8/10)

El tiempo del continente europeo está regido por una serie de patrones meteorológicos que se reproducen con cierta regularidad. He aquí tres ejemplos muy frecuentes:

- **Abril:** incursión de aire frío. Un sistema de baja presión de gran amplitud situado en el norte de Europa, con su masa de aire que gira en el sentido contrario al de las agujas del reloj, trae el aire frío del polo hacia el continente. En el océano Atlántico, el aire se combina con el vapor de agua y esta mezcla ocasiona, en Europa, temperaturas bajas y abundantes precipitaciones (las famosas lluvias del mes de abril).
- **Verano:** zona de alta presión. Dos sistemas de alta presión adyacentes se fusionan a la altura de los países escandinavos en un movimiento rotatorio, en el sentido de las agujas del reloj, que arrastra aire continental seco procedente del noreste de Europa y Rusia hacia Europa central. Mientras atraviesa el continente el aire se calienta y trae el clásico tiempo estival cálido y seco.
- **Otoño:** frente de tormenta. Un fuerte sistema de baja presión empuja hacia Europa una corriente de aire relativamente caliente y húmedo procedente del Atlántico. Este aire es muy inestable, lo que explica que el final del otoño sea una época de tiempo variable y tormentoso. Obsérvese cómo las líneas de presión o "isobaras" están muy cerca unas de otras. Esto indica una subida importante de la presión y consecuentemente fuertes vientos.

Datos meteorológicos y pronósticos del tiempo (Ficha 9/10)

Hace unos 250 años que miles de personas registran y comparan datos meteorológicos. El gran número de estaciones meteorológicas terrestres proporcionan una amplia cobertura de los continentes y unas cuantas estaciones marítimas miden las condiciones meteorológicas en la superficie de las aguas. Estas últimas cubren el 71% de la superficie de la Tierra. Los patrones meteorológicos que rigen el estado del tiempo en el continente europeo se forman lejos en alta mar, en el Atlántico.

Satélites meteorológicos



Con el lanzamiento del primer satélite meteorológico, Tiros 1 (Television and Infrared Observational Satellite), el 1 de abril de 1960, comenzó una nueva era: por primera vez, se conseguía tomar una imagen global de las condiciones meteorológicas del planeta.



El primer satélite meteorológico europeo, Meteosat, fue puesto en órbita por la Agencia Espacial Europea en 1977. Los siete satélites Meteosat que se han construido hasta la fecha y que proporcionan una imagen cada media hora han transformado totalmente las previsiones meteorológicas en Europa.

Los satélites meteorológicos pueden ser de dos tipos:

Los **satélites de órbita polar** se trasladan según órbitas circulares, a una altura que suele ser entre 800 y 1.500 km; la órbita sigue una trayectoria que hace que el satélite pase por encima de los polos en cada vuelta alrededor de la Tierra. Como al mismo tiempo ésta gira sobre su eje, el satélite pasa obligatoriamente por cada punto del planeta al cabo de un cierto tiempo. Esta frecuencia depende de los parámetros de la órbita.

Los **satélites geoestacionarios** giran alrededor de nuestro planeta a la misma velocidad angular que la de la rotación de la Tierra, por lo que, vistos desde la superficie terrestre, parecen inmóviles (o sea estacionarios). Esto se logra poniendo el satélite en órbita por encima del ecuador, a una altura de unos 36.000 km. Meteosat es un satélite geoestacionario. Su órbita está situada en 0°E 0°N, es decir, exactamente por encima del punto de intersección entre el meridiano de Greenwich y el ecuador, en el Golfo de Guinea, no muy lejos de las costas africanas. Desde esta excelente posición, Meteosat observa casi la mitad del globo, particularmente Europa, África, el océano Atlántico y parte del Golfo Pérsico.

Si bien los datos proporcionados por Meteosat son sumamente útiles para las investigaciones climáticas, se espera que la próxima serie de satélites europeos Meteosat Second Generation (MSG) aporte mejoras muy significativas, especialmente debidas a su mayor resolución espacial y temporal. MSG será capaz de observar procesos de muy corta duración y muy localizados.

Prestaciones avanzadas de MSG:

- Imágenes multiespectrales con una periodicidad de quince minutos, es decir, el doble de imágenes que en la actualidad, lo cual permitirá obtener información rápida sobre fenómenos locales.
- Mayor resolución dentro del espectro visible, pasando de 2,5 km x 2,5 km a 1 km x 1 km. Con esto se podrá observar con mucha más precisión el proceso de formación de las nubes.
- Doce bandas espectrales (en lugar de tres como ahora). El espectro visible se dividirá en 3 bandas que se observarán por separado y el espectro infrarrojo en 9 (infrarrojo cercano incluido). De esta forma, se podrá detectar la presencia de distintas sustancias en la atmósfera como, por ejemplo, el ozono, de gran importancia en la formación y evolución de los sistemas meteorológicos. Gracias a sus 9 bandas de observación en el infrarrojo, se podrán estudiar procesos meteorológicos invisibles con luz natural.
- Rápida transmisión de datos. MSG actúa como si fuese simultáneamente un satélite de comunicaciones. Los datos en bruto son enviados a la Tierra y procesados por Eumetsat (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites) en Darmstadt, Alemania. Los datos procesados se devuelven al satélite MSG, que los reenvía a las estaciones de recepción terrestres instaladas por toda Europa y África, para uso por parte de meteorólogos, pronosticadores, etc. Con una velocidad de transmisión superior a 3 Mbps, MSG es prácticamente 20 veces más rápido que su predecesor, Meteosat.

MSG fue diseñado por la Agencia Espacial Europea, ESA, y construido por Alcatel Space (Francia), en un marco de cooperación entre 13 países europeos.

La Agencia Espacial Europea creó el programa Meteosat en los años setenta. La construcción de los satélites, así como su explotación y el procesamiento de datos, estuvieron bajo su responsabilidad hasta 1994, año en que Eumetsat pasó a hacerse cargo de estas operaciones. Actualmente la ESA desarrolla tecnologías avanzadas para construir nuevos satélites, entre otros, el MSG. La ESA tiene proyectado construir 3 o 4 MSG, cuyo lanzamiento y explotación estará en manos de Eumetsat. El periodo de vida útil de un satélite MSG es de al menos 7 años.

La Agencia Espacial Europea (Ficha 10/10)

Fundada en 1974, la ESA ha sido el motor de la presencia europea en el espacio, a la par de Rusia y los Estados Unidos. La ESA cuenta con 15 Estados miembros: Alemania, Austria, Bélgica, Dinamarca, España, Finlandia, Francia, Irlanda, Italia, Noruega, los Países Bajos, Portugal, el Reino Unido, Suecia y Suiza. La misión de la ESA abarca programas espaciales y programas de desarrollo de tecnología punta.

Sus principales áreas de actividad son:

- Ciencia espacial: La ESA explora el sistema solar y los planetas por medio de sondas y telescopios espaciales, y estudia asimismo las condiciones del universo naciente. Sus misiones espaciales tienen una importancia capital en la investigación básica moderna.
- Telecomunicaciones y navegación: Gracias al desarrollo de la tecnología espacial y a la puesta en práctica de misiones espaciales sin fines comerciales,

la industria europea ha podido alcanzar una posición destacada a nivel mundial en un sector muy competitivo.

- **Servicios de lanzamiento:** La ESA está desarrollando versiones avanzadas del famoso lanzador Ariane, al igual que un lanzador de pequeñas dimensiones llamado Vega. Una empresa francesa, Arianespace, opera los lanzamientos espaciales con fines comerciales. Ariane domina casi el 60% del mercado de los satélites civiles.
- **Vuelos espaciales tripulados:** La ESA ha diseñado y construido importantes componentes de la Estación Espacial Internacional (ISS), entre ellos, un sistema informático central y un robot manipulador. En 2004, se podrá amarrar a la ISS el laboratorio espacial europeo Columbus, dentro del cual hasta tres científicos podrán realizar experimentos en microgravedad.
- **Observación de la Tierra:** La misión puramente civil de la ESA ha posibilitado que Europa realice grandes avances científicos en lo que se refiere a la gestión del medio ambiente. El nuevo satélite de observación de la Tierra, Envisat, el sucesor de los célebres satélites ERS, recoge datos sobre el ozono atmosférico, la presencia de sustancias extrañas y gases de efecto invernadero, dióxido de carbono incluido. Asimismo, mide la temperatura terrestre y marítima, el nivel de los océanos, el retroceso de los hielos en el Ártico y las emisiones industriales de óxido nitroso. La profusión de datos y medidas que proporciona Envisat cubre, además, movimientos superficiales de la corteza terrestre, erupciones volcánicas, actividad sísmica, inundaciones, zonas de sequía, etc.

Este material educativo fue elaborado por la Agencia Espacial Europea. La ESA es una organización europea con sede en París y centros en Noordwijk (Países Bajos), Colonia y Darmstadt (Alemania), así como Frascati (Italia).

Este material se distribuye gratis para uso pedagógico exclusivamente. Un CD-ROM complementario llamado "The Weather Machine" proporciona información adicional.

Está disponible en alemán, francés e inglés, y también se puede pedir gratis.

Asimismo, se puede solicitar el vídeo sobre la misión MSG (VHS/PAL).

Las personas interesadas pueden dirigirse a:

- ESA ESOC, Jocelyne Landeau-Constantin, tel.: +496151-902696
 - o visitar el sitio de la ESA: www.esa.int

Este material fue elaborado por Ludwig Lenz, Jean Le Ber, Eva Oriol-Pibernat y Adam Majorosi a partir de textos e imágenes extraídos de distintas fuentes, entre ellas, el CD-ROM "The Weather Machine" © 1997 ESA. Contenido: ESA 2002

© ESA 2002