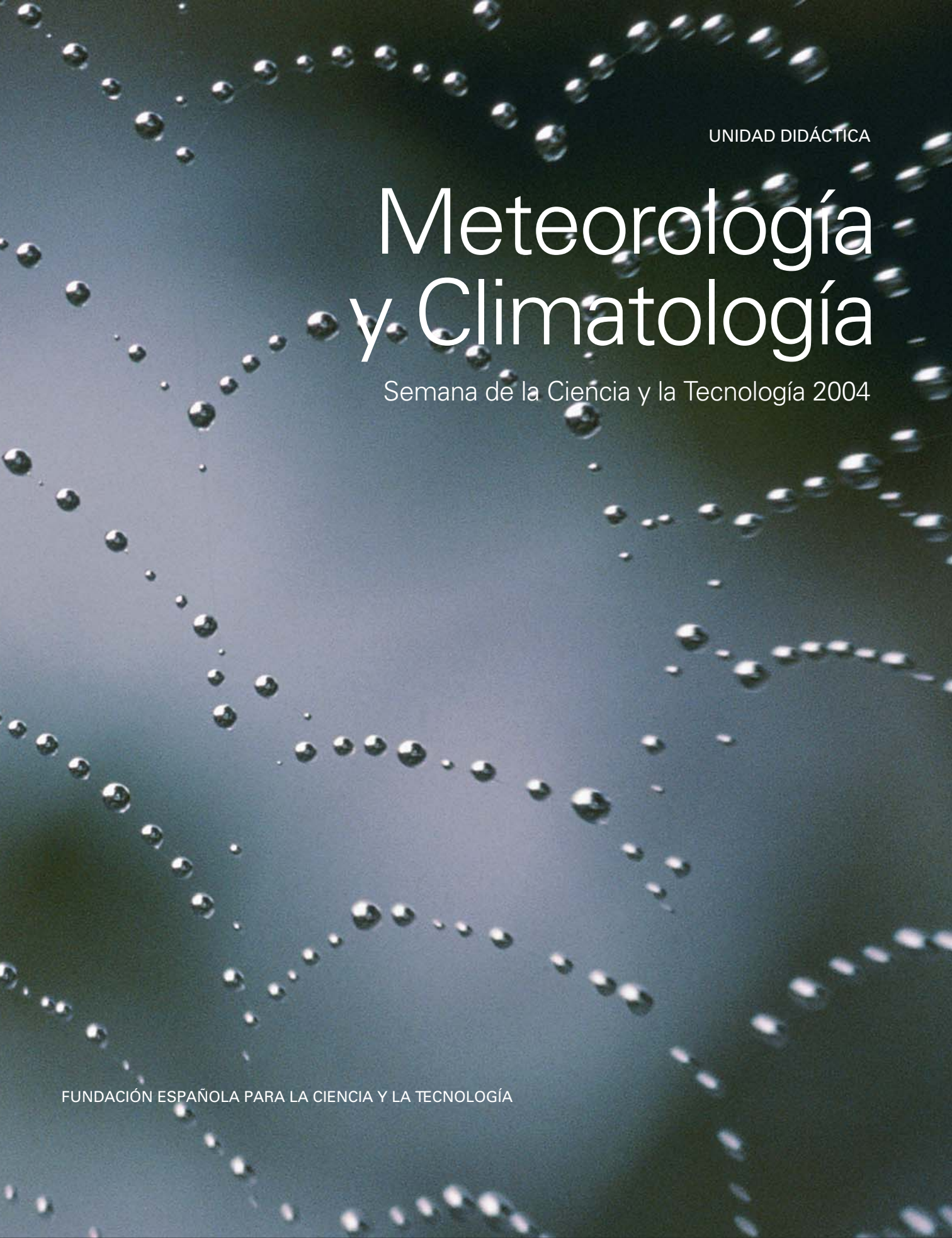


The background of the entire page is a close-up photograph of numerous water droplets of varying sizes. The droplets are scattered across the frame, with some in sharp focus and others blurred, creating a sense of depth. They are set against a dark, almost black, background, which makes the bright, reflective surfaces of the droplets stand out. The lighting appears to come from the upper left, casting highlights on the droplets and creating soft shadows.

UNIDAD DIDÁCTICA

Meteorología y Climatología

Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004

FUNDACIÓN ESPAÑOLA PARA LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA

Meteorología y Climatología

Semana de la Ciencia y la Tecnología 2004

Edita: FECYT (Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología)
Diseño y maquetación: Global Diseña
Impresión: Villena Artes Gráficas
Déposito legal: M-XXXXX-2004
ISBN: 84-688-8535-5

METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	3
Rosa María Rodríguez Jiménez	
Águeda Benito Capa	
Adelaida Portela Lozano	
1. ¿QUÉ ES LA METEOROLOGÍA?	6
2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ATMÓSFERA	8
3. LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS	12
4. LA OBSERVACIÓN DEL TIEMPO	40
5. LOS MAPAS METEOROLÓGICOS	54
6. LA PREDICCIÓN DEL TIEMPO	56
7. EL CLIMA DE NUESTRO PLANETA	60
8. LOS CLIMAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA	74
9. EL CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE	80
10. WEBS INTERESANTES	88
OBSERVACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NUBES	91
Francisco Martín León	
José Antonio Quirantes	
OBJETIVO DE LA UNIDAD	94
1. INTRODUCCIÓN	96
2. CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LAS NUBES	108
3. DESCRIPCIÓN DE LOS GÉNEROS DE NUBES: NUBES ESPECIALES	114
4. AHORA TE TOCA A TI IDENTIFICARLAS	132
ANEXO I: CÓMO DOCUMENTAR LA FOTOGRAFÍA DE UNA NUBE	134
ANEXO II: TABLA DE CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE LAS NUBES DE LA OMM	138
SOLUCIONES AL TEST DE FOTOGRAFÍAS DE NUBES:	140
Agradecimientos	141
Bibliografía	142
¿QUÉ TENGO YO QUE VER CON EL TIEMPO?	ANEXO
Florenci Rey Benadero	

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Nacional de Meteorología (INM), Agencia Espacial Europea (ESA), Organización Meteorológica Mundial (OMM), Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF), Centro Hadley Oficina Meteorológica, Universidad de Salamanca, National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), José Antonio Quirantes y Gero Steffen, por su colaboración en la cesión de imágenes para la elaboración de esta Unidad Didáctica.

A satellite image of Earth from space, showing the continent of Africa and parts of Europe and Asia. The image is a curved view of the planet, with the horizon on the right. The colors are vibrant, with deep blues for the oceans, greens and browns for the landmasses, and white for the clouds. The title 'METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA' is printed in white, bold, sans-serif capital letters in the upper right corner.

METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

Rosa María Rodríguez Jiménez
Águeda Benito Capa
Adelaida Portela Lozano

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer al comité de expertos todas sus sugerencias y comentarios, que han contribuido, sin duda, a mejorar el resultado final de esta unidad didáctica que esperamos sirva de ayuda y disfrute para todo aquél que la utilice.

En especial nos gustaría agradecer la labor de revisión realizada por:

Carlos Almarza
Carlos García-Legaz
Enric LLebot
Francisco Martín León

1. ¿QUÉ ES LA METEOROLOGÍA?	6
2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ATMÓSFERA	8
3. LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS	12
3.1. La Temperatura	12
3.2. La Presión Atmosférica	17
3.3. El Viento	20
3.4. La Radiación Solar	24
3.5. La Humedad	29
3.6. La Precipitación	33
4. LA OBSERVACIÓN DEL TIEMPO	40
4.1. Los observatorios meteorológicos	40
4.2. Los satélites meteorológicos	44
4.3. El diario del tiempo	46
5. LOS MAPAS METEOROLÓGICOS	54
6. LA PREDICCIÓN DEL TIEMPO	56
7. EL CLIMA DE NUESTRO PLANETA	60
7.1. El Clima	60
7.2. La elaboración de climogramas	61
7.3. Los controladores del clima	64
7.4. La evolución del clima de la Tierra	70
8. LOS CLIMAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA	74
8.1. Factores climáticos de la Península Ibérica	74
8.2. Clasificación climática de Font	75
9. EL CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE	80
9.1. Calentamiento global y efecto invernadero	80
9.2. Posibles efectos futuros del Cambio Climático	82
9.3. ¿Qué puedo hacer yo?	84
10. WEBS INTERESANTES	88

1. ¿QUÉ ES LA METEOROLOGÍA?

La Meteorología es la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros. El estudio de la atmósfera se basa en el conocimiento de una serie de magnitudes, o variables meteorológicas, como la temperatura, la presión atmosférica o la humedad, las cuales varían tanto en el espacio como en el tiempo.



- La palabra *meteor* es de origen griego, busca su significado original.
- Busca dos dioses griegos y dos romanos relacionados con los fenómenos meteorológicos.

Cuando describimos las condiciones atmosféricas en un momento y lugar concretos, estamos hablando del tiempo atmosférico. Todos sabemos que el tiempo atmosférico es uno de los principales condicionantes de las actividades que realizamos, especialmente de aquellas que se realizan al aire libre, como la agricultura. A diario aparece información meteorológica en los medios de comunicación y, aunque a veces ésta es motivo de las conversaciones más triviales, sabemos que la comprensión del tiempo implica conocer un buen número de conceptos científicos, no todos ellos sencillos. Desde tiempos inmemoriales, los hombres han admirado los fenómenos atmosféricos y han intentado explicar sus causas. Mientras no hubo instrumentos, ni grandes conocimientos científicos, la magia y la religión sirvieron de explicación a la mayor parte de los fenómenos meteorológicos. Pero hoy día, la Meteorología es una ciencia tremendamente avanzada, basada en nuestro conocimiento de la Física y en el uso de las más modernas tecnologías. Los meteorólogos son capaces, incluso, de predecir el tiempo hasta con una semana de antelación sin apenas fallar.



2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LA ATMÓSFERA

La atmósfera es la capa gaseosa que envuelve la Tierra, y que se adhiere a ella gracias a la acción de la gravedad. Es difícil determinar exactamente su espesor, puesto que los gases que la componen se van haciendo menos densos con la altura, hasta prácticamente desaparecer a unos pocos cientos de kilómetros de la superficie. La atmósfera está formada por una mezcla de gases, la mayor parte de los cuales se concentra en la denominada homosfera, que se extiende desde el suelo hasta los 80-100 kilómetros de altura. De hecho esta capa contiene el 99,9% de la masa total de la atmósfera.

Entre los gases que componen la atmósfera, hay que destacar el Nitrógeno (N_2), el Oxígeno (O_2), el Argón (Ar), el Dióxido de Carbono (CO_2) y el vapor de agua. La siguiente tabla recoge el porcentaje de volumen de aire que cada uno de ellos representa. Es importante recordar que la concentración de estos gases varía con la altura, siendo especialmente acusadas las variaciones del vapor de agua, que se concentra sobre todo en las capas próximas a la superficie.

Componentes	Volumen (%)
Nitrógeno	78.08
Oxígeno	20.95
Argón	0.93
Dióxido de carbono	0.03
Vapor de Agua	1.00

Tabla 2.1. Composición de la atmósfera.



¿Se te ocurre algún experimento sencillo para demostrar que el aire contiene vapor de agua?

La presencia de los gases que componen el aire es esencial para el desarrollo de la vida sobre la Tierra. Por un lado, el O_2 y el CO_2 permiten la realización de las funciones vitales de animales y plantas, y por otro, la presencia del vapor de agua y del CO_2 , permiten que las temperaturas sobre la Tierra sean las adecuadas para la existencia de la vida. El vapor de agua y el CO_2 , junto con otros gases menos abundantes como el metano o el ozono, son los llamados gases de **efecto invernadero**. La radiación solar puede atravesar sin dificultad estos gases, pero la radiación emitida por la Tierra (tras calentarse con la energía solar) es absorbida en parte por ellos, sin poder escapar al espacio en su totalidad. ¡Menos mal que existe el efecto inver-

nadero! ¡Si no, la temperatura sobre la superficie terrestre estaría por debajo de los -15°C !.

En la atmósfera, además de la densidad y la composición del aire, también la temperatura varía con la altura. De hecho, a partir de esta variación térmica la atmósfera puede dividirse en capas. Concretamente:

Troposfera: Es la capa más baja, en la que se desarrolla la vida y la mayoría de los fenómenos meteorológicos. Se extiende hasta una altura aproximada de 10 km en los polos y 18 km en el ecuador. En la troposfera la temperatura disminuye paulatinamente con la altura hasta alcanzar los -70°C . Su límite superior es la tropopausa.

Estratosfera: En esta capa, la temperatura se incrementa hasta alcanzar aproximadamente los -10°C a unos 50 km de altitud. Es en esta capa donde se localiza la máxima concentración de ozono, “capa de ozono”, gas que al absorber parte de la radiación ultravioleta e infrarroja del Sol posibilita la existencia de condiciones adecuadas para la vida en la superficie de la Tierra. El tope de esta capa se denomina estratopausa.

Mesosfera: En ella, la temperatura vuelve a disminuir con la altura hasta los -140°C . Llega a una altitud de 80 km, al final de los cuales se encuentra la mesopausa.

Termosfera: Es la última capa, que se extiende hasta varios cientos de kilómetros de altitud, presentando temperaturas crecientes hasta los 1000°C . Aquí los gases presentan una densidad muy baja y se encuentran ionizados.

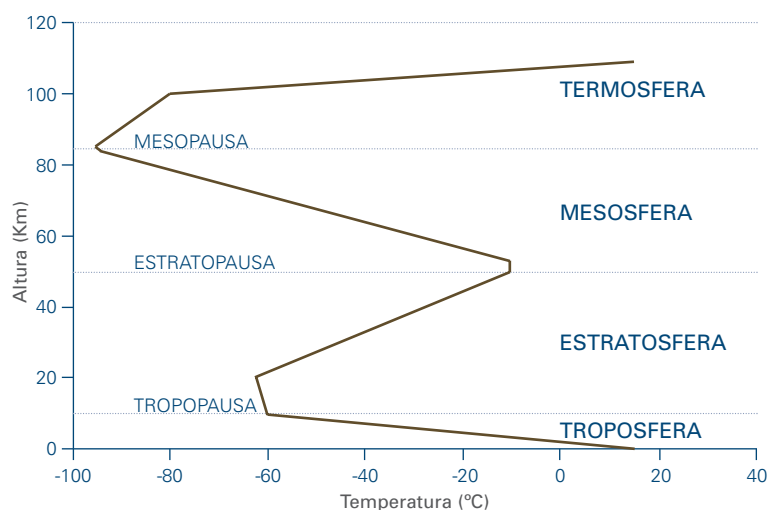
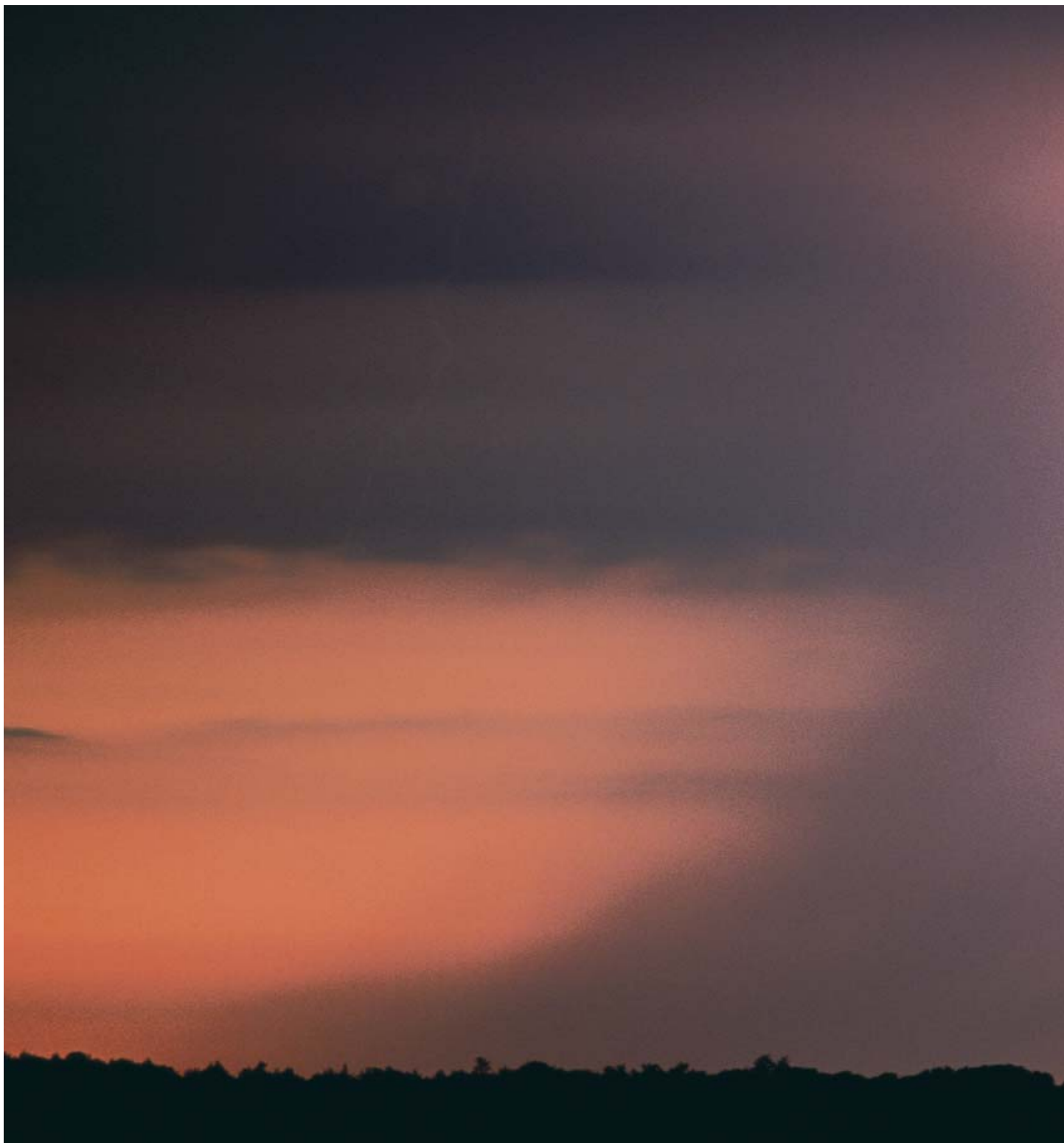


Figura 2.1. Perfil térmico de la atmósfera.





3. LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

3.1. LA TEMPERATURA

Es de todos conocido que la temperatura es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. De hecho, la información meteorológica que aparece en los medios de comunicación casi siempre incluye un apartado dedicado a las temperaturas: sabemos que la temperatura del aire varía entre el día y la noche, entre una estación y otra, y también entre una ubicación geográfica y otra. En invierno puede llegar a estar bajo los 0° C y en verano superar los 40° C.

Formalmente, la temperatura es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presenten éstas, mayor será la temperatura.

Para medir la temperatura, tenemos que basarnos en propiedades de la materia que se ven alteradas cuando ésta cambia: la resistencia eléctrica de algunos materiales, el volumen de un cuerpo, el color de un objeto, etc. El instrumento que se utiliza para medir la temperatura se llama **termómetro** y fue inventado por Galileo en 1593. Hay muchos tipos distintos de termómetros. El modelo más sencillo consiste en un tubo graduado de vidrio con un líquido en su interior que puede ser, por ejemplo, alcohol o mercurio. Como estos líquidos se expanden más que el vidrio, cuando aumenta la temperatura, asciende por el tubo y cuando disminuye la temperatura se contrae y desciende por el tubo.



A menudo el hombre del tiempo habla de temperaturas máximas y mínimas. Lee las siguientes frases y expresa su significado:

- *Madrid y Ceuta han tenido durante estos días temperaturas mínimas próximas a los 24 grados.*
- *A partir de mañana descenderán las temperaturas máximas.*

Efectivamente, en Meteorología es muy habitual hablar de temperaturas máximas y mínimas, los valores más altos y más bajos registrados en un periodo de tiempo, por ejemplo, un día. Para medir estas temperaturas extremas se utilizan los denominados termómetros de máxima y mínima:

- El termómetro de máxima consta de un termómetro ordinario, cuyo tubo tiene interiormente cerca del depósito una estrangulación: cuando la temperatura sube, la dilatación del mercurio del depósito empuja con suficiente fuerza para vencer la resistencia opuesta por la estrangulación. En cambio, cuando la tempe-

ratura baja y la masa de mercurio se contrae, la columna se rompe, quedando, por consiguiente, su extremo libre en la posición más avanzada que haya ocupado durante todo el intervalo.

- El termómetro de mínima es de alcohol y lleva en su interior un índice de esmalte sumergido en el líquido. Cuando la temperatura sube, el alcohol pasa entre las paredes del tubo y el índice, y éste no se mueve; en cambio cuando la temperatura disminuye, el alcohol arrastra en su movimiento de retroceso dicho índice porque éste encuentra una resistencia muy grande a salir del líquido. La posición del índice, indica, por tanto, la temperatura más baja alcanzada.



Figura 3.1. Distintos termómetros de máxima y mínima.

Como toda magnitud física, la temperatura tiene asociadas unas unidades de medida, diferentes en función de la escala que elijamos:

Escala Celsius (°C): Fue propuesta en 1742 por el astrónomo Anders Celsius. Consiste en una división regular en 100 intervalos, donde el 0 corresponde al punto de congelación del agua y el 100 al punto de ebullición del mismo. Se expresa en grados centígrados y es la que utilizamos habitualmente.

Escala Fahrenheit (°F): Fue introducida en 1714 por Gabriel D. Fahrenheit y se utiliza habitualmente en Estados Unidos. El termómetro se gradúa entre 32 °F (correspondiente a los 0°C) y 212 °F (correspondientes a los 100°C).

Escala Kelvin (K): Fue introducida por Lord Kelvin en 1848 y es la escala más usada por los científicos. Es una escala que no tiene valores negativos de la temperatura y su cero se sitúa en el estado en el que las partículas que forman un material no se mueven. El punto de ebullición del agua corresponde a 373 K y el de congelación a 273 K. Por tanto, una variación de 1 grado en la escala Kelvin es igual que una variación de 1 grado en la escala Celsius.

Para cambiar de una escala a otra, debemos utilizar las siguientes ecuaciones de conversión:

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32 \quad \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$$



¿A cuántos grados Kelvin equivalen 30°C? ¿Y a cuántos grados Fahrenheit?

Otra cuestión importante a la hora de medir la temperatura del aire ambiente en superficie es saber dónde colocar el termómetro para medir correctamente dicho valor. Si lo colocamos cerca de una pared, medirá la temperatura de ésta; si está expuesto al viento marcará un valor y si está protegido marcará otro; si está bajo la acción directa del sol, absorberá la radiación solar y se calentará sin que intervenga apenas el aire, indicando una temperatura superior a la de éste. Para que todos los meteorólogos del mundo puedan comparar sus medidas entre sí, la Organización Meteorológica Mundial (www.wmo.ch) da las pautas sobre cómo se deben colocar los termómetros: deben estar ventilados, protegidos de la precipitación y de la radiación solar directa, y a una determinada altura del suelo (para que la energía que durante el día absorbe la tierra no modifique las medidas).



¿Si quisieses medir la temperatura que tiene el aire a una hora concreta de un día soleado en tu localidad, en dónde de estos tres sitios sería mejor colocar el termómetro?

- a) En una rama de un árbol, bajo la sombra de la misma;
- b) Sobre la fachada sur de un edificio;
- c) En el tejado de una casa.

Ya hemos comentado que el aire no se encuentra siempre a la misma temperatura. Por ejemplo, en Al Aziziyah, en Libia se han llegado a alcanzar valores de temperatura tan altos como los 58°C, mientras que en Vostok (estación investigadora

rusa en la Antártida) las temperaturas han llegado a disminuir hasta los -89°C . En el caso de España, las temperaturas más extremas registradas han sido: 51°C en Sevilla y -32°C en Lérída.

El hecho de que el aire se caliente o se enfríe está relacionado con que éste reciba calor o lo deje escapar. Piensa en un vaso de refresco en el que echas unos cubitos de hielo. ¿Qué es lo que ocurre? Los átomos del refresco se mueven más rápido que los de los cubitos de hielo y, por ello, tienen mayor temperatura. Al ponerse en contacto el refresco con el hielo, parte de la energía de aquél pasa a éste hasta que las temperaturas se igualan. Esa energía que pasa de un cuerpo a otro se denomina *calor*. De igual modo, la superficie terrestre calienta el aire durante el día, y lo enfría durante la noche. Si es un día despejado y el suelo se ha calentado mucho, la temperatura del aire será elevada. Si por el contrario está nublado y el suelo apenas ha recibido radiación solar, el aire no alcanzará temperaturas demasiado altas. Por supuesto, además de éste, existen otros factores que influyen en la determinación de la temperatura del aire, como la existencia de viento que renueve constantemente el aire de un lugar, o la presencia de humedad.

¿Por qué en invierno sentimos frío?

En invierno nuestro cuerpo está a mayor temperatura que el aire que nos rodea, por lo que perdemos calor hacia él y nos enfiamos.

¿Qué función tiene un abrigo?

El abrigo impide, en parte, la pérdida de calor hacia el exterior.

¿Por qué los tuaregs del desierto se protegen en verano con varias capas de ropa?

Las diversas capas de ropa que utilizan los tuaregs crean cámaras de aire, que aíslan el cuerpo, impidiendo que su temperatura corporal aumente excesivamente por absorción de calor.

¿Qué es la “piel de gallina”?

Cuando nos encontramos en un lugar donde la temperatura es muy baja, un modo automático de mantener la temperatura corporal, evitando la pérdida de calor hacia el exterior, es cerrando los poros de la piel. Esto es lo que da ese aspecto tan conocido de “piel de gallina”.

El temblor es otro mecanismo de protección, en este caso, para aumentar la energía del cuerpo y así elevar su temperatura.

¿Qué función tiene el sudor?

Cuando la temperatura exterior es superior a la del cuerpo, éste se autorregula abriendo los poros de la piel para liberar agua. El agua se evaporará gracias al calor corporal, cuya temperatura descenderá, proporcionándonos una cierta sensación de frescor.

Una cuestión que todavía no hemos abordado, es saber si el aire necesita mucha o poca energía para que su temperatura varíe. Hay una magnitud, que se denomina *calor específico*, que relaciona la energía intercambiada entre un cuerpo y el medio que lo rodea y la variación de la temperatura del cuerpo. La siguiente experiencia de laboratorio puede ayudarnos a entender esta cuestión:



Calienta durante el mismo tiempo 100 gramos de dos sustancias distintas que inicialmente se encuentren a la misma temperatura, por ejemplo, agua pura (1) y aceite (2). Rellena la siguiente tabla con las temperaturas finales de cada sustancia:

T_1 (°C)	T_2 (°C)

Sigue calentando aquella sustancia que lo necesite hasta alcanzar ambas la misma temperatura. ¿Cuánto tiempo has tardado en hacer que las dos sustancias adquieran esta temperatura final? Rellena los datos en la siguiente tabla.

t_1 (s)	t_2 (s)

Como vemos, no todos los cuerpos necesitan que se les suministre la misma cantidad de calor para que su temperatura aumente un cierto valor, lo cual es debido a que su calor específico es distinto. En el caso del agua, necesita aproximadamente 4200 julios de calor para que una masa de 1 kg aumente su temperatura 1 °C. En el caso del aceite, necesita aproximadamente la mitad de calor, unos 2100 julios, para conseguir el mismo aumento de temperatura de la misma masa.

C_1 (J/kg °C)	C_2 (J/kg °C)
4200	2100

Para un suministro de calor Q , ¿qué sustancia variará más su temperatura, una con calor específico muy alto, u otra con calor específico muy bajo? Suponiendo que en nuestro experimento hubiésemos usado también 100 gramos de aire, y sabiendo que su calor específico es de aproximadamente 1000 J/kg °C, ¿se habría calentado éste antes o después que las otras sustancias del experimento?

Pero, todos sabemos que el aire es mucho menos denso que cualquiera de las otras tres sustancias, y que habríamos necesitado un recipiente muy grande para contener los 100 gramos de aire ambiente. ¿Qué volumen exactamente habrían ocupado estos 100 gramos de aire si su densidad es de 0,0011 gr/cm³?

Luego, ¿podemos entonces decir que el aire se calienta con facilidad?

¿Crees que esto tiene algo que ver con el hecho de que las temperaturas sean más suaves en las zonas de mar que en el interior? ¿A qué se deberá?



3.2. LA PRESIÓN ATMOSFÉRICA

¿El aire pesa? Para responder, coge dos globos, hincha sólo uno de ellos y colócalos en sendos extremos de una percha. ¿Qué le ocurre a ésta? ¿Hacia dónde se inclina?



El aire que nos rodea, aunque no lo notemos, pesa y, por tanto, ejerce una fuerza sobre todos los cuerpos debida a la acción de la gravedad. Esta fuerza por unidad de superficie es la denominada *presión atmosférica*, cuya unidad de medida en el Sistema Internacional es el Pascal ($1 \text{ Pascal} = 1 \text{ N/m}^2$).

La presión atmosférica depende de muchas variables, sobre todo de la altitud. Cuanto más arriba en la atmósfera nos encontremos, la cantidad de aire por encima nuestro será menor, lo que hará que también sea menor la presión que éste ejerza sobre un cuerpo ubicado allí. El siguiente gráfico muestra los valores promedio de la presión atmosférica en función de la altitud. En él puede apreciarse cómo la presión atmosférica desciende con la altura, mostrando un decrecimiento aproximadamente exponencial.

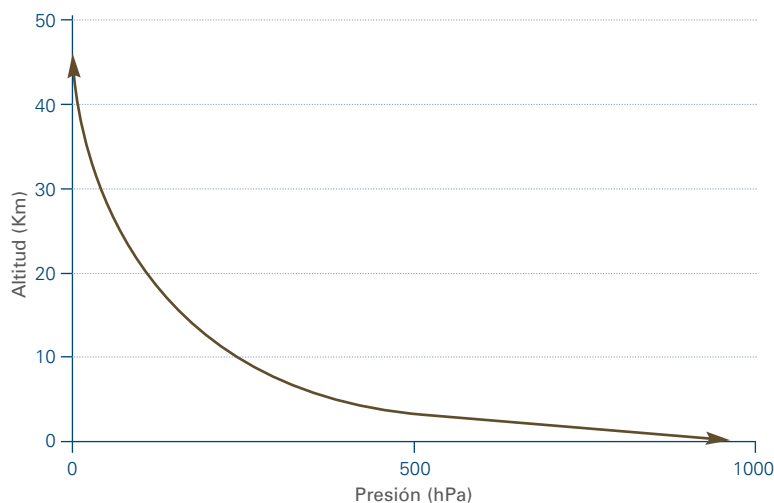


Figura 3.2. Perfil vertical de la presión atmosférica.

Pero la presión atmosférica, además de la altitud, depende de muchas otras variables. La situación geográfica, la temperatura, la humedad y las condiciones meteorológicas son sus principales condicionantes. Precisamente la relación que existe entre la presión atmosférica y el tiempo en un lugar hace de ésta una variable fundamental

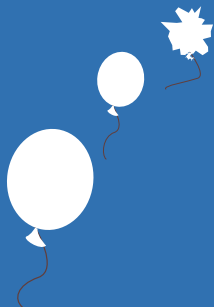
Los efectos de la presión atmosférica son conocidos desde tiempos muy antiguos. En mayo de 1654, el burgomaestre Otto Von Guericke demostró públicamente que el aire tiene peso y que presiona con gran fuerza sobre todos los objetos que hay en la Tierra. Para ello, puso en contacto dos semiesferas metálicas y extrajo el aire del interior de ellas, consiguiendo casi hacer el vacío dentro de ellas. Para demostrar la enorme fuerza que el aire ejercía, dispuso a más de una decena de caballos tirando en sentidos opuestos de cada una de las semiesferas. A pesar de la fuerza empleada por todos estos animales, las semiesferas no se separaron: ¡la fuerza que ejercía el aire para mantenerlas cerradas era incluso superior!



Fuente: Ilustración del libro de Otto Von Guericke



Seguro que alguna vez has visto escapar un globo de helio y elevarse cada vez más alto hasta que estalla. La disminución de la presión que el globo experimenta en el ascenso hace que su volumen sea cada vez mayor, hasta que el material de que está hecho no resiste la tensión y explota.



En la época de Torricelli todavía no se conocían los peligros del mercurio para la salud. Ahora hay otras formas más seguras de medir la presión atmosférica.

en la información meteorológica. En cualquier caso, para poder comparar todos los valores de presión registrados en distintos puntos del mundo y extraer conclusiones respecto a las condiciones atmosféricas, las mediciones directas deben corregirse, al menos respecto a la altitud. Nuevamente, la Organización Meteorológica Mundial establece las pautas para que todas las medidas registradas en distintos lugares del mundo se efectúen del mismo modo, y, por tanto, puedan ser comparables.

La presión debida a la atmósfera puede medirse de forma relativamente sencilla. Torricelli, un matemático italiano del siglo XVII, llevó a cabo un experimento que ha servido de base para la medición y estudio de la presión atmosférica hasta nuestros tiempos:

Torricelli tomó un tubo de vidrio de un metro de largo y cerrado por un extremo. Lo llenó por completo de mercurio, tapó el extremo abierto e introdujo dicho extremo así tapado en una cubeta, también llena de mercurio. Entonces destapó y vio que el tubo empezaba a vaciarse, pasando parte del mercurio a la cubeta. El tubo dejó de vaciarse cuando el desnivel alcanzado entre la cubeta y el tubo alcanzó aproximadamente 76 cm (760 mm). De esto dedujo que tenía que estar actuando una fuerza para impedir que el tubo se vaciara del todo, y pensó que esta fuerza era debida al aire que se encontraba por encima del mercurio de la cubeta. Esa fuerza por unidad de superficie es la llamada Presión Atmosférica.

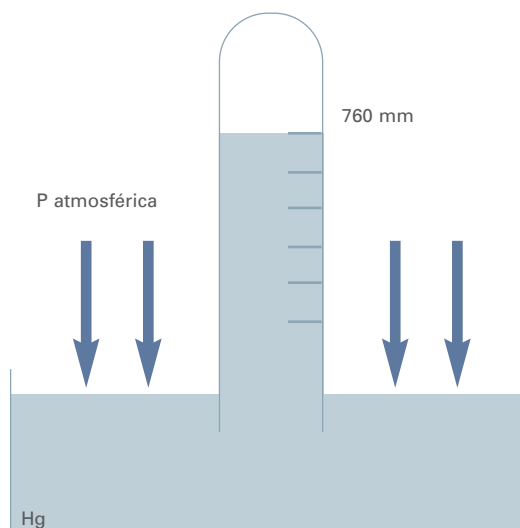


Figura 3.3. Experimento de Torricelli.

Sin embargo, el barómetro de Torricelli no siempre medía el mismo valor de presión atmosférica. Cuando el tiempo estaba lluvioso, detectaba que la columna de mercurio se situaba por debajo de los 760 mm. Cuando el tiempo estaba soleado,

la columna subía por encima de ese nivel. De estas variaciones, dedujo que el tiempo inestable llevaba asociada una disminución de la presión atmosférica, y que el tiempo estable llevaba asociada una subida de la misma.

Existen muy diversas unidades de medida de la presión atmosférica. Las más comunes son: atmósferas, mm de mercurio, pascuales, hectopascuales y milibares. La conversión entre unas y otras puede realizarse teniendo en cuenta que: 1 atmósfera = 760 mmHg = 101300 N/m² (o Pa) = 1013 mb (o hPa).

En un anticiclón la presión atmosférica es elevada, pudiendo registrarse valores de 1040 hPa, mientras que en el centro de un huracán la presión puede llegar a disminuir hasta los 950 hPa. ¿A cuántos milímetros de mercurio (mmHg) corresponden estas situaciones? ¿Y a cuántas atmósferas?

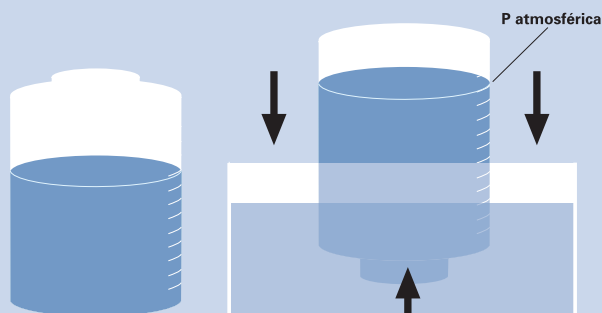
Inspirándonos en la experiencia de Torricelli es fácil construir un barómetro con materiales caseros. Construye tu propio barómetro siguiendo estas instrucciones:

Materiales:

una botella de plástico grande, un recipiente, dos gomas elásticas, una tira de cartón delgado y agua.

Procedimiento:

- Construye una escala con una tira de cartón delgado y sujétala a la botella con las gomas elásticas.
- Llena las tres cuartas partes de la botella con agua y el recipiente casi hasta el borde.
- Coloca la botella boca abajo dentro del recipiente tal y como hizo Torricelli.
- El nivel del agua en la botella se elevará por la presión del aire que empuja hacia abajo el agua del recipiente.
- Marca el nivel del agua del día en que construiste tu barómetro. Puedes averiguar el valor de la presión atmosférica ese día (buscando en el periódico del día) y anotarla para tenerla como referencia.
- A medida que avancen los días, notarás si la presión es más baja o más alta que el valor inicial, o lo que es lo mismo, si está bajando o subiendo.



Algunas reflexiones:

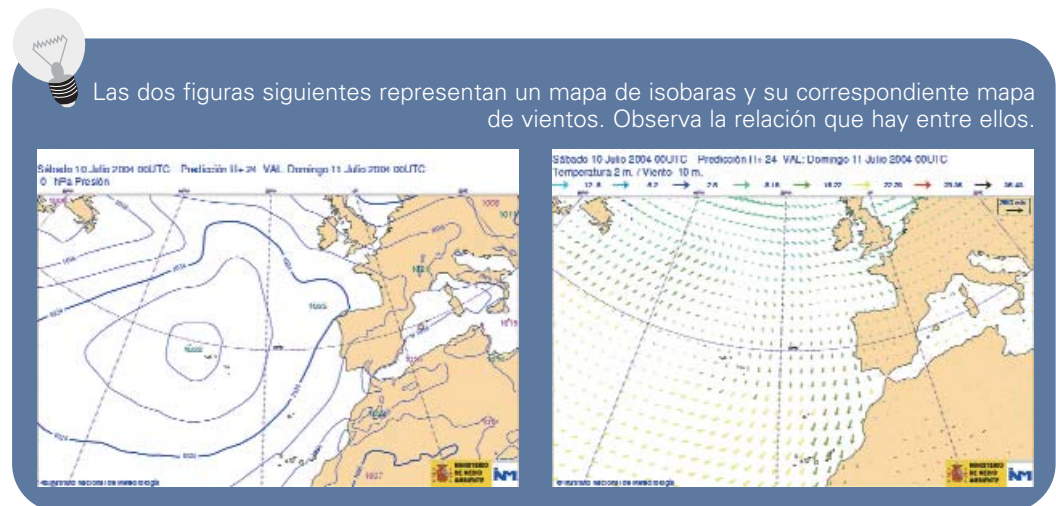
Este barómetro funcionará mejor en invierno que en verano. ¿Por qué? ¿Cómo solucionarías esa limitación?

3. 3. EL VIENTO

El viento consiste en el movimiento de aire desde una zona hasta otra. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura.

En el primer caso, cuando entre dos zonas la presión del aire es distinta, éste tiende a moverse desde la zona de alta presión a la zona de baja presión. Algo similar a lo que ocurre dentro de un tubo de pasta de dientes cuando presionamos en un extremo para hacer salir el dentífrico. Al apretar, lo que producimos es una diferencia de presión entre ese punto y el extremo abierto. Los meteorólogos dirían que se ha producido un gradiente o diferencia de presión entre ambos extremos.

En la atmósfera, existe una relación directa entre presión y viento, lo que hace que los mapas de isobaras, que representan los valores de la presión atmosférica, contengan amplia información sobre la velocidad y dirección del viento. ¡Sólo hace falta saber interpretarlos!.



En el caso de que sea una diferencia térmica el origen del viento, lo que ocurre es que cuando una masa de aire adquiere una temperatura superior a la de su entorno, su volumen aumenta, lo cual hace disminuir su densidad. Por efecto de la flotación, la masa de aire caliente ascenderá, y su lugar será ocupado por otras masas de aire, que en su desplazamiento ocasionarán el viento. Las brisas, que estudiaremos a continuación se producen de esta forma. También éste es el origen de las tormentas estivales y, a mayor escala, de los vientos predominantes en los trópicos.

Comprueba tú mismo el aumento de volumen que experimenta el aire cuando su temperatura aumenta:

Coloca un globo deshinchado sobre la parte superior de un tubo de ensayo, ajustando bien la boquilla del primero al último. Si calientas el tubo de ensayo, puedes ver cómo el globo comienza a inflarse, lo cual quiere decir que el volumen del aire en su interior ha aumentado.



Los meteorólogos clasifican los tipos de viento en función de su velocidad (también llamada intensidad). Una de las escalas más utilizadas es la de Beaufort que, en orden de intensidad creciente, establece los siguientes tipos de viento: Calma, ventolina, flojito, flojo, moderado, fresquito, fresco, frescachón, duro, muy duro, temporal, borrasca y huracán.

¿Cómo se mide el viento?

Para poder disponer de medidas directas de velocidad y dirección del viento, los meteorólogos utilizan distintos instrumentos de medida:

- a) Medida de la velocidad horizontal del viento: el instrumento más utilizado es el **anemómetro de cazoletas** (figura 3.4), en el que el giro de las mismas es proporcional a la velocidad del viento. La unidad de medida es el km/h o el m/s.
- b) Medida de la dirección: para ello se utilizan las veletas, que indican la procedencia geográfica del viento. Hablamos de viento norte, noreste, suroeste, etc. en función de dónde provenga éste.



Figura 3.4. Anemómetro de cazoletas.

Los marineros y pilotos de aviones suelen referirse al viento utilizando los nudos como unidad de medida. ¿A cuántos m/s equivale un nudo?



Algunos tipos especiales de viento

Brisas de mar: Seguro que algún caluroso día de playa has sentido una agradable brisa del mar al acercarte a la orilla. Su origen es el siguiente:

Durante el día, la tierra se calienta más rápidamente que la superficie del mar (el calor específico de la tierra es inferior al del agua, recuerda lo que vimos en el apartado de temperatura), de modo que el aire del interior asciende y es ocupado por aire más fresco procedente del mar.

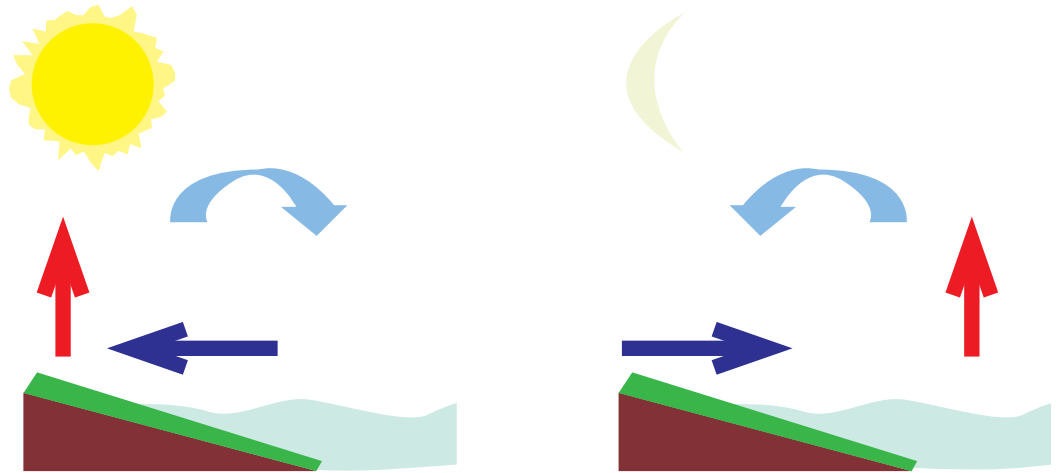


Figura 3.5. Brisas de mar.

Por la noche, la tierra se enfría más rápidamente que el agua, de modo que el aire situado por encima de la superficie del mar está más caliente y tiende a ascender, haciendo que se produzca un flujo de viento de tierra a mar (figura 3.5).

Brisas de montañas y valles: Puede que también hayas sentido el aire fresco que por las noches se produce en muchos valles. En este caso, lo que ocurre es lo siguiente: Durante el día, el aire del valle se calienta rápidamente y tiende a ascender por la colina. Por la noche, el enfriamiento del aire lo hace más denso y desciende hacia el valle desde las cumbres (figura 3.6).

Vientos generados por huracanes y tornados: Es de todos conocido el efecto devastador que puede llegar a tener un huracán, sobre todo cuando afecta a zonas habitadas en las que las casas y edificios no están preparados para soportar la fuerza que el viento puede desarrollar.

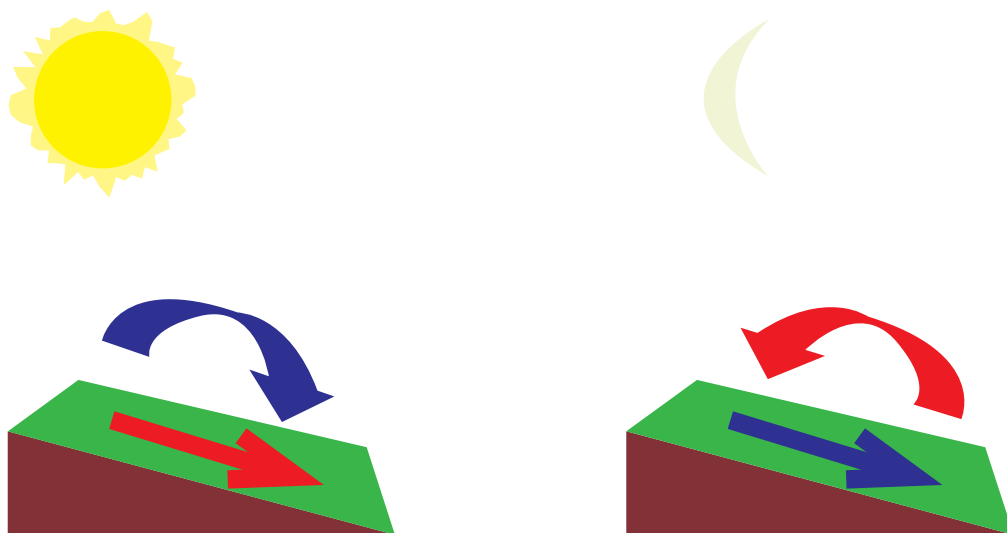


Figura 3.6. Brisas de montañas y valles.

Un **huracán** (o tifón si se produce en la costa oeste del Pacífico Norte) es un fenómeno meteorológico violento que se origina sobre los océanos tropicales, normalmente al finalizar el verano o al principio del otoño, y que se traslada miles de kilómetros sobre el océano, capturando la energía calorífica de las aguas templadas. Su origen se encuentra en una masa uniforme de aire caliente y húmedo que asciende rápidamente. La presión del aire se distribuye de modo simétrico alrededor del centro del sistema y las isobaras son círculos concéntricos muy cercanos entre sí. En un huracán, el viento puede llegar a alcanzar velocidades de 250 km/h aunque los valores más habituales se encuentran alrededor de 119 km/h. En el centro del huracán se encuentra el denominado “ojo”, un área sin nubes y de vientos flojos. A veces, puede parecer que el huracán ya ha pasado por una localidad y que ha cesado la tormenta, cuando en realidad lo que está pasando es el ojo del mismo (que puede llegar a tardar incluso una hora). Después de éste vendrán de nuevo vientos muy intensos y fuertes lluvias.

El **tornado** es un remolino de vientos intensos asociado con la formación de nubes tormentosas de tipo cumulonimbo. Los tornados pueden originarse sobre tierra firme o en el mar a partir de un ascenso rápido de aire muy cálido. El movimiento del aire en forma de espiral, le da el típico aspecto de embudo o manga. Su recorrido por tierra firme puede oscilar entre 1,5 km y 160 km en el caso de un tornado intenso. Los que se generan sobre el mar se denominan mangas marinas. Los vientos que se generan se encuentran alrededor de 180 km/h, aunque se han producido tornados con velocidades de hasta 500km/h. Los tornados se forman en muchos lugares del mundo, incluso se han divisado

algunos en España, aunque los más intensos se generan en las grandes llanuras de Norteamérica.



- 1) ¿Cuál es el origen de la palabra huracán?
- 2) ¿Qué velocidad llegó a alcanzar el viento en el huracán Mitch?

¡Cuidado! No confundas los tornados con muchos de los remolinos turbulentos que se forman en los días de calor despejados.

Vientos locales

Se denominan así los vientos que se producen sólo en determinadas zonas, a menudo consecuencia de las características geográficas y orográficas del lugar. Quizás hayas oído hablar al hombre del tiempo de estos vientos:

- *El Cierzo*: Viento que sopla a lo largo del valle del Ebro.
- *La Tramontana*: Viento frío y turbulento de componente norte que sopla en el noreste de la Península y en las Baleares.
- *El Siroco*: Viento caliente y seco que llega hasta el Mediterráneo procedente del desierto del Sáhara.
- *Levante y Poniente del Estrecho*: Viento intenso que sopla en el Estrecho de Gibraltar procedente del este y el oeste, respectivamente.
- *El Terral*: Viento que se produce en el litoral de la costa cantábrica y mar de Alborán, proveniente del interior y caracterizado por su extrema sequedad y altas temperaturas.

También en otros lugares del mundo hay vientos locales: El Chinook es un viento de Norteamérica que sopla desde las montañas Rocosas, el Mistral es un viento frío del Norte que baja por el valle del Ródano...



- 1) ¿Conoces algún viento local que se dé en tu región? Pregunta a tus familiares si lo conocen y cómo se forma.
- 2) ¿Cómo se denomina la forma de energía alternativa basada en la utilización de la fuerza del viento? ¿Cuáles son sus ventajas e inconvenientes?

3.4. LA RADIACIÓN SOLAR

Cuando un día caluroso de verano nos tumbamos al sol en la playa, notamos cómo nuestro cuerpo se calienta y eleva su temperatura. Lo que ha ocurrido es que los rayos solares, después de atravesar la atmósfera, han calentado nuestro cuerpo, ¡sin calentar apenas el aire!.

Algo parecido a lo que nos ocurre en esta situación, es lo que le ocurre a la Tierra: La atmósfera es casi ‘transparente’ a la radiación solar, pero la superficie terrestre y otros cuerpos situados sobre ella sí la absorben.

La energía transferida por el Sol a la Tierra es lo que se conoce como energía radiante o radiación. Ésta viaja a través del espacio en forma de ondas que llevan asociada una determinada cantidad de energía. Según lo energéticas que sean estas ondas se clasifican en lo que se conoce como el espectro electromagnético (ver figura 3.7). Las ondas más energéticas son las correspondientes al rango del ultravioleta, seguidas por la luz visible, infrarroja y así hasta las menos energéticas que corresponden a las ondas de radio.

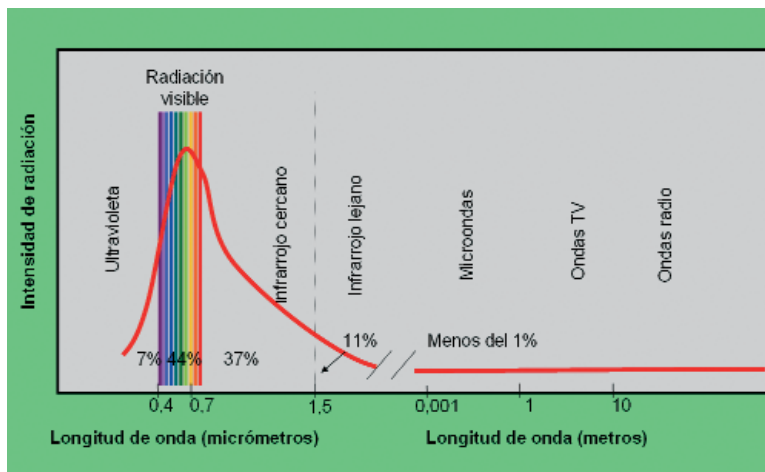


Figura 3.7. Espectro electromagnético del Sol.

¿Qué ondas crees que son las causantes de que tu piel se queme cuando tomas el sol sin protección durante mucho tiempo? De los distintos tipos de radiación que aparecen en la figura 3.7., ¿Cuáles crees que serán percibidas por el ojo humano?



Todos los cuerpos emiten radiación en función de su temperatura. La ley de Stefan-Boltzmann establece que la energía emitida por un cuerpo (E) es directamente proporcional a la cuarta potencia de su temperatura (T): $E = \sigma \times T^4$, donde σ es la constante de Stefan-Boltzmann.

Así, el Sol, un trozo de leña incandescente, tu cuerpo, la superficie de la Tierra, un trozo de hielo.....todos ellos están radiando energía de forma continua. ¿Por qué somos capaces de ‘ver’ la radiación emitida por el Sol y el carbón ardiente en la chimenea y no la que emite la Tierra, el hielo o nuestro cuerpo? Porque dependiendo

de la temperatura que alcanza cada uno de ellos, y por tanto de su energía, emiten predominantemente un tipo de ondas u otras. La línea roja continua de la figura 3.7 nos indica la intensidad de la radiación emitida por el Sol para los distintos tipos de ondas electromagnéticas. Como vemos, el Sol, que tiene una temperatura cercana a los 6.000 K emite fundamentalmente ondas del rango del visible, conocidas habitualmente como *luz* (44%), otra parte está en el rango del ultravioleta (7%) y casi todo el resto es infrarrojo (48%). Sin embargo, nuestro cuerpo, a una temperatura media de unos 37 °C, emite ondas principalmente en el rango del infrarrojo (que no son percibidas por el ojo humano).



Si la Tierra y todos los cuerpos que existen sobre ella están emitiendo energía de forma continua, ¿por qué no se enfrían progresivamente?

La respuesta se encuentra en que a la vez también están absorbiendo cierta cantidad de energía. Si un objeto radia la misma cantidad de energía que la que absorbe, mantiene su temperatura constante (equilibrio radiativo). Así, en nuestro sistema tierra-atmósfera se producen una serie de procesos en los que se absorbe, emite y refleja energía, de manera que el balance final entre la radiación que llega al tope de la atmósfera procedente del Sol y la que sale al espacio exterior, es cero. Es decir que la temperatura anual promedio se mantiene constante. ¿Cómo se consigue este equilibrio? Observa la figura 3.8, en la que se representa esquemáticamente el balance promedio anual de la energía en el sistema tierra-atmósfera.

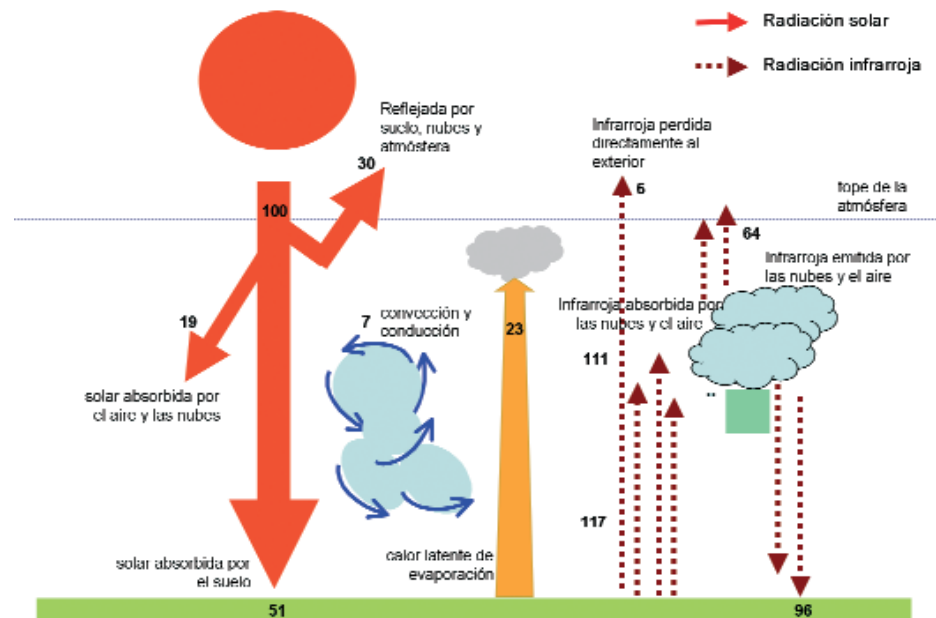


Figura 3.8. Balance radiativo del sistema tierra-atmósfera.

Como vemos, la gran mayoría de la radiación solar (flechas rojas) es absorbida por la superficie terrestre (51%), sólo el 19% de ella es absorbida directamente por los componentes atmosféricos y las nubes y el 30% es reflejada por la superficie, las nubes, y los gases y partículas de la atmósfera, y devuelta al espacio exterior.

A la cantidad de radiación que es reflejada por un cuerpo respecto a la radiación incidente, se le conoce como ‘albedo’ (ver figura 3.9.). Por tanto, podemos decir que el sistema tierra-atmósfera tiene un albedo promedio del 30%. La nieve recién caída o algunos cumulonimbos de gran desarrollo vertical, presentan un albedo cercano al 90%, mientras que los desiertos tienen cerca del 25% y los océanos, alrededor de un 10% (absorben casi toda la radiación que les llega).

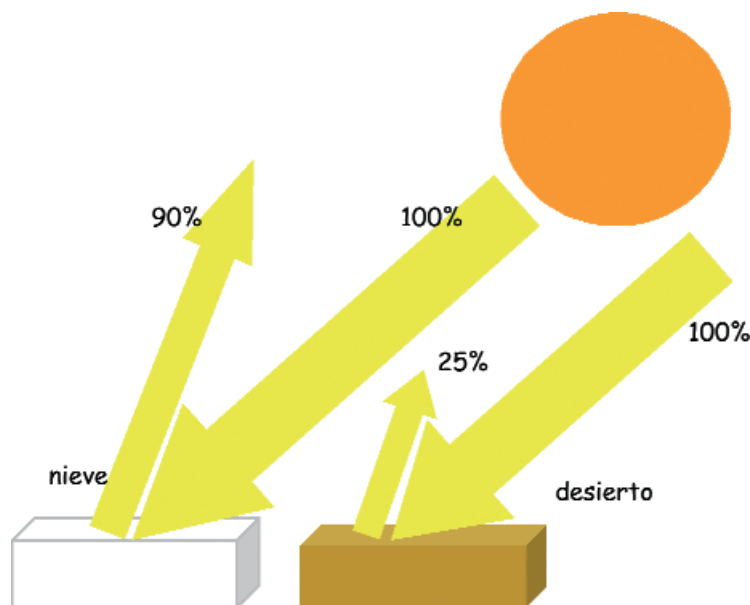


Figura 3.9. Albedo promedio de la nieve y el desierto.

Analizando la figura del balance radiativo en el sistema tierra-atmósfera, calcula cuantas unidades de energía en total son emitidas por la Tierra.



Si has hecho bien el cálculo, habrás obtenido ¡147 unidades!, en lugar de las 51 que cabría esperar. Recuerda que el suelo sólo absorbía 51 unidades de radiación solar directa. ¿De dónde han salido las 96 unidades ‘extra’?

Este “exceso” de energía procede básicamente de los gases de efecto invernadero (vapor de agua y CO_2) y de las nubes. Estos componentes de la atmósfera, después

de absorber las 111 unidades de radiación infrarroja emitidas por la tierra, le devuelven la mayor parte de dicha energía (96 unidades).

Gracias a estos mecanismos, la temperatura media anual de la atmósfera no cambia de un año a otro, manteniéndose en valores promedio cercanos a los 15°C.



¿Qué ocurriría si la concentración de gases de efecto invernadero aumentase notablemente?

La cantidad de radiación solar recibida en un punto se mide mediante un aparato denominado **piranómetro**. Consiste en un sensor encerrado en un hemisferio transparente que transmite toda la radiación de longitud de onda inferior a 3×10^{-6} metros. Dicho sensor tiene un disco con segmentos blancos y negros alternados que absorben la radiación incidente de modo distinto. El contraste de temperatura entre esos segmentos se calibra en función del flujo de radiación (unidades de W/m^2).

Otro modo de tener una estimación de la radiación solar recibida es mediante la medición del número de horas de sol. Para ello se utiliza un instrumento llamado **heliógrafo** (ver figura 3.10). Éste está formado por una esfera de vidrio orientada hacia el sur geográfico, que actúa como una gran lupa, concentrando toda la radiación recibida en un punto incandescente que va quemando una cinta de un papel especial graduada con las horas del día.



Figura 3.10. Heliógrafo

3.5. LA HUMEDAD

El agua es uno de los principales componentes de la atmósfera, en la que puede existir como gas, como líquido, y como sólido. La presencia del agua en los tres estados de agregación se debe a que las condiciones físicas (temperatura y presión) necesarias para que se produzcan dichos cambios de estado se dan normalmente en la atmósfera.



Piensa en qué estado de agregación se encuentra cada una de las siguientes formas en las que el agua se presenta en la atmósfera:
Escarcha, niebla, granizo, vapor de agua, nube, lluvia y nieve.
¿Has visto en alguna ocasión al agua cambiar de un estado a otro? Piensa en algún ejemplo que se dé en la atmósfera.

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores, como si ha llovido recientemente, si estamos cerca del mar, si hay plantas, etc.

Existen diversas maneras de referirnos al contenido de humedad en la atmósfera:

- *Humedad absoluta*: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1m^3 de aire seco.
- *Humedad específica*: masa de vapor de agua, en gramos, contenida en 1 kg de aire.
- *Razón de mezcla*: masa de vapor de agua, en gramos, que hay en 1 kg de aire seco.



Las estaciones meteorológicas de La Coruña, Madrid y Ghardaia (Argelia) transmitieron datos de humedad de sus respectivas estaciones según la siguiente tabla.
¿Sabrías decir cuál corresponde a cada uno?

Ayuda:

Expresa todas las humedades en unidades de razón de mezcla para poder compararlas.
Datos: Densidad media del aire seco: $0,0013\text{ g/cm}^3$; densidad media del aire húmedo: $0,0011\text{ g/cm}^3$

Estación	Valor registrado	Nombre de la estación
A	Humedad absoluta: 2 g/m^3	
B	Humedad específica: 15 g/kg	
C	Razón de mezcla: 7 g/kg	



En una noche de invierno, ¿en qué situación se producirá con más facilidad el rocío: cuando el cielo esté cubierto de nubes o cuando esté despejado?



En el gráfico de E frente a T , ¿qué humedad relativa tendrán todos los puntos que están sobre la curva?

Sin embargo, la medida de humedad que más se utiliza es la denominada **humedad relativa**, que se expresa en tanto por ciento (%) y se calcula según la siguiente expresión:

$$h = \frac{e}{E} 100$$

En ella, e representa el contenido de vapor de la masa de aire y E su máxima capacidad de almacenamiento de éste, llamada *presión de vapor saturante*. Este valor nos indica la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener una masa de aire antes de transformarse en agua líquida (esto es lo que se conoce como *saturación*). De alguna forma, la humedad relativa nos da una idea de lo cerca que está una masa de aire de alcanzar la saturación. Una humedad relativa del 100% es indicativo de que esa masa de aire ya no puede almacenar más vapor de agua en su seno, y a partir de ese momento, cualquier cantidad extra de vapor se convertirá en agua líquida o en cristallitos de hielo, según las condiciones ambientales.

En el gráfico adjunto se representa cómo varía la presión de vapor saturante, E , en función de la temperatura, T . Vemos que E crece exponencialmente con la temperatura. Esto significa que cuanto más caliente esté una masa de aire, mayor cantidad de vapor de agua se necesitará para llegar a la saturación y empezar a producirse la condensación del vapor sobrante.

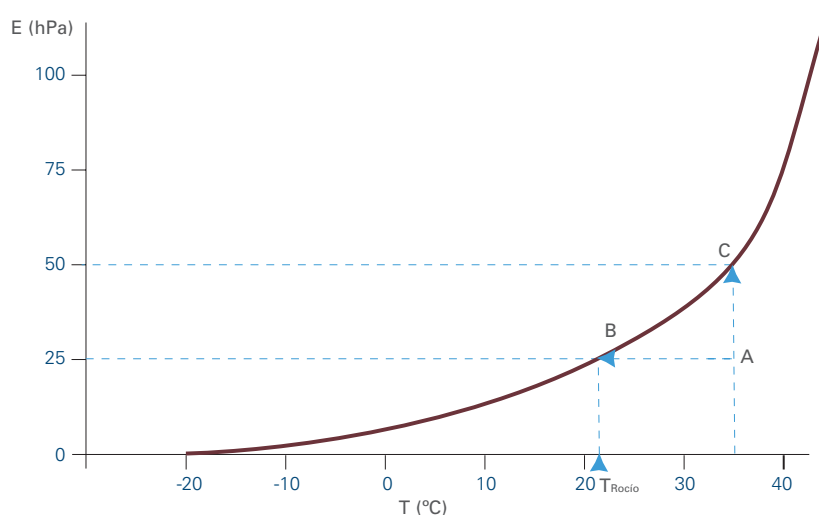


Figura 3.11. Relación entre la presión de vapor saturante y la temperatura.

¿Cómo podemos hacer que una masa de aire llegue a la saturación?

Para entender cómo se puede conseguir que una masa de aire llegue a la saturación, piensa qué ocurre a veces cuando en un día de invierno exhalamos nuestro aliento.



El aire que exhalamos al respirar tiene una temperatura y un contenido de vapor determinados (podría ser el punto A del gráfico anterior). Sin embargo, al salir de nuestra boca y ponerse en contacto con el aire frío del exterior, se reduce bruscamente su temperatura. Debido a su enfriamiento, la masa de aire pierde capacidad para contener vapor, llegando fácilmente a la saturación. Entonces el vapor de agua condensa y forma el ‘vaho’. En el gráfico anterior, hemos pasado del punto A al punto B reduciendo la temperatura sin modificar el contenido de vapor, consiguiendo una humedad relativa del 100%.

Éste es el mismo mecanismo que origina la formación del **rocío** (esas pequeñas gotitas que observamos a veces en las primeras horas de la mañana en las hojas de las plantas situadas en el exterior muy cerca del suelo).

La temperatura a la que hay que enfriar una masa de aire para producir la condensación, sin variar su contenido de vapor, se denomina ‘Temperatura de rocío’.

Imagina que un día de invierno vas en coche con otros cuatro amigos y tienes estropeada la calefacción. ¿Qué les suele ocurrir al cabo de cierto tiempo a las ventanillas?



Efectivamente, el contenido de vapor de agua en el aire de nuestro coche ha empezado a crecer rápidamente debido a la respiración de las cinco personas, hasta que el aire se ha saturado ($h = 100\%$). A partir de ese momento todo el vapor excedente se ha empezado a condensar sobre las ventanillas, empañándolas. En este caso hemos mantenido prácticamente constante la temperatura de la masa de aire, pero hemos añadido vapor de agua hasta alcanzar la saturación. En el gráfico de E frente a T correspondería al paso del punto A al C.

Si una persona con gafas, que viene de la calle en invierno, entra en una habitación en la que hay gente y la calefacción está encendida, lo normal es que se le empañen las gafas. ¿Por qué se produce este efecto?



¿Cómo se mide la humedad y la evaporación?

La humedad se suele medir mediante un instrumento denominado **psicrómetro**. Este consiste en dos termómetros iguales, uno de los cuales, llamado “termómetro seco”, sirve sencillamente para obtener la temperatura del aire. El otro, llamado “termómetro húmedo”, tiene el depósito recubierto con una telilla humedecida por medio de una mecha que la pone en contacto con un depósito de agua. El funcionamiento es muy sencillo: el agua que empapa la telilla se evapora y para ello toma el calor del aire que le rodea, cuya temperatura comienza a bajar. Dependiendo de la temperatura y el contenido inicial de vapor de la masa de aire, la cantidad de agua evaporada será mayor o menor y en la misma medida se producirá un mayor o menor descenso de temperatura del termómetro húmedo. En función de estos dos valores se calcula la humedad relativa mediante una fórmula matemática que las relaciona. Para mayor comodidad, con el termómetro se suministran unas tablas de doble entrada que dan directamente el valor de la humedad relativa a partir de las temperaturas de los dos termómetros, sin tener que realizar ningún cálculo.

Existe otro instrumento, más preciso que el anterior, denominado **aspiropsicrómetro**, en el que mediante un pequeño motor, se asegura que los termómetros estén ventilados continuamente.



¿Sabes que el pelo humano puede utilizarse para medir el contenido de humedad del aire? Efectivamente, su longitud es muy sensible a las variaciones de humedad del aire que le rodea, alargándose cuando ésta aumenta y acortándose cuando disminuye.

Otra variable relacionada con la humedad es la evaporación, que puede medirse mediante un instrumento denominado evaporímetro. Este aparato está formado por un tubo de vidrio cerrado por un extremo y abierto por el otro, y graduado en milímetros, que se llena de agua. Su extremo abierto se tapa mediante un disco de papel secante, que impide que el agua se derrame, pero que se impregna con ella y la deja evaporar sobre toda su superficie con mayor o menor rapidez, según las condiciones de temperatura y humedad del aire. La evaporación se calcula tomando un dato diario y restando la medida del dato del día anterior.



Un jardinero tiene que programar el riego automático de un jardín para el mes de julio. ¿A qué hora del día le recomendarías que regase, al mediodía o al atardecer?
¿Cuándo crees que tardará menos en secarse la colada, en un día ventoso o en un día con viento en calma?

En efecto, la temperatura y el viento intenso aceleran el ritmo al que el agua de una superficie se evapora.

3.6. LA PRECIPITACIÓN

Una nube puede estar formada por una gran cantidad de gotitas minúsculas y cristaltitos de hielo, procedentes del cambio de estado del vapor de agua de una masa de aire que, al ascender en la atmósfera, se enfría hasta llegar a la saturación.



Fabrica tu propia nube

Empezamos poniendo un poco de agua en un tarro de boca ancha. Después encendemos una cerilla y dejamos que el humo quede dentro del tarro, al cual tapamos con un globo grande metido hacia dentro y ajustando la boca de éste a la del tarro con una goma colocada por fuera. Después, mientras que alguien sujeta firmemente el tarro hacia abajo, otra persona tira fuerte del globo hacia arriba. Mira el tarro al trasluz. ¿Qué ocurre dentro de él? ¿Y si sueltas el globo? ¿Puedes explicar lo ocurrido?

¿Dónde hay más probabilidad de que se formen nubes: en una zona industrial donde el aire suele estar más contaminado o en una zona de campo, en la que el aire suele estar limpio de contaminantes?

Lo que hemos hecho no es ni más ni menos que reproducir las condiciones ambientales para la formación de una nube. Tirando del globo hemos hecho disminuir la presión dentro del tarro hasta que ésta alcance el valor que hace que el aire se sature y condense a la temperatura a la que estamos. Poniendo el humo en el tarro, hemos proporcionado pequeñas partículas sobre las que se origina más fácilmente la condensación.

En la realidad, para que el vapor existente en una masa de aire que alcanza la saturación pueda condensarse en forma de gotitas es preciso que se cumplan dos condiciones: la primera es que la masa de aire se haya *enfriado lo suficiente*, y la segunda es que existan en el aire *núcleos de condensación* (denominados núcleos higroscópicos) sobre los que puedan formarse gotitas de agua.

¡Intenta formar una nube sin el humo de la cerilla!

Una vez que se han formado las nubes, ¿qué es lo que hace que den o no lugar a la lluvia, el granizo o la nieve, es decir a algún tipo de precipitación? Las minúsculas gotitas que forman la nube y que se encuentran en suspensión dentro de ella gracias a la existencia de corrientes ascendentes, empezarán a crecer a expensas de otras gotitas que encuentran en su caída. Sobre cada gotita actúan fundamentalmente dos fuerzas: la debida al arrastre que la corriente de aire ascendente ejerce sobre ella, y el peso de la gotita.



¿De qué tipo de nubes crees que procederá la llovizna, de una nube fina de poco espesor o de una nube de mucho desarrollo vertical?



¿En qué consiste el fenómeno denominado “virga”?

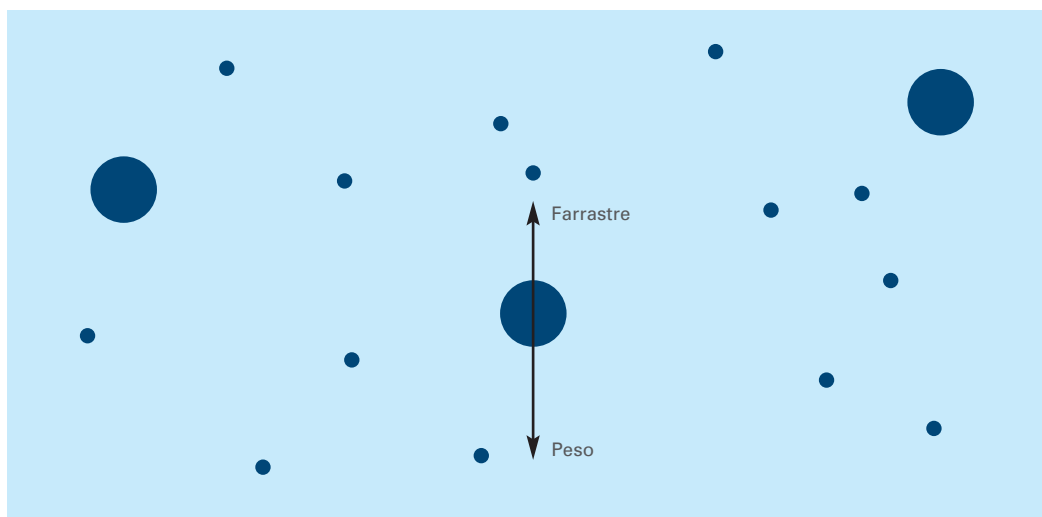


Figura 3.12. Equilibrio de fuerzas sobre una gotita en el interior de una nube.

Cuando éste es suficientemente grande como para vencer la fuerza de arrastre, la gotita caerá hacia el suelo, produciendo la lluvia. Las gotitas alcanzarán mayor tamaño cuanto más tiempo pasen dentro de la nube ascendiendo y descendiendo y cuanto mayor sea el contenido de agua líquida de la misma.

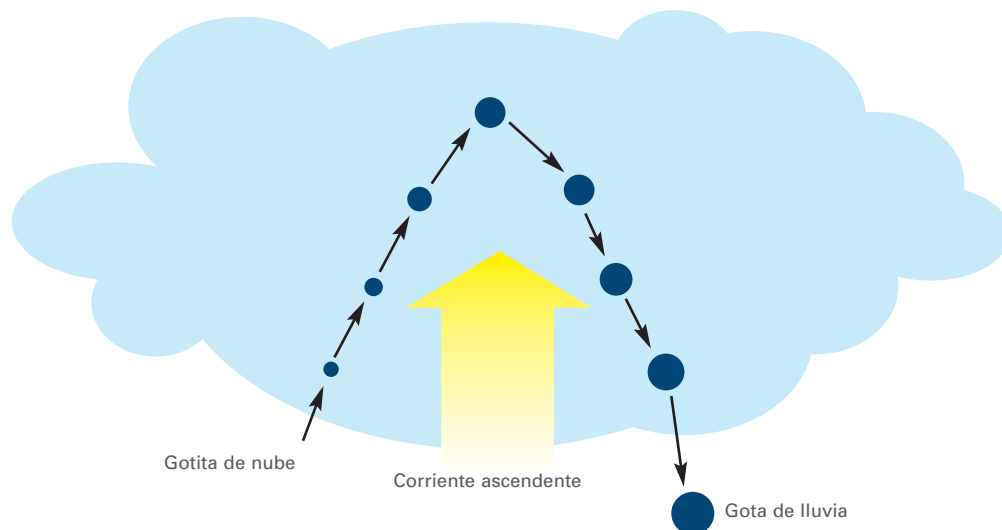


Figura 3.13. Proceso de crecimiento de una gotita en el interior de una nube.

Dependiendo del tamaño de las gotas que lleguen al suelo y de cómo caigan tendremos distintos tipos de precipitación líquida: llovizna (gotas pequeñas que caen uniformemente), chubasco (gotas de mayor tamaño y que caen de forma violenta e intensa), etc.

La precipitación se puede dar también en forma sólida. El origen de la misma está en la formación de cristales de hielo en las nubes que tienen su tope a grandes alturas y bajísimas temperaturas (-40°C). Estos cristales pueden crecer a expensas de gotitas de agua a muy baja temperatura que se congelan sobre ellos (siendo el inicio de la formación del granizo) o bien uniéndose a otros cristales para formar los copos de nieve. Cuando alcanzan un tamaño adecuado y debido a la acción de la gravedad, pueden salir de la nube dando lugar a la precipitación sólida en superficie, si las condiciones ambientales son las apropiadas. A veces los copos de nieve o el granizo que salieron de la nube, si encuentran una capa de aire cálida en su caída, se derriten antes de alcanzar el suelo, dando lugar finalmente a precipitación en forma líquida.



En algunas regiones de España, donde la llovizna es un fenómeno muy frecuente, se le suele dar un nombre particular. Así en Asturias y Galicia se la denomina 'orballo', en el País Vasco, 'sirimiri' y 'calabobos' en otras regiones.

Clasifica los siguientes tipos de precipitación según sea líquida o sólida:

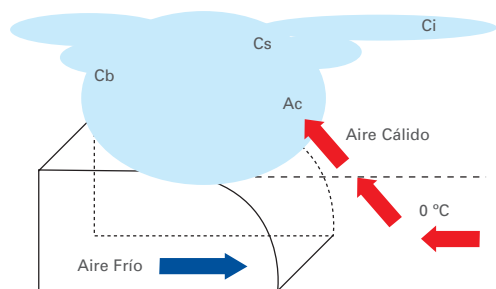
- Pedrisco
- Aguanieve
- Granizo
- Ventisca
- Llovizna



Ya hemos visto que el tipo de precipitación depende principalmente de cómo sea la nube de la que procede. Las formas más habituales de precipitación son la de tipo frontal, la de tipo orográfico y la de tipo 'convectivo' o tormentoso.

La precipitación frontal procede de las nubes que van asociadas a los frentes, ya sean de tipo cálido o frío. Un frente frío se forma cuando una masa de aire frío empuja y desplaza hacia arriba a una masa más cálida. En su ascenso, ésta se enfría y da origen a la formación de nubosidad. En el caso de un frente cálido, una masa de aire cálido se desliza sobre otra más fría que ella (véase la figura 3.14).

FRENTE FRÍO



FRENTE CÁLIDO

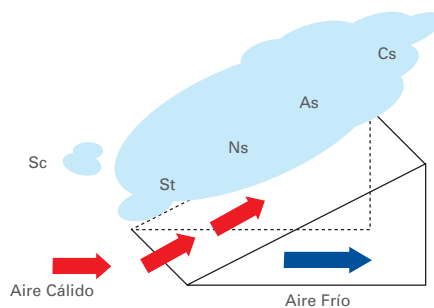


Figura 3.14. Nubosidad típicamente asociada a los frentes fríos y cálidos.

Las nubes que se forman en los frentes fríos (normalmente Cumulonimbos, Cb, Altocúmulos, Ac) suelen ser de mayor desarrollo vertical y por tanto producen precipitaciones más intensas y de mayor tamaño de gota que las que se generan en los frentes cálidos, que tienen forma más estratificada (Nimboestratos, Ns, Estratos, St, Estratocúmulos, Sc). Éstas darán lugar normalmente a precipitaciones más suaves, tipo llovizna.

En el caso de las precipitaciones procedentes de las tormentas, también llamadas ‘sistemas convectivos’, las nubes son de mucho desarrollo vertical (cumulonimbos) por lo que producirán lluvias intensas y de corta duración, muchas veces torrenciales.

¿Cómo se mide la cantidad de precipitación caída durante un intervalo de tiempo determinado?

El instrumento que se suele utilizar para medir la precipitación caída en un lugar y durante un tiempo determinado se denomina **pluviómetro**.



Construye tu propio pluviómetro

Para ello necesitarás dos frascos, uno grande y otro pequeño, y un embudo. Marca en el pequeño la altura en cm. y colócalos como se muestra en la figura.



Calcula la superficie del embudo, puesto que la lluvia caída ha sido interceptada por dicha superficie. Después mide los cm. de agua que se han recogido en el frasco pequeño. El volumen de agua, será la cantidad de lluvia por unidad de superficie. Calcula a diario la cantidad de precipitación que se recoge en un lugar próximo a tu clase.

Este aparato está formado por una especie de vaso en forma de embudo profundo que envía el agua recogida a un recipiente graduado donde se va acumulando el total de la lluvia caída.

Existen ciertos factores que pueden interferir en una medida correcta de la precipitación. Así, para evitar las salpicaduras de las gotas de lluvia al incidir sobre el borde exterior del pluviómetro se construye con los bordes biselados. También se pintan de blanco para reducir la absorción de radiación solar y evitar en lo posible la evaporación. Además, haciendo que el conducto por el que cae el agua al recipiente interior sea estrecho y profundo, reducimos también la cantidad de agua evaporada. Otro factor importante es la situación del aparato, pues no debe colocarse cerca de edificios o cualquier otro obstáculo que pueda alterar el ritmo de la precipitación. En las zonas de montaña, donde es frecuente que la precipitación sea en forma sólida (nieve) o que las temperaturas desciendan por debajo del punto de congelación del agua, se suele incluir en el depósito algún tipo de producto (normalmente, cloruro cálcico anhidro) cuya función es reducir el valor de la temperatura a la cual se produciría la solidificación del agua.

El volumen de lluvia recogida se mide en litros por metro cuadrado (l/m^2) o lo que es lo mismo, en milímetros (mm.). Esta medida representa la altura, en milímetros, que alcanzaría una capa de agua que cubriese una superficie horizontal de un metro cuadrado. El volumen de agua recogida, V , en esa superficie de un metro cuadrado, sería entonces:

$$V = h \times S,$$

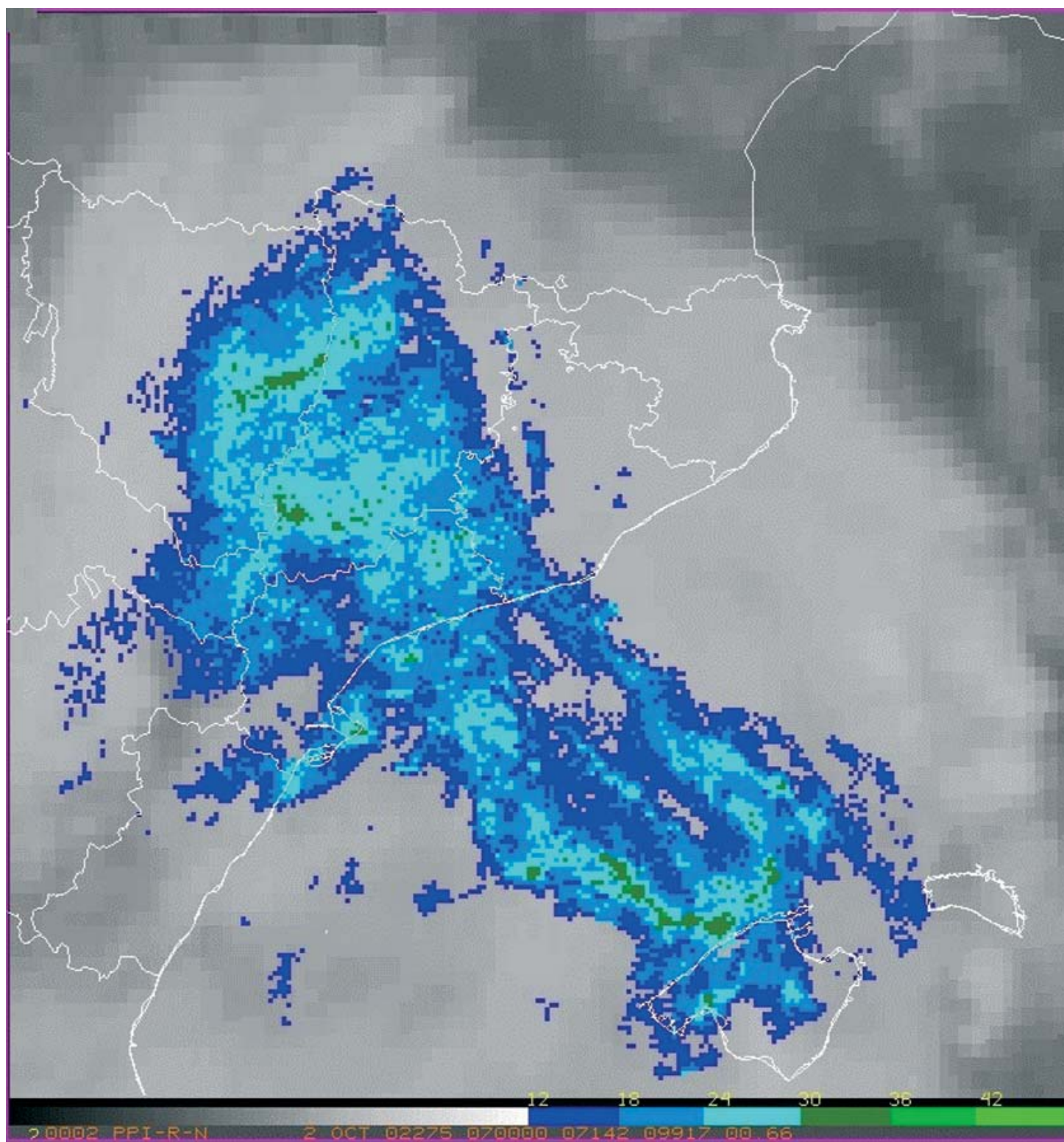
siendo $h = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$ y $S = 1 \text{ m}^2$.

Por tanto, sustituyendo los valores de h y S tendríamos,

$$V = 1 \text{ m}^2 \times 10^{-3} \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}^3 = 1 \text{ litro}$$



Un pluviómetro tiene un área de captación circular de radio 7 cm. ¿Qué volumen de agua habrá recogido cuando el registro indica 4 litros/ m^2 ?



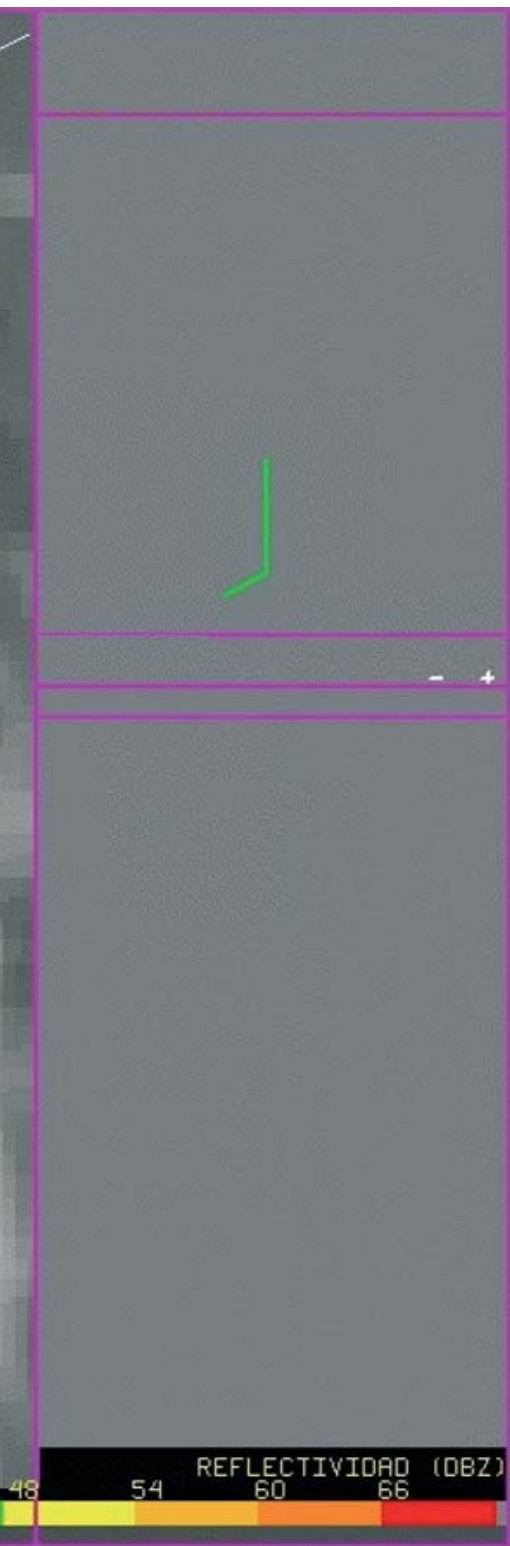


Imagen del radar de Barcelona de las 07:00 UTC del 2 de octubre de 2002, en la que se observa una perturbación meteorológica mesoescalar sobre Cataluña.

FUENTE: INM.

4. LA OBSERVACIÓN DEL TIEMPO

4.1. LOS OBSERVATORIOS METEOROLÓGICOS

La observación y medida de las variables y fenómenos meteorológicos es una condición indispensable para el avance de la Meteorología. Se realizan medidas en miles de estaciones meteorológicas ubicadas sobre tierra firme, pero también sobre el mar y a distintas alturas de la atmósfera, tanto en posiciones fijas y como a lo largo de las rutas trazadas por barcos y aviones, aprovechando que todos ellos disponen de instrumentos meteorológicos a bordo.

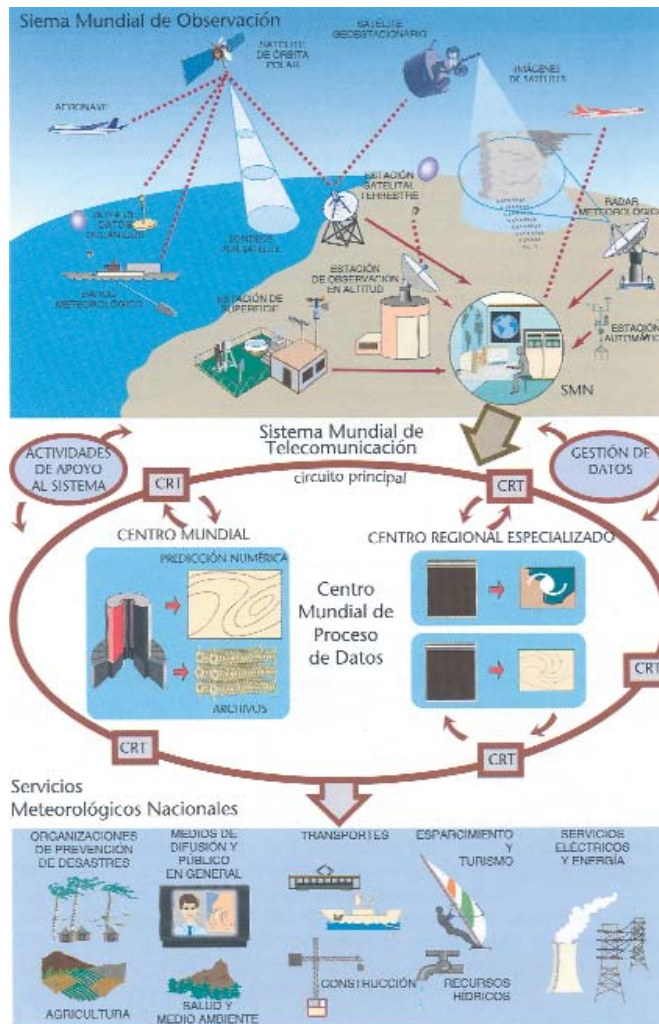


Figura 4.1. Sistema de observación mundial.
FUENTE: Organización Meteorológica Mundial.

El uso que puede darse a la información que proporcionan todas estas fuentes de observación es muy variado: desde el mero registro temporal en estaciones concretas, a la elaboración de predicciones meteorológicas. En cualquier caso, los centros meteorológicos centralizan la información por áreas, la procesan, controlan su calidad, y la distribuyen a los usuarios que puedan necesitarla para estudiar la atmósfera.

Se llama parte meteorológico a una comunicación que presenta el resultado de una observación meteorológica. Ésta puede ser verbal o escrita, y puede expresarse en lenguaje ordinario o en clave. Existen multitud de partes meteorológicos, que proporcionan información de distinta naturaleza: SYNOP, SHIP, TEMP, etc



Busca en Internet qué tipo de información contiene un parte TEMP

Por supuesto, la base de todas las observaciones reside en los instrumentos meteorológicos que se utilizan para tomar las medidas. En apartados anteriores ya hemos mencionado algunos, pero a modo de resumen conviene recordar:

Instrumento de medida	Variable meteorológica	Unidades de medida
Termómetro	Temperatura	°C
Barómetro	Presión atmosférica	hPa
Pluviómetro	Precipitación	l/m ²
Higrómetro	Humedad relativa	%
Evaporímetro	Evaporación	mm de agua evaporada
Anemómetro	Velocidad del viento	m/s – km/h
Veleta	Dirección del viento	°
Heliógrafo	Horas de sol	h
Radiómetro	Radiación	W/m ²

Una estación meteorológica normalmente dispone de varios de estos instrumentos, incluso todos si es muy completa. Como mencionábamos antes, para que las medidas estén bien tomadas, la ubicación, orientación y condiciones del entorno de los aparatos necesitan atenerse a las normas que la Organización Meteorológica Mundial ha establecido. Para que los datos sean rigurosos, en el recinto de una estación meteorológica debe disponer de una garita, una especie de jaula de madera blanca situada a 1.5 m del suelo, dentro de la cual se ubican los termómetros, el higrómetro y el evaporímetro. Además, en muchos casos, las estaciones disponen de una torre meteorológica. Sobre ésta se sitúan aparatos de medida como termómetros, anemómetros y veletas, que nos informan sobre las condiciones meteorológicas a distintas alturas.



Figura 4.2. Garita y torre meteorológica.

Además de las observaciones instrumentales, existen otras variables que se miden subjetivamente por observadores especializados: cantidad y tipo de nubes, oleaje, dirección de la mar de fondo, etc.

4.2. LOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS

Sin lugar a dudas, los satélites meteorológicos son los sistemas de observación más complejos. La posición que ocupan los satélites, en órbita alrededor de la Tierra, les permite tener una visión privilegiada, mucho más amplia y de conjunto que la de cualquier aparato situado en la superficie terrestre.

Los satélites reciben la radiación electromagnética que emite y refleja la Tierra. La primera proviene de ella misma y la segunda proviene del Sol, pero se refleja en la superficie terrestre y en la atmósfera antes de alcanzar el satélite. Los satélites captan determinadas frecuencias de esta radiación, de distinta intensidad dependiendo de las condiciones atmosféricas, para posteriormente procesar los datos y elaborar las imágenes que se recibirán en las estaciones de tierra, donde serán interpretadas.

Los satélites meteorológicos pueden clasificarse en función de la órbita sobre la que se sitúan. Las características y ventajas de los dos tipos principales son las siguientes:

Satélites geoestacionarios	
Características	Ventajas
El satélite gira a la vez que la Tierra, encontrándose fijo en un punto situado sobre el ecuador terrestre. La distancia que le separa del centro de la Tierra es muy grande, unos 40.000km (6.6 veces el radio terrestre).	Al estar tan alejados, su campo de visión es muy extenso (una cara completa del Planeta). Además, proporcionan información continuada sobre una amplia zona, permitiendo el estudio de la evolución atmosférica en ella.
Satélites polares	
Características	Ventajas
El satélite orbita alrededor de la Tierra sobre una órbita mucho más baja (entre 100 y 2000 km de altura).	La cercanía a la Tierra permite gran resolución espacial. Además pueden observarse zonas distintas a lo largo de su trayectoria.

Busca en Internet qué tipo de satélite es el satélite Meteosat.



Un satélite meteorológico cuenta con la instrumentación adecuada para captar información acerca de diversas propiedades del planeta Tierra, pero principalmente capta la radiación electromagnética de tipo visible e infrarrojo. A partir de esta información se elaboran dos tipos de imágenes de satélite, que reciben el nombre de



Figura 4.3. Satélite METEOSAT e imagen infrarroja realizada en color.
FUENTE: EUMETSAT.

la banda del espectro a la que corresponden. Si las imágenes recibidas se colocan unas tras otras, visualizándose como secuencia, podremos apreciar los movimientos de las nubes, tal y como el hombre del tiempo nos muestra a diario en televisión.

Imágenes visibles (VIS):

- Las imágenes visibles constituyen una imagen muy similar a la que percibiríamos si nos situásemos sobre el satélite, puesto que, al igual que harían nuestros ojos, el satélite capta la radiación solar tras reflejarse sobre las nubes, la tierra o el mar, dependiendo de la zona.
- El brillo de la imagen depende de tres factores: la intensidad de la radiación solar, el ángulo de elevación del sol y la reflectividad del cuerpo observado. La reflectividad promedio (o albedo) del sistema Tierra-Atmósfera es del 30%, pero, tal y como vimos en el capítulo anterior, la nieve y algunas nubes son capaces de reflejar una gran cantidad de luz, por lo que en una imagen de satélite visible aparecerían más brillantes que, por ejemplo, el mar.
- Aunque las nubes en general son buenos reflectores, su albedo depende del espesor y de la naturaleza de las partículas que las constituyen. Un cirro, por ejemplo, al ser una nube fina formada por cristallitos de hielo, apenas refleja la radiación solar, por lo que es difícil apreciarla en una imagen visible (son casi transparentes).

Imágenes infrarrojas (IR):

- La intensidad de la radiación infrarroja que emite un cuerpo está relacionada directamente con su temperatura. Así, una nube alta y fría, como puede ser un

cirro, aparecerá muy brillante en una imagen de este tipo. El desierto a medio día, si no hay nubes por encima de él, se verá como una zona muy oscura en la imagen, debido a su elevada temperatura. Las imágenes infrarrojas se pueden realzar en color en función de la temperatura de emisión de la zona, facilitándose así la identificación de zonas muy frías, normalmente correspondientes a cimas de nubes de mucho desarrollo.

- Las imágenes IR impiden distinguir bien las nubes bajas y las nieblas, puesto que como su temperatura es parecida a la de la superficie donde se encuentran, podrían confundirse con ésta.

Las siguientes fotos son las imágenes visible e infrarroja de una misma situación meteorológica. ¿Cuáles son las principales diferencias visuales?



Imagen visible de América del Sur.

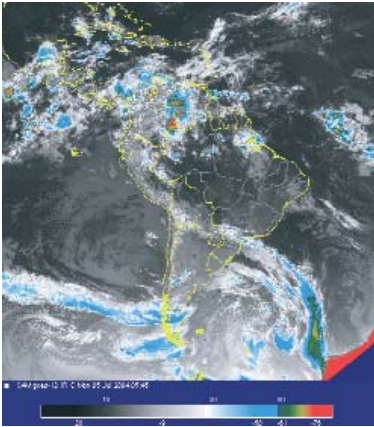


Imagen infrarroja realizada en color de América del Sur.

FUENTE: National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

En la siguiente tabla se describe el aspecto con que algunos cuerpos se aprecian en las imágenes de satélite.

Cirro	Mancha tenue en VIS y brillante en IR
Cumulonimbo	Mancha brillante en VIS y en IR
Niebla y nube baja	Mancha brillante en VIS y tenue en IR
Borrasca	Espiral que gira en el sentido contrario a las agujas del reloj, en el Hemisferio Norte brillante en VIS y en IR.
Frente	Banda de cientos de kilómetros, brillante en VIS y en IR
Nubes tormentosas	Manchas redondeadas de pequeño tamaño, muy brillantes en VIS y en IR



A veces en las imágenes de satélite de TV se aprecian zonas en las que parece haber más nubes que en la realidad. Al mirar por la ventana, quizás haya algunos cirros que apenas se perciben en el cielo, pero en televisión parecen nubes más importantes, ¿por qué puede ser? (pista: en TV nos muestran imágenes IR)



¿Qué tipo de imagen tendré que utilizar si quiero conocer la situación meteorológica que hay una noche? ¿Por qué?



Busca en Internet las imágenes de satélite de hoy. ¿Distingues alguna borrasca? ¿Algún frente? ¿Alguna tormenta?

4.3. EL DIARIO DEL TIEMPO

Ahora que conoces las características de las principales variables meteorológicas y cómo observar y tomar mediciones de las mismas, puedes realizar un diario del tiempo. A continuación tienes un modelo sencillo que puedes utilizar como ejemplo y que te servirá para un mes. Es importante que realices tus observaciones siempre a la misma hora (también puedes tomar dos medidas diarias en vez de una, pero siempre teniendo en cuenta la anterior puntualización). No olvides ser riguroso teniendo en cuenta las condiciones en las que se deben tomar las medidas, y que se han descrito previamente.

- *Temperatura*: registra el valor de temperatura en °C con tu termómetro.
- *Humedad*: si dispones de un higrómetro, indica la humedad en %.
- *Presión*: utilizando el barómetro que has construido, indica si la presión está subiendo, bajando o permanece estacionaria, ya que es difícil que puedas obtener un valor representativo.
- *Viento*: si dispones de un anemómetro podrás registrar la intensidad de viento, clasificando ésta en débil, moderada o fuerte. Con una veleta podrás registrar la dirección de la cual proviene el viento. También puedes animarte a construir tu propio anemómetro y veleta para tomar esta medición. En la siguiente página web encontrarás como hacerlo: http://www.geocities.com/silvia_larocca/
- *Precipitación*: mediante el pluviómetro registra el agua caída acumulada durante las 24 horas previas, en litros/m².
- *Nubosidad*: puedes indicar si el cielo está despejado, parcialmente nuboso o totalmente cubierto.

Día	Día ejemplo	1	2	3	...	28	29	30	31
Temperatura	15 °C								
Humedad	90%								
Presión	Bajando								
Viento	SE moderado								
Nubosidad									
Cantidad de precipitación	2 litros /m²								
Tipo de precipitación	Lluvia								

Cuando hayas recopilado la información de todo el mes, puedes hacer un resumen estadístico en donde informarás la cantidad de días en el mes que el cielo estuvo despejado, nublado o con algún tipo de nubosidad, la cantidad de días con lluvias, tormentas, granizo, nieve, temperaturas en determinados rangos de valores, y datos de viento.

	Temperatura			Nubosidad		
	< 10 °C	10 °C < T < 20 °C	> 20 °C			
Total Días						
	Precipitaciones			Viento		
	Lluvia	Nieve	Granizo	Débil	Moderado	Fuerte
Total Días						

También puedes representar gráficamente la evolución de la temperatura a través del tiempo, usando un eje de coordenadas cartesianas. En el eje de abscisas indicarás los días y en el eje de ordenadas los valores de temperatura.

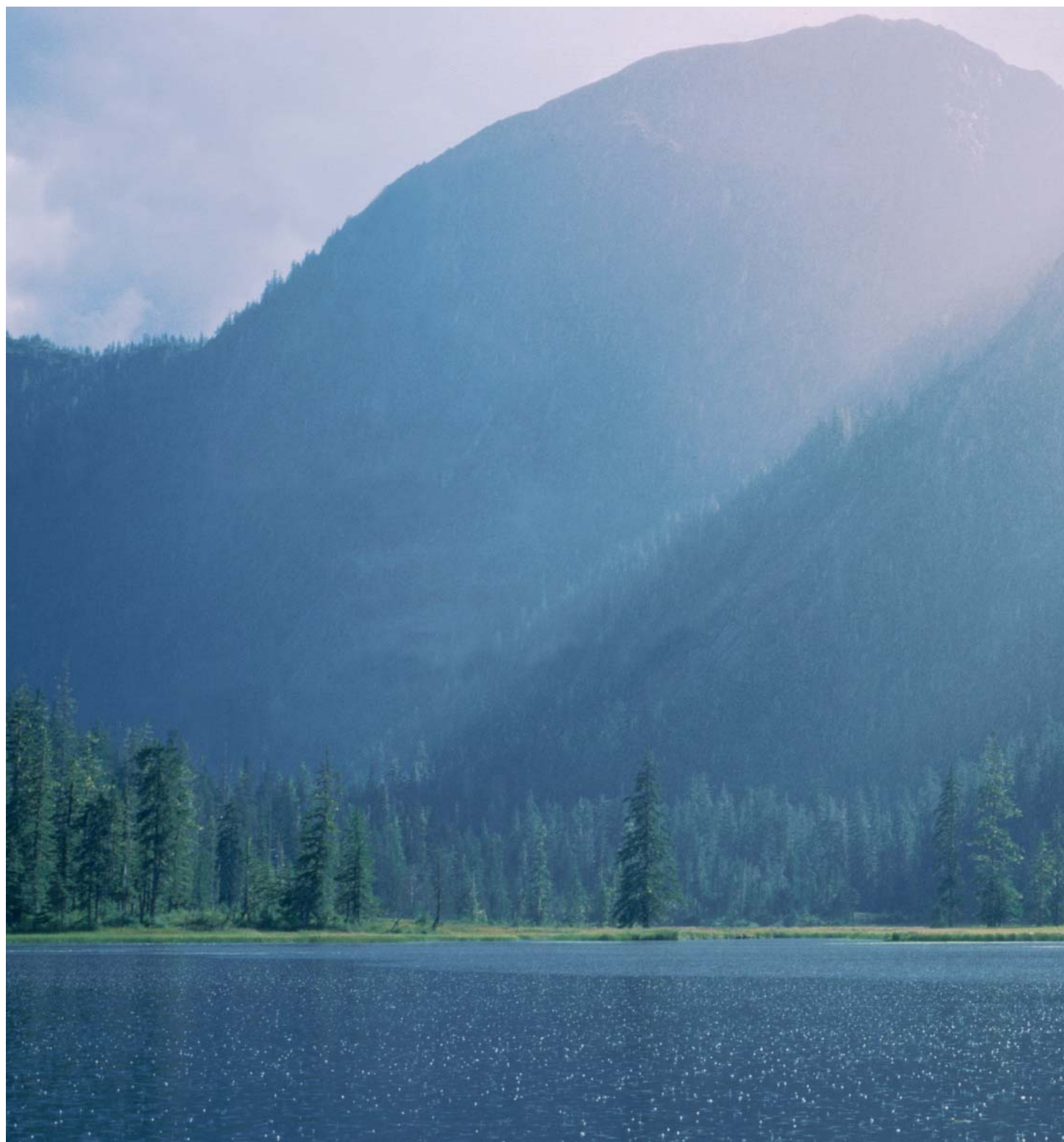
Otra manera de ejercitarte como meteorólogo es participando en algún proyecto científico para los que la participación de los centros escolares resulta de gran interés. Por ejemplo, puedes colaborar enviando tus mediciones meteorológicas al proyecto S'COOL de la NASA o al proyecto GLOBE. Muchos otros estudiantes han participado, ¡anímate tú también!.



<http://asd-www.larc.nasa.gov/SCOOOL/>



<http://www.globe.gov>





5. LOS MAPAS METEOROLÓGICOS

Los mapas del tiempo son representaciones gráficas de los valores de ciertas variables meteorológicas sobre una zona geográfica determinada. Su uso está generalizado entre los meteorólogos, ya que aportan una interesante imagen de conjunto de las situaciones atmosféricas.

Una de las variables que mayor información nos proporciona a la hora de conocer una situación meteorológica es la presión atmosférica, cuyos valores sobre la superficie terrestre quedan representados en los denominados **mapas de isobaras**, como los que aparecen diariamente en los medios de comunicación.

Las isobaras, o líneas que unen puntos de igual presión, nos dan idea de la intensidad del viento (a mayor proximidad entre isobaras, mayor intensidad), así como de su procedencia. De este modo puede saberse si va a llegar aire frío del Polo o si, por el contrario, va a ser cálido del desierto, húmedo del océano, o seco del continente.

Cuando en un mapa de isobaras existe una zona en la que la presión es más alta que a su alrededor, entonces aparece una “A” y decimos que hay un **anticiclón**. En esta zona la estabilidad atmosférica será alta, puesto que el movimiento del aire es descendente evitando la formación de nubosidad, y difícilmente lloverá. Si por el contrario la presión empieza a decrecer, en el punto en el que alcanzan su valor mínimo aparece una “B” y decimos que hay una zona de baja presión o **depresión**. En este caso habrá mayor inestabilidad y si se dan otra serie de condiciones podría llover fácilmente. Cuando una zona de bajas presiones va acompañada de tiempo muy lluvioso y con viento intenso podemos llamarla **borrasca**.

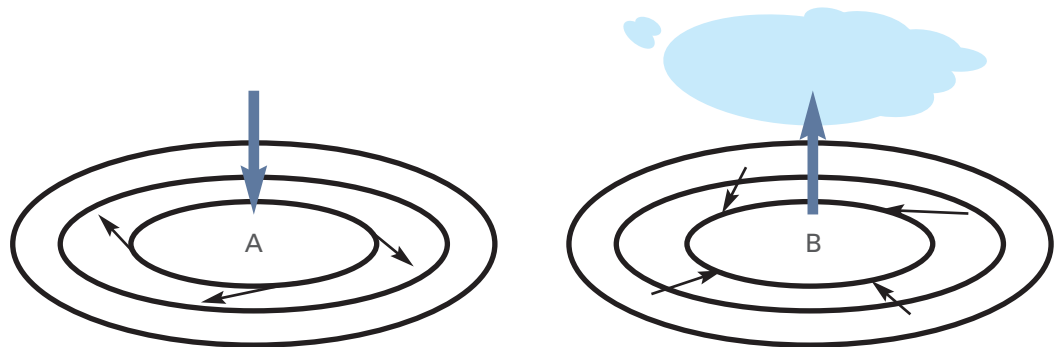


Figura 5.1. Centros de altas y bajas presiones.

En el Hemisferio Norte, en un anticiclón, el viento gira aproximadamente siguiendo las isobaras en sentido horario, con tendencia a alejarse de su centro. En una depresión, el giro del viento se produce en sentido antihorario, con tendencia a dirigirse hacia su centro. Ambos tipos de movimiento se indican en la figura 5.2.

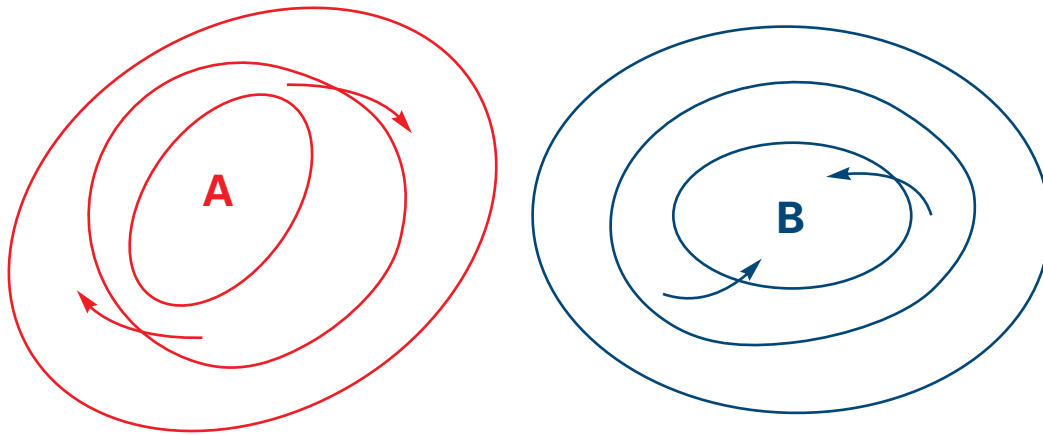


Figura 5.2. Sentido de giro del viento en las altas y bajas presiones.

Otra información que suele aparecer en los mapas de isobaras es la representación de los frentes, cuyo trazado suele coincidir con zonas de cambio brusco en la curvatura de las isolíneas. En los mapas, los frentes se representan mediante pequeños triángulos (frente frío) o semicírculos (frente cálido) unidos por una línea que se prolonga a lo largo de toda su extensión geográfica. Un frente es una zona de gran inestabilidad atmosférica, coincidente con la separación entre dos masas de aire que se encuentran a distintas temperaturas. Si una masa fría llega a una zona en la que la temperatura es mayor, decimos que se forma un *frente frío*. Además de descender las temperaturas, en estos casos suelen producirse precipitaciones de lluvia o nieve. Si, por el contrario, la masa que llega a una zona está a mayor temperatura que la zona que invade, se formará un *frente cálido*. También se producirá nubosidad, pero las temperaturas serán más suaves y, como mucho, habrá precipitaciones débiles.

Para entender todo esto mejor, vamos a analizar el mapa de isobaras que aparece a continuación. Esto nos permitirá determinar el tiempo que tendríamos en la Península Ibérica el día al que corresponde este mapa, que representaremos en un mapa de símbolos denominado **mapa significativo**.

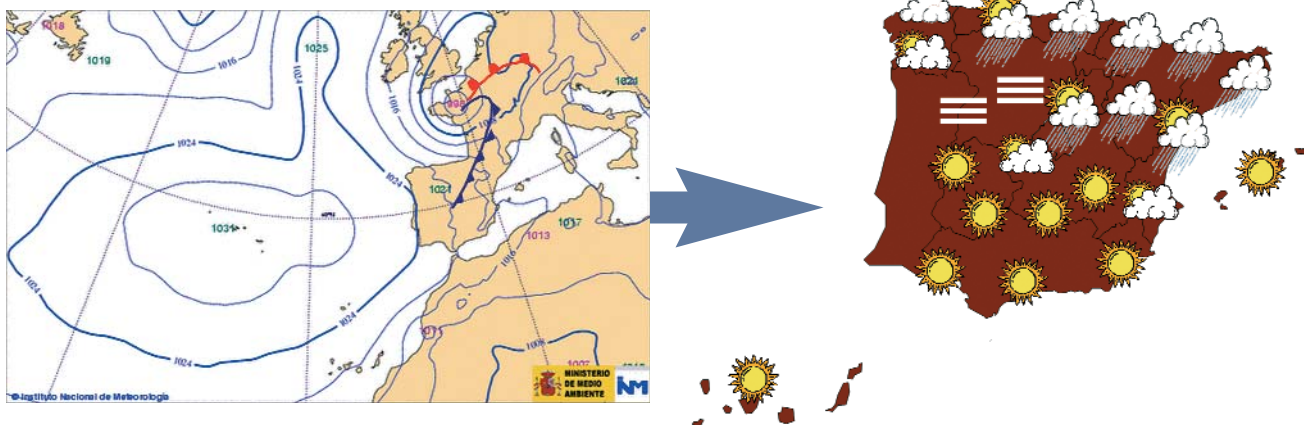


Figura 5.3. Mapa de isobaras y frentes (izquierda) y el correspondiente mapa significativo (derecha).

En el mapa de isobaras de la figura 5.3, podemos ver como al norte de la Península Ibérica, situado sobre la Bretaña francesa, aparece un centro de bajas presiones, que hará que el tiempo sea más inestable en las regiones cantábricas y pirenaicas. Asociado a esta depresión, vemos un sistema frontal, con una parte cálida situada en Centro-Europa, y una parte fría, que inestabilizará el tiempo en el interior peninsular. En su movimiento de oeste a este, el frente procedente del Atlántico se trasladará hacia el Mediterráneo, barriendo la mitad oriental de la Península en un futuro próximo. Sin embargo, su actividad irá disminuyendo según nos traslademos hacia el sur, donde por influencia del anticiclón atlántico, las presiones serán más altas y el tiempo más estable.

La disposición de las isobaras (en torno al anticiclón y a la baja) indica que los flujos de viento que alcanzarán la Península serán predominantemente del noroeste, por lo que el aire llegará fresco y cargado de humedad. Este hecho, unido a que el viento no será muy intenso en el interior (las isobaras no están muy juntas), hace prever también la formación de algunas nieblas. Aparte de la nubosidad que el frente llevará al norte de la Península, la barrera orográfica que para el viento noroeste supone la Cordillera Cantábrica, hace pensar que allí se formará nubosidad de tipo orográfico: Al chocar contra las montañas, el aire se verá obligado a ascender, y su humedad se condensará, favoreciendo la formación de nubes en esta zona.

En cuanto a la intensidad de los vientos, hay que destacar la mayor proximidad de las isobaras en el extremo norte de la Península Ibérica, y en especial en la costa atlántica, donde los vientos serán algo más fuertes.

Cada oveja con su pareja: ¿Qué representan estos símbolos meteorológicos?



Frente cálido

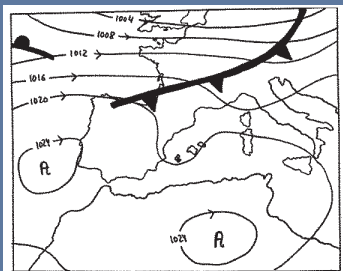
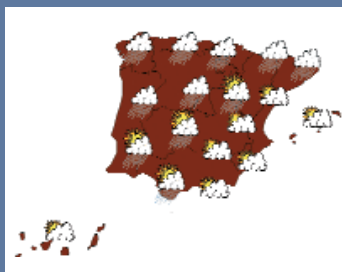
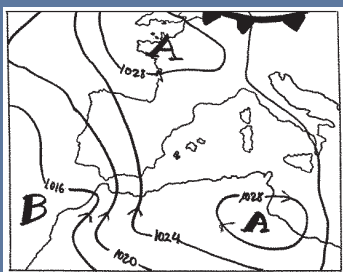
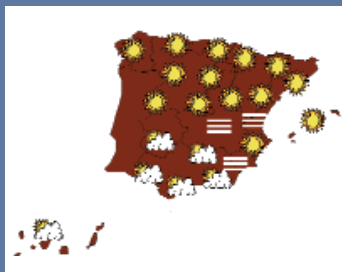
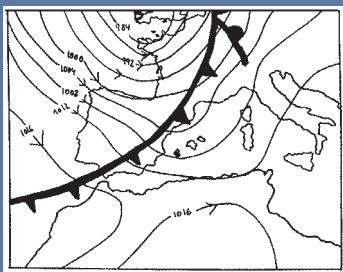
Viento fuerte

Frente frío

Niebla

Tormenta

Cada oveja con su pareja: ¿Qué mapa significativo le corresponde a cada uno de estos mapas de isobaras?



Para llegar a conocer bien el tiempo que afecta a una zona, los meteorólogos se apoyan en la representación de muchas otras variables atmosféricas, aparte de la presión del aire en superficie. Otro tipo de mapas muy utilizados son los mapas del tiempo en altura, los llamados **mapas de isohipsas** o de **geopotencial**. Las isohipsas son líneas que unen puntos situados a la misma altura para un cierto nivel de presión (normalmente 500 hPa) y están muy relacionadas con la temperatura del aire en las capas altas de la atmósfera (a unos 5.000 m de altitud en el caso del mapa de 500 hPa).

Como sabemos, el aire cálido tiende a ascender, por ello, si en las capas altas de la atmósfera hay aire muy frío, se producirán movimientos verticales de las masas de aire y ésta será una situación de inestabilidad, en la que podrían darse precipitaciones. En un mapa de isohipsas en 500 hPa, esta situación se correspondería con la presencia de una *vaguada*, o valores bajos de geopotencial. Por el contrario, si en un mapa de isohipsas aparece una zona de altos valores de geopotencial (*dorsal*), se trataría de una zona en la que el aire en altura se encuentra a temperaturas elevadas, lo cual es indicativo de una situación meteorológica estable, en la que sería improbable la presencia de precipitaciones.

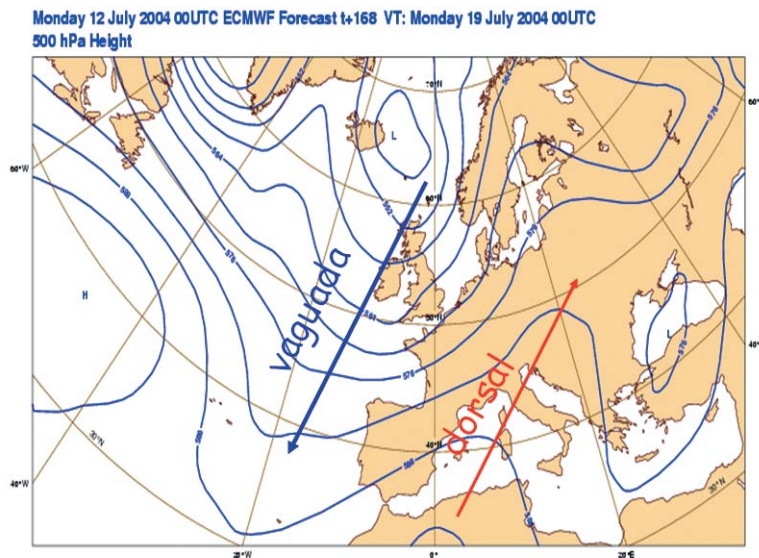


Figura 5.4. Mapa de geopotencial en 500 hPa: vaguada y dorsal.
FUENTE: Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo, ECMWF.



6. LA PREDICCIÓN DEL TIEMPO

La predicción del tiempo es una cuestión de mucha relevancia en nuestros días. De ella dependen decisiones cotidianas, como elegir la ropa del día o acarrear con el paraguas. Pero la predicción meteorológica también es la base para la preparación de situaciones de alerta por parte de los servicios de protección civil o la celebración de espectáculos multitudinarios al aire libre.



¿Se te ocurre algún otro ejemplo de situaciones en las que la predicción meteorológica pueda jugar un papel importante?

La predicción meteorológica consiste en la determinación anticipada de los valores correspondientes a variables meteorológicas como la temperatura, la presión, la humedad, la nubosidad, la precipitación, etc., que afectarán a una determinada región.

La predicción meteorológica puede realizarse mediante técnicas estadísticas, pero la forma más habitual, y la que normalmente ofrece mejores resultados, está basada en la resolución de las ecuaciones matemáticas correspondientes a las leyes físicas que describen el comportamiento de la atmósfera. Para ello se parte del conocimiento del estado inicial de la atmósfera mediante los datos de observación comentados anteriormente. Una vez resueltas estas ecuaciones, con las condiciones iniciales dadas, se obtiene una descripción del estado futuro de la atmósfera y, de este modo, se puede llegar a saber qué tiempo va a hacer después de unas horas o días, es decir, puede elaborarse una predicción meteorológica, como las que habitualmente obtenemos de los medios de comunicación (TV, radio o periódicos).

Ahora bien, estas ecuaciones son de resolución ciertamente complicada, puesto que se trata de ecuaciones para las que no siempre existe una solución exacta que permita conocer los valores futuros de las variables. Por esta razón, los meteorólogos se ven obligados a recurrir a las llamadas técnicas de modelización numérica. Formalmente la predicción numérica del tiempo consiste en resolver de forma numérica un conjunto de ecuaciones diferenciales referidas a la conservación de la masa, de la energía y del momento en la atmósfera. A partir de unas condiciones iniciales, determinadas por las observaciones hechas en un determinado instante de tiempo (t), se obtienen los valores de las variables consideradas en un tiempo posterior ($t + \Delta t$).

Los pasos en los que se desarrolla una predicción de este tipo son los siguientes:

1. Recogida de observaciones.
2. Control de calidad de observaciones.
3. Determinación de las condiciones iniciales en una serie de puntos geográficos (que en su conjunto conforman la denominada *rejilla del modelo*).
4. Resolución de las ecuaciones correspondientes a cada punto de la rejilla para un intervalo de tiempo Δt .
5. Repetición del proceso de resolución de las ecuaciones hasta llegar a la solución correspondiente al tiempo final de predicción (24h, 48h, 10 días...).
6. Representación gráfica de los resultados en forma de mapas de isólinas.



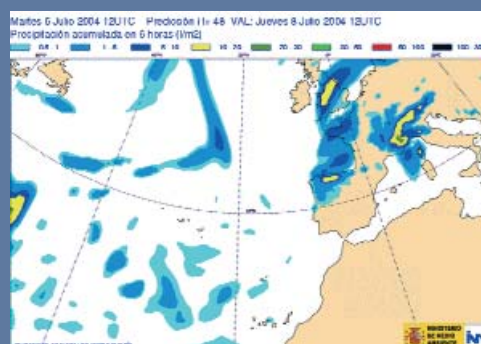
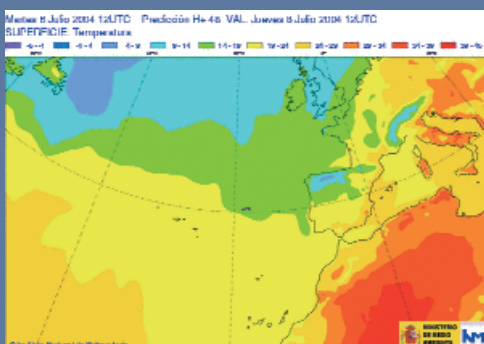
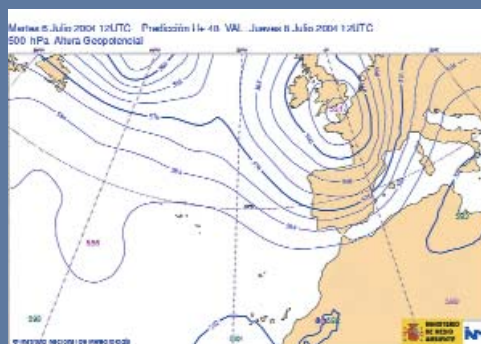
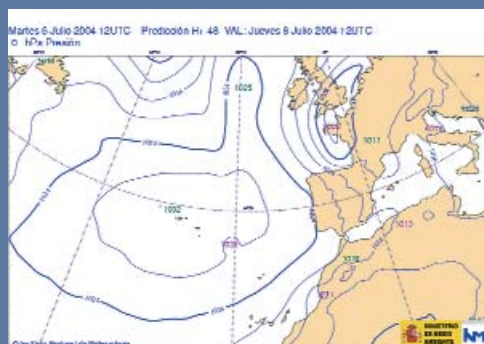
En Internet existen multitud de sitios en los que se puede consultar la predicción del tiempo:

www.cnn.com/weather,
www.accuweather.com,
www.meteored.com.

Elige dos de estos sitios, traslada a dos mapas de Europa las previsiones correspondientes a 10 ciudades europeas y compara ambos mapas.

Los siguientes mapas corresponden a la predicción meteorológica a 48h que elaboró el Instituto Nacional de Meteorología (INM) para el 8 de julio de 2004. Consúltalos y di si las afirmaciones que aparecen a continuación son Verdaderas o Falsas:

- El viento predominante en la Península Ibérica será del Norte
- La presencia de aire frío en las capas altas de la atmósfera traerá inestabilidad al Norte Peninsular
- Apenas habrá diferencias térmicas entre el Norte y el Sur Peninsular
- Estará completamente despejado al Norte de la Cordillera Central
- Habrá cielos despejados en la Costa Mediterránea

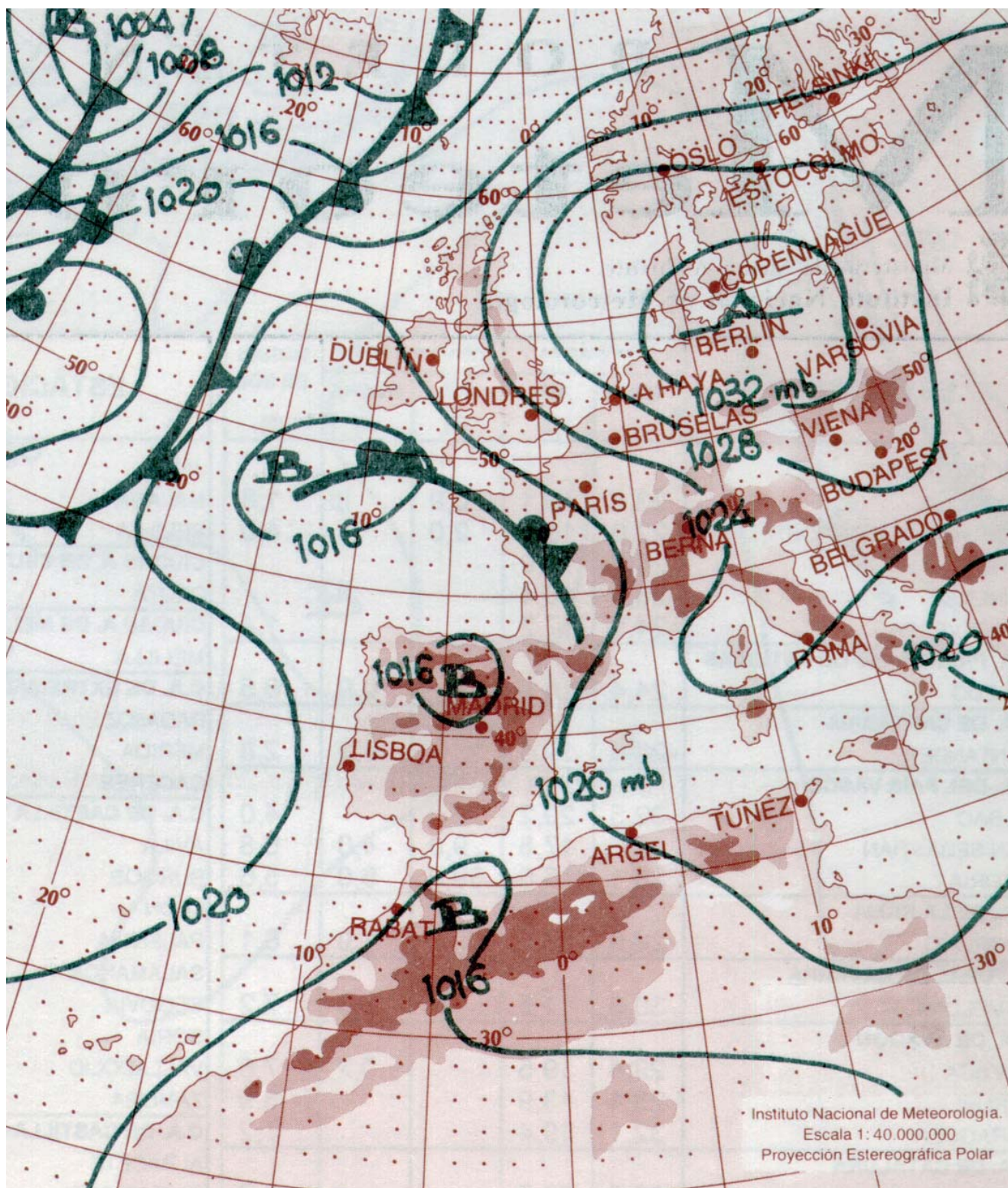


Además de interpretar mapas, y dependiendo de qué tipo de predicción quiera realizarse, un meteorólogo tiene que consultar otras fuentes de información a su alcance. Una ayuda importante para la predicción en el corto plazo son las imágenes que desde el espacio envían el satélite Meteosat y otros satélites de observación meteorológica. Aproximadamente cada quince minutos, el Meteosat recoge una imagen de la zona del planeta donde nos encontramos, y poniéndolas una tras otra pueden identificarse las masas de nubes, ver por su color de qué tipo son, qué ha ocurrido con ellas, a qué regiones afectan, desde dónde llegan, o si tienden a desaparecer o disiparse.



Entra en la página web del INM (www.inm.es) y consulta los mapas de isobaras en superficie, isohipsas en 500 hPa, temperaturas en superficie y precipitaciones previstos para mañana. Elabora tú mismo el mapa significativo para España y compáralo con el que han elaborado los meteorólogos del INM.

A pesar de lo mucho que las técnicas de predicción meteorológica han avanzado, es de todos conocido que a veces se cometen errores. Éstos pueden producirse porque los modelos fallan, o porque el meteorólogo no interpreta bien los resultados (mapas meteorológicos) del modelo. La asociación de fenómenos meteorológicos a los distintos campos de presión, temperatura o geopotencial predichos no es siempre sencilla. Para ello, el meteorólogo necesita conocer bien las repercusiones de las distintas variables en la meteorología local, muy condicionada por las condiciones geográficas de cada lugar.





7. EL CLIMA DE NUESTRO PLANETA

7.1. EL CLIMA

¿Crees que la siguiente frase es correcta? ¿Por qué? “Debido a la climatología adversa, el partido de fútbol previsto para esta tarde ha tenido que ser suspendido”.

Antes de empezar a hablar de algo tan importante en nuestras vidas como son las condiciones climáticas de nuestro planeta, es importante aclarar el concepto de “*clima*” y resaltar la diferencia que existe con el término “*tiempo*”, en el sentido meteorológico del mismo.

Por ejemplo, cuando la repentina entrada de un frente frío por las costas portuguesas nos arruina nuestros planes del fin de semana de salir al campo, nos estamos refiriendo a un fenómeno meteorológico que puede durar desde varias horas a varios días. Estamos hablando de “tiempo”.

Sin embargo, cuando afirmamos que en nuestra ciudad los inviernos son muy fríos y secos, estamos considerando un periodo de tiempo de decenas de años para realizar una valoración promedio de las temperaturas y precipitaciones invernales. En este caso, estamos hablando del *clima* de nuestra ciudad.



Por tanto, podríamos decir que el *clima* es la síntesis del *tiempo*. Formalmente, el clima se define como el conjunto de estados de tiempo atmosférico que se producen en una determinada región y que otorgan a ésta una particular idiosincrasia.

7.2. LA ELABORACIÓN DE CLIMOGRAMAS

¿Qué es un climograma?

Un climograma es un gráfico en el que representamos simultáneamente los valores de temperatura media mensual, mediante una línea, y los de precipitaciones mensuales medias, mediante barras verticales, para los doce meses del año. Para ello se utilizan los valores climatológicos promediados en un período estándar de 30 años.

¿Cómo se traza un climograma?

Como vemos en el ejemplo que presentamos a continuación para el climograma de Valencia, en el eje horizontal se sitúan los meses del año, mientras que en el eje vertical de la izquierda se representan las temperaturas medias mensuales, de 5 °C en 5 °C, mediante puntos unidos por una línea roja. En el eje de la derecha, y mediante barras azules, se representan las precipitaciones medias mensuales, a doble escala que los datos de temperatura (de 10 mm en 10 mm).

Valencia		
Periodo: 1971-2000		Altitud (m): 58
Latitud: 43° 22' 02"		Longitud: 8° 25' 10"
Mes	T (°C)	Precipitación (mm)
E	11,5	36
F	12,6	32
M	13,9	35
A	15,5	37
M	18,4	34
J	22,1	23
J	24,9	9
A	25,5	19
S	23,1	51
O	19,1	74
N	14,9	51
D	12,4	52
ANO	17,8	454

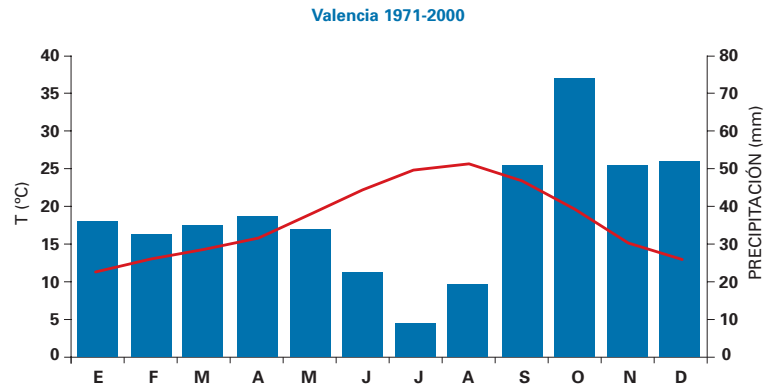


Figura 7.1. Tabla de valores de temperatura y precipitación climatológicos para Valencia (izquierda) y su climograma correspondiente (derecha).

¿Qué información podemos obtener del análisis del climograma de una ciudad?

Observando no sólo los valores absolutos de los datos, sino también su tendencia, la existencia de máximos y mínimos, así como la intersección de las curvas de precipitación y temperatura, podemos extraer información acerca de los siguientes aspectos fundamentales:

¿Cuál de las siguientes afirmaciones se refiere al concepto de 'tiempo' y cuál al de 'clima'?

- a) Los inviernos en Lugo son fríos y húmedos.
- b) Las fuertes rachas de viento impidieron que se desarrollara la exhibición de vuelo sin motor.
- c) La temperatura media para el mes de julio en Madrid es de 25°C.
- d) Un frente frío se introdujo la pasada noche en la Península por las costas gallegas.

■ Las temperaturas:

- *La temperatura media anual*

En el ejemplo anterior, la temperatura media anual de la estación de Valencia es de 17,8 °C.

- *El rango de variación térmica anual o amplitud térmica*

(AT), es decir la diferencia entre la temperatura del mes más cálido y la del mes más frío.

Este dato nos aportará información sobre la variabilidad climática de un lugar, la cual estará relacionada con la proximidad de éste a una extensión suficientemente grande de agua. En las zonas costeras, esta magnitud tendrá valores bajos, variando entre 8 °C en Canarias y 15 °C para las zonas costeras del Mediterráneo. En las zonas del interior, con un mayor grado de continentalidad, se obtienen valores más elevados. En el caso de la Península Ibérica, pueden llegar a superarse los 16 °C.

En nuestro ejemplo de Valencia, $AT = 25,5\text{ °C} - 11,5\text{ °C} = 14,0\text{ °C}$, que corresponde a una zona costera.

- *La temperatura del verano*

Analizando los valores de temperatura de los meses de verano, tendremos veranos calurosos si algún mes presenta temperaturas medias superiores o iguales a 22 °C. Serán *veranos frescos* aquellos en los que ningún mes presenta valores de temperatura media igual o superior a 22 °C.

Valencia presenta veranos calurosos pues como se puede ver en el climograma, desde junio a agosto las temperaturas medias superan los 22 °C.

- *La temperatura del invierno*

Tendremos *inviernos suaves* si la temperatura media del mes más frío no baja de 10 °C, *moderados*, si se encuentra entre 6 °C y 10 °C, o *fríos*, si la temperatura media del mes más frío está comprendida entre -3 °C y 6 °C. Un caso especial son los climas de montaña, en los que las temperaturas invernales se encuentran próximas o por debajo de los 0 °C.

En el ejemplo de Valencia, vemos que presenta inviernos suaves pues el mes más frío, enero, tiene una temperatura media de 11,5 °C.

■ Las precipitaciones:

- *La precipitación anual total*

Se considera muy abundante si supera los 1000 mm (clima de montaña), abun-

dante si se encuentra entre los 800 mm y los 1000 mm (clima de influencia atlántica); escasa si está entre 300 mm y 800 mm (clima de influencia mediterránea) y muy escasa si es inferior a 300 mm (clima subdesértico). En aquellos casos en que sea inferior a 150 mm se considera que el clima pasa a ser de carácter desértico.

La precipitación anual para el caso de Valencia es de 454 mm, por lo que se puede considerar que es ‘escasa’ pudiendo asociarla a un clima de influencia mediterránea.

- *El patrón anual de las precipitaciones*

No sólo es interesante analizar la cantidad total de precipitación registrada en un lugar, sino la forma en la que ésta se distribuye a lo largo del año. Así, localizar la existencia de máximos principales y secundarios de precipitación nos proporciona información sobre el origen de dicha precipitación:

- Si el máximo principal se localiza en los meses de invierno, la mayor parte de la precipitación tiene un origen frontal. Esto es característico de las zonas de la Península de influencia atlántica.
- Cuando el máximo principal se presenta en los meses de otoño y/o de primavera, el origen de la precipitación es fundamentalmente tormentoso, lo que suele producirse en las zonas peninsulares de influencia mediterránea.

En el climograma de Valencia observamos la existencia de dos máximos de precipitación: uno principal en octubre (74 mm) y otro secundario en abril (37 mm), es decir en otoño y primavera. Esto indica que la precipitación tiene un carácter fundamentalmente tormentoso o convectivo, que es una característica de las zonas climáticas de influencia mediterránea.

■ El tipo de clima:

Una vez analizados todos los aspectos relacionados con la temperatura y precipitación, mediante el estudio del climograma, podremos asignar a nuestro lugar de estudio un tipo de clima, e incluso relacionarlo con su posible localización geográfica y las características meteorológicas que suelen dominar en esa región.

En la página web del Instituto Nacional de Meteorología (<http://www.inm.es>) puedes encontrar los valores climatológicos de cualquiera de las estaciones de la Península Ibérica para el período 1971-2000, presentados en tablas como la que se muestra a continuación para Madrid-Cuatro Vientos



Madrid (Aeródromo de Cuatro Vientos)												
Periodo: 1971-2000						Altitud (m): 687						
Latitud: 40° 22' 40"						Longitud: 3° 47' 21"						
Mes	T	TM	Tm	R	H	DR	DN	DT	DF	DH	DD	I
Ene	5,8	10,1	1,4	40	75	6	1	0	7	12	9	156
Feb	7,5	12,4	2,7	36	69	6	1	0	3	6	6	168
Mar	10,1	15,8	4,4	26	58	5	0	0	1	3	6	211
Abr	11,8	17,5	6,2	48	58	7	0	1	1	1	5	223
May	15,8	21,8	9,8	54	55	8	0	4	0	0	4	270
Jun	21,0	27,7	14,2	28	47	4	0	4	0	0	7	293
Jul	24,9	32,1	17,6	17	40	2	0	3	0	0	16	346
Ago	24,5	31,7	17,3	14	41	2	0	2	0	0	14	332
Sep	20,5	26,9	14,0	27	51	3	0	2	0	0	8	238
Oct	14,6	19,9	9,2	48	65	6	0	1	1	0	6	205
Nov	9,5	14,1	4,9	54	73	7	0	0	4	3	6	163
Dic	6,7	10,6	2,7	58	78	7	1	0	6	8	6	127
Año	14,4	20,0	8,7	449	59	63	4	19	25	33	83	2733

Leyenda	
T	Temperatura media/anual (°C)
TM	Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)
Tm	Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)
R	Precipitación mensual/anual media (mm)
H	Humedad relativa media (%)
DR	Número medio mensual/anual de días de precipitación superior o igual a 1 mm
DN	Número medio mensual/anual de días de nieve
DT	Número medio mensual/anual de días de tormenta
DF	Número medio mensual/anual de días de niebla
DH	Número medio mensual/anual de días de helada
DD	Número medio mensual/anual de días despejados
I	Número medio mensual/anual de horas de sol



Realiza el climograma correspondiente a Madrid-Cuatro Vientos y analiza su clima a partir de los datos que se pueden obtener de su estudio.

7.3. LOS CONTROLADORES DEL CLIMA

La gran diversidad de climas que caracterizan las distintas regiones de nuestro planeta es el resultado de la interacción de numerosos factores conocidos como controladores del clima. Éstos pueden ser externos, como son los factores astronómicos (distancia entre la Tierra y el Sol, inclinación del eje de rotación de la Tierra, actividad solar) o internos, como son las características geográficas (latitud, distribución tierra-mar, orografía, corrientes oceánicas) y meteorológicos (localización de los principales centros de bajas y altas presiones, vientos dominantes, etc.) de las distintas zonas de la Tierra.

Distancia Tierra-Sol

La clave de las condiciones climáticas terrestres reside, entre otros factores, en la radiación solar que recibimos y los efectos que produce en nuestro planeta y su atmósfera. La Tierra se mueve alrededor del Sol según una elipse cuya excentricidad cambia con el tiempo (actualmente es casi un círculo). El tiempo que tarda en describir una vuelta completa es algo más de 365 días.

La distancia promedio entre la Tierra y el Sol es de 150 millones de kilómetros, pero al describir una elipse, la distancia real varía ligeramente a lo largo del año. La Tierra se encuentra más próxima al Sol durante el mes de Enero (unos 147 millones de kilómetros) y más alejada en el mes de Julio (unos 152 millones de kilómetros). Según esto deberíamos concluir que en el Hemisferio Norte, donde nosotros nos encontra-

mos, el tiempo más cálido debería producirse en Enero y el más frío en Julio. Pero sabemos que ocurre exactamente lo contrario. ¿Por qué entonces experimentamos tiempo más cálido cuando nos encontramos más lejos del Sol? La respuesta reside en que no es la proximidad al Sol la principal causa de la existencia de las estaciones, sino que existen otros factores más determinantes en la cantidad de radiación solar que nos llega a la superficie terrestre, como son la inclinación de los rayos solares y el número de horas durante las cuales llega la luz solar a un punto concreto de la Tierra.

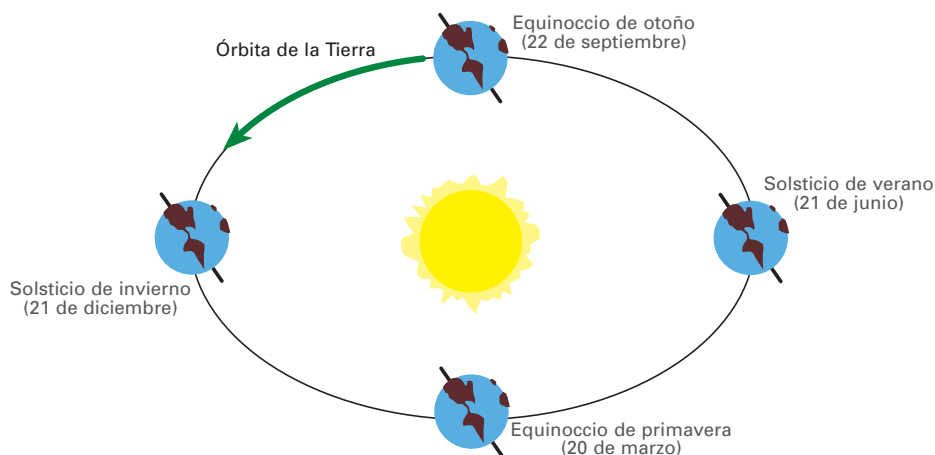


Figura 7.2. Órbita de la Tierra alrededor del Sol.

¿Cuánto tiempo tarda la Tierra realmente en dar una vuelta completa alrededor del Sol? ¿Cómo se corrige este factor para que siga siendo válida la medida de un año como 365 días?



La latitud

¡Compruébalo tu mismo!

Cuando con una linterna enfocamos perpendicularmente al suelo, observamos una pequeña, pero intensa mancha de luz de forma circular. Pero si inclinamos la linterna, notamos que la mancha luminosa se extiende sobre una mayor superficie, repartiéndose ahora la misma cantidad de luz sobre un área mayor y produciendo menor intensidad luminosa.



La radiación solar que incide sobre la superficie terrestre se comporta de la misma manera. Así, aquellas regiones de la Tierra en las que los rayos solares inciden de forma más perpendicular a la superficie, reciben mayor cantidad de energía por metro cuadrado y por tanto adquirirán mayor temperatura. Por el contrario, las

zonas en las que la radiación solar incidente presenta mayor inclinación, tienen que repartir la misma cantidad de energía en un área mayor, calentándose en menor medida por unidad de superficie.

Los rayos solares que alcanzan el tope de la atmósfera, además tienen que atravesar esta capa antes de incidir sobre el suelo y ser absorbidos. En este camino, sufrirán distintos procesos de dispersión y absorción, llegando más atenuados a su destino final. Por tanto, cuanto mayor sea la inclinación de los mismos, mayor será el recorrido que tienen que realizar para atravesar la atmósfera y en consecuencia llegarán al suelo con menor intensidad.



¿En cuál de las siguientes zonas de la Tierra inciden los rayos solares de forma más perpendicular?:

- a. En los Trópicos
- b. En el Ecuador
- c. En los Polos

¿Es tu respuesta coherente con los valores de temperatura promedio que suelen tener estas regiones?



Si en los Polos no se pone el Sol durante 6 meses, ¿por qué la temperatura no es muy alta en esa época del año?

Con esto concluimos que, al aumentar la latitud, la radiación solar que es absorbida por la superficie terrestre por metro cuadrado es menor y por tanto, en igualdad de condiciones, la temperatura media de esas regiones también será menor.

La inclinación del eje de rotación de la Tierra

El segundo factor importante en el calentamiento de la superficie terrestre es la *duración del día*, es decir, el número de horas de sol que tiene un día. Cuanto más largos sean los días, existirá mayor cantidad de energía solar disponible para alcanzar el suelo y calentarlo. Este motivo también contribuye a que los días de verano (más largos) sean más calurosos que los días de invierno (más cortos). Además el Sol alcanza mayor altura en un día de julio que en agosto. Esto es debido a *la inclinación del eje de rotación de la Tierra*, que es de unos $23,5^\circ$ con respecto a la perpendicular al plano de la órbita terrestre, lo que hace que el Hemisferio Norte esté inclinado hacia el Sol en verano y alejándose del Sol en los meses de invierno. Al contrario ocurre en el Hemisferio Sur.

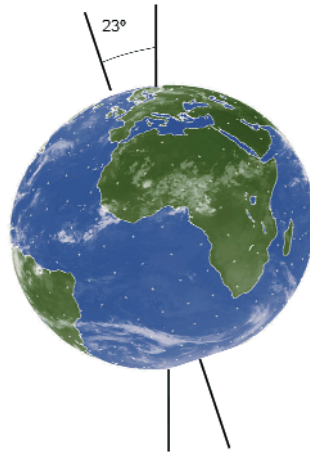


Figura 7.3. Inclinación del eje de rotación de la Tierra.

Si el eje de rotación de la Tierra fuese completamente vertical, ¿Cuál sería la duración de los días y las noches?



La distribución tierra-mar

Otro factor que afecta a los valores de temperatura de una región determinada, y por tanto a su clima, es su *situación geográfica*. Para una misma latitud, observamos que en invierno, las ciudades que se encuentran en el interior de los continentes, alcanzan valores de temperatura mucho más bajos que las que se localizan en las proximidades de mares y océanos. En verano ocurre justo lo contrario. Esto se debe a las diferentes propiedades termodinámicas del agua y el suelo que, como vimos en el capítulo 3, se traducen en que el suelo se calienta y enfría más rápido que el agua. Por otro lado, la energía que llega a la superficie es absorbida sólo por una fina capa del suelo, mientras que en el agua es distribuida a mayor profundidad gracias a la facilidad que tiene para circular en el seno de la misma. Además, parte de la radiación solar que incide sobre el agua se usa para evaporar parte de ésta y no para calentarla.

Gracias a este efecto “termorregulador” del agua, las ciudades costeras o próximas a grandes superficies acuáticas, disfrutan de temperaturas más suaves durante todo el año que las ciudades situadas en el interior de los continentes, que tienen mayores contrastes térmicos entre los meses de verano e invierno.

Las corrientes oceánicas

Las corrientes oceánicas son otro factor influyente en la temperatura del aire a lo largo de las márgenes de los continentes. Así, las que transportan agua relativa-

mente cálida desde latitudes bajas hacia los Polos, suavizan las temperaturas de las ciudades a las que bañan, normalmente en las costas este de los continentes. Por el contrario, las costas oeste de los continentes suelen tener valores más frescos de temperatura, dado que las corrientes oceánicas que las afectan transportan agua fría desde los Polos al Ecuador.



Lisboa y Nueva York se encuentran situadas aproximadamente a la misma latitud. ¿Qué corrientes oceánicas bañan a estas dos ciudades? Busca en Internet las características climáticas de ambas y relacionalas con su situación geográfica.

La circulación general de la atmósfera

En el curso de un río, el agua lleva una dirección dominante camino del mar, pero en ese camino se suele encontrar con pequeños obstáculos, como una roca o un tronco, que producen remolinos que no siguen el curso natural del río pero que no evitan que el río alcance su destino final.

Algo similar ocurre en la atmósfera terrestre: El distinto calentamiento entre las diferentes partes del Planeta, genera movimientos de las masas de aire desde unas zonas a otras para intentar equilibrar estas diferencias térmicas. Como consecuencia, la energía recibida se reparte, dando lugar a lo que se conoce como ‘circulación general de la atmósfera’ (el curso principal del río). Los vientos dominantes se ocupan de transportar las masas de aire cálidas desde el Ecuador hacia los Polos, haciendo así más agradable el clima de latitudes medias. Fenómenos locales, como una tormenta, o un tornado, constituyen situaciones que se apartan de la circulación general, pero que no la alteran (serían esos ‘pequeños remolinos turbulentos’ que aparecen en el curso principal del río).

Para poder entender el complejo movimiento de la atmósfera producido por el hecho de que la Tierra es aproximadamente una esfera en rotación, recibiendo energía de forma desigual, es necesario utilizar modelos que nos permitan entender de forma sencilla los mecanismos que rigen estos movimientos.

Imaginemos que la Tierra fuese una esfera en rotación sobre la que los rayos de Sol incidieran siempre perpendicularmente en el Ecuador. Debido al calentamiento y a la rotación, se producirían fuertes ascensos de las masas de aire sobre esta región. Este mecanismo favorecería la formación de grandes tormentas tropicales y lluvias frecuentes e intensas, posibilitando en esa región la existencia de extensas zonas de frondosa vegetación, como ocurre en la realidad con la Amazonia.

Cuando aspiramos el aire a través de una pajita para beber un refresco, éste asciende por la misma y el lugar que ocupaba en el fondo del vaso es ocupado por otra parte del líquido que se encontraba próximo a él. El defecto de masa que ha producido la succión se equilibra con masa procedente de los alrededores, que trata de rellenar el vacío producido al aspirar (disminución de la presión). Recuerda lo que vimos al hablar de la formación de las brisas de mar.

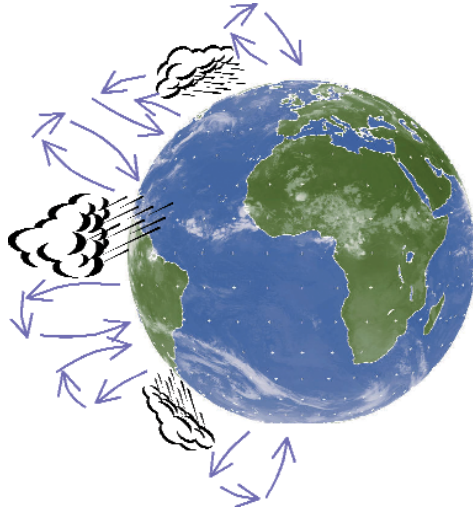


Figura 7.4. Esquema de la circulación general de la atmósfera.

Pues bien, algo parecido ocurre en la atmósfera (figura 7.4): cuando en el Ecuador se produce el ascenso de las masas de aire calientes, en superficie se produce un movimiento horizontal del aire que tiende a compensar este defecto de masa. Esto da lugar a vientos del noreste en el Hemisferio Norte (los famosos vientos alisios que llevaron a Colón a las costas de América) y del sureste en el Hemisferio Sur que confluyen en la zona ecuatorial, en lo que se ha dado en llamar ‘la zona de convergencia intertropical’ (ITCZ).

Alejémonos ahora del Ecuador. ¿Qué ocurre en las latitudes medias (alrededor de 30° de latitud norte o sur)? Allí se produce el proceso contrario: las masas de aire frías que se encuentran en altura descienden verticalmente sobre esas regiones, dando lugar a potentes anticiclones en superficie (‘altas subtropicales’). Recordemos que cuando el aire desciende sobre una zona no se favorece la formación de nubosidad. Por esta razón, los principales desiertos del Planeta se sitúan aproximadamente en estas latitudes.

Además, el aire que llega al suelo desde la vertical no puede penetrar en la tierra, por lo que no tiene más opción que moverse horizontalmente alejándose de ese punto (divergencia).



- Localiza en un mapa el desierto del Gobi y el del Sahara ¿qué tienen en común?
- Sitúa la Península Ibérica dentro del régimen de circulación general de la atmósfera y describe las características meteorológicas dominantes.

Hacia los 60° de latitud norte o sur, se define un nuevo cinturón de convergencia en superficie y de divergencia en altura. Sin embargo, aquí la situación es diferente a la que se presenta en el Ecuador: debido al fuerte contraste de temperatura entre las masas de aire polar y subtropical, se produce una marcada superficie de discontinuidad entre ambas masas. Así, la masa subtropical más cálida y ligera asciende paulatinamente sobre la polar, más fría y densa, formándose lo que se conoce como el ‘frente polar’, causante de los sistemas de baja presión que llegan a nuestras latitudes.

Este modelo, aunque sea una versión extremadamente simplificada del Planeta, refleja bastante bien el verdadero movimiento del aire y sus consecuencias sobre el clima de la Tierra. Los pequeños ‘remolinos turbulentos’ aparecerán en este ‘curso principal del río’ en el momento en el que se incluya la verdadera y completa configuración del Planeta, con la verdadera inclinación de su eje de rotación, la distinta distribución de tierra y mar, la orografía, etc.

7.4. LA EVOLUCIÓN DEL CLIMA DE LA TIERRA

El planeta Tierra no siempre ha presentado el aspecto con el que nosotros lo conocemos hoy en día, con su distribución actual de continentes y océanos y las temperaturas tan ‘agradables’ de que disfrutamos. Su configuración ha ido evolucionando con el paso de los años, las décadas y los siglos, y con ella las condiciones climáticas de las distintas regiones.

Es difícil conocer con exactitud cuáles eran las condiciones climáticas de hace millones de años, dado que, obviamente, no se dispone de los registros meteorológicos con los que contamos hoy en día para analizar los valores de temperatura, precipitación, viento, etc., y que nos ayudan a caracterizar el clima de una región.

Para salvar esta dificultad, la Paleoclimatología, que es el campo de la Climatología que estudia los climas del pasado, recurre a diversas técnicas que ayudan a obtener evidencias sobre las condiciones climatológicas de otras épocas. Citaremos brevemente algunas de ellas:

- El análisis de los registros fósiles encontrados, por ejemplo en los fondos oceánicos o en cuevas profundas, nos proporciona información sobre el rango de temperaturas existentes en la época en la que vivió el ser vivo al que corresponden esos restos, ya que sabemos bajo qué condiciones ambientales pueden vivir las distintas especies animales y vegetales.
- Técnicas estratigráficas, como por ejemplo las que extraen núcleos de hielo de los glaciares o de las profundidades de la Antártida. En ellas se suele analizar la concentración de isótopos de oxígeno en las burbujas de aire que contienen. Se sabe que en los periodos cálidos aumentaba la concentración del isótopo más pesado del oxígeno (^{18}O). Estos núcleos de hielo también proporcionan información sobre la composición química de la atmósfera de aquella época, pudiendo determinarse, por ejemplo, la existencia de erupciones volcánicas y su posible influencia sobre el clima de ese periodo.
- La Dendroclimatología, que mediante el estudio de los anillos de crecimiento de los árboles, extrae información acerca de la existencia de periodos cálidos, secos, fríos, lluviosos, etc.
- El Paleomagnetismo estudia las propiedades magnéticas de algunas rocas, deduciendo de ellas las condiciones ambientales que existían durante su formación.
- Para el estudio de climas de épocas más recientes, también se recurre a documentos de archivos municipales y eclesiásticos, que hablan de grandes inundaciones, sequías y sus efectos sobre las cosechas.



¿Qué información acerca del clima nos daría un tronco de un árbol si los 3 anillos más próximos a la corteza son tremendamente finos comparados con el resto?

Gracias a las evidencias obtenidas mediante estos y otros métodos de estudio, los científicos están de acuerdo en que el clima de nuestro planeta siempre ha estado en lento, pero permanente cambio de forma natural.

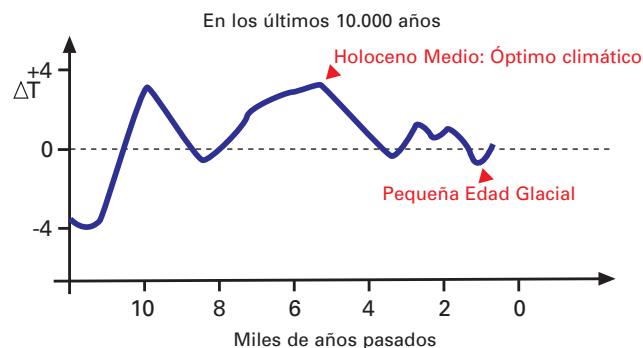
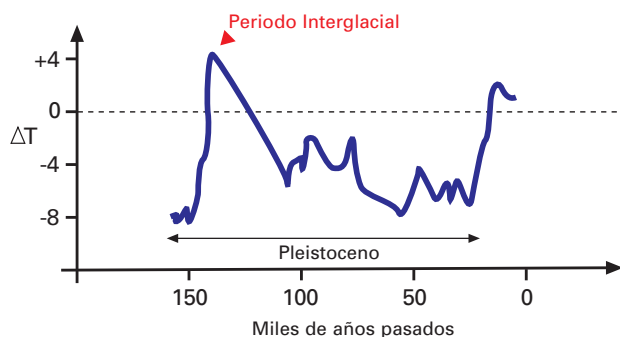
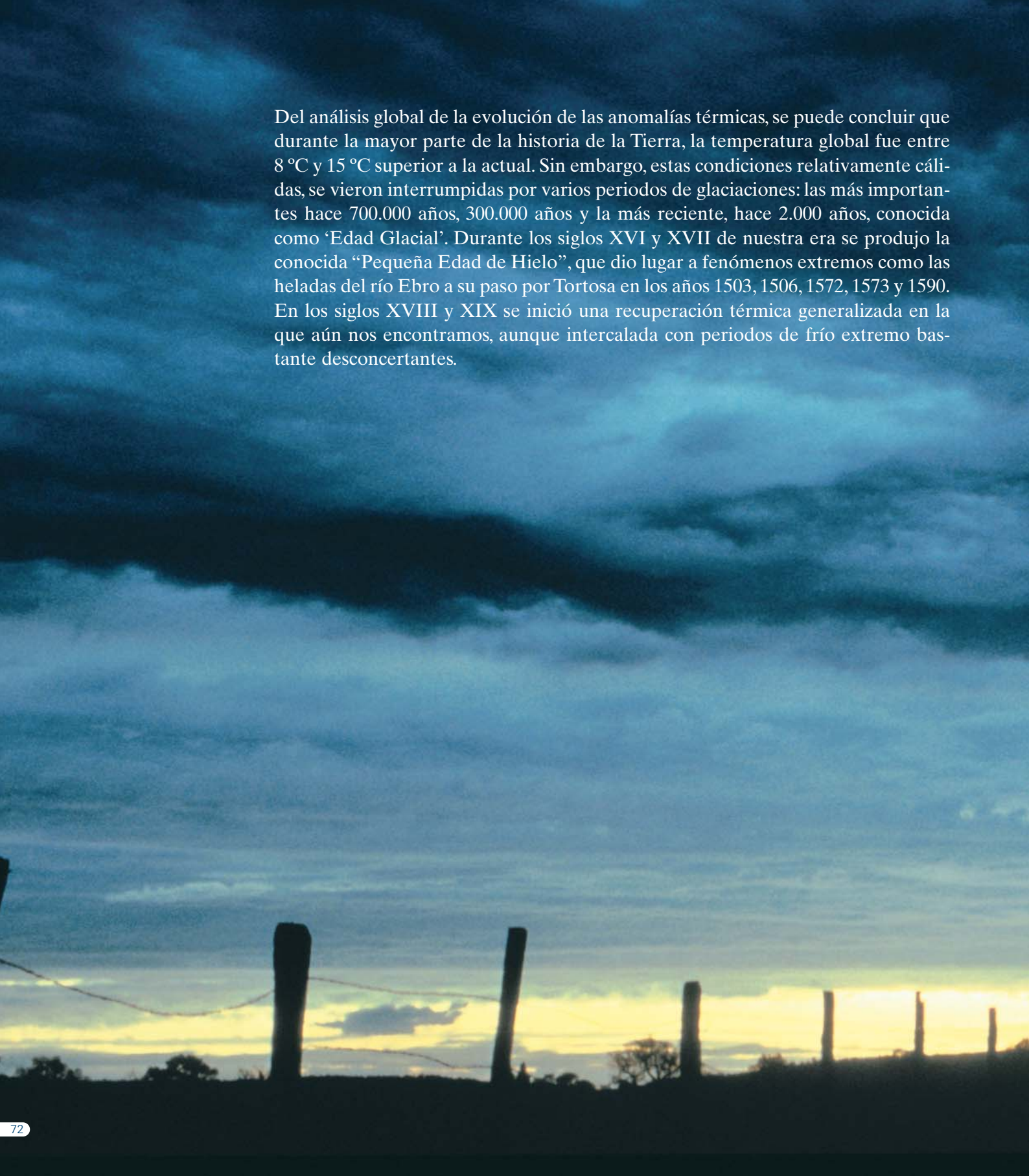


Figura 7.5. Variación de la temperatura media global en el pasado.



Del análisis global de la evolución de las anomalías térmicas, se puede concluir que durante la mayor parte de la historia de la Tierra, la temperatura global fue entre 8 °C y 15 °C superior a la actual. Sin embargo, estas condiciones relativamente cálidas, se vieron interrumpidas por varios periodos de glaciaciones: las más importantes hace 700.000 años, 300.000 años y la más reciente, hace 2.000 años, conocida como 'Edad Glacial'. Durante los siglos XVI y XVII de nuestra era se produjo la conocida "Pequeña Edad de Hielo", que dio lugar a fenómenos extremos como las heladas del río Ebro a su paso por Tortosa en los años 1503, 1506, 1572, 1573 y 1590. En los siglos XVIII y XIX se inició una recuperación térmica generalizada en la que aún nos encontramos, aunque intercalada con periodos de frío extremo bastante desconcertantes.



8. LOS CLIMAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

8.1. FACTORES CLIMÁTICOS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

La gran diversidad de tiempo atmosférico y por tanto, de climas en la Península Ibérica, es el resultado de la combinación de los factores y elementos climáticos particulares de la misma.



Figura 8.1. Paisajes de distintas regiones climáticas de la Península Ibérica.

La situación de la Península en latitudes medias hace que disfrutemos en conjunto de un ‘clima templado’, acentuado por el efecto amortiguador de las aguas relativamente cálidas que la rodean casi por completo.

Debido también a su localización geográfica, la Península se ve afectada por los vientos dominantes del oeste y por las altas presiones subtropicales durante casi todo el año, sobre todo en los meses de verano. No obstante, al tercio norte peninsular le suelen llegar, muy frecuentemente, los sistemas frontales y centros de baja presión que se desprenden del frente polar, haciendo que el clima de estas regiones sea mucho más húmedo y con temperaturas más suaves que el del resto de las zonas peninsulares.



¿Qué nombre recibe el anticiclón que suele afectar a la Península Ibérica?

No obstante, la continentalidad y la compleja orografía de algunas regiones de la Península Ibérica, con una altitud promedio de unos 500 metros y con los sistemas montañosos actuando como barreras y pasos naturales a las masas de aire, junto con las extensas zonas costeras, atlánticas y mediterráneas, contribuyen a la diversificación y complejidad de la climatología de la misma.

8.2. CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA DE FONT

Existen distintos modos de clasificar las regiones según su clima. Una de las clasificaciones más utilizadas es la de Font (1983), una clasificación climática regional para la Península Ibérica, que se basa en factores como el índice de continentalidad y el régimen pluviométrico. El índice de continentalidad se define como:

$$K= 1,7 \frac{AT}{\text{sen } \theta} - 20,4$$

donde AT es la amplitud térmica anual que se calcula como la temperatura media del mes más cálido menos la del mes más frío y θ la latitud del lugar considerado.

Consulta en la página web del INM los valores climatológicos de Santander y Madrid y calcula sus índices de continentalidad.



Un posible índice para medir el régimen pluviométrico de una región se basa en la cantidad de precipitación recogida en el trimestre estival (junio, julio y agosto), según se detalla en la siguiente tabla:

Régimen pluviométrico	Precipitación en el trimestre estival (mm)
Muy seco	< 45
Seco	45 – 90
Algo lluvioso	90 – 120
Lluvioso	120 – 180
Muy lluvioso	> 180

Teniendo en cuenta estos índices y otros factores más complejos, Font propone la siguiente clasificación en regiones climáticas para la Península Ibérica:

REGIONES CLIMÁTICAS DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

I ZONA PARDA	Veranos poco lluviosos o secos	I.1 ATLÁNTICA K < 20	I.1.1 Marítima K < 10
			I.1.2 Submarítima 10 < K < 20
		I.2 CONTINENTAL K > 20	I.2.1 Atenuada 20< k <30
			I.2.2 Extremada K > 30
		I.3 MEDITERRÁNEA El otoño es la estación más lluviosa	I.3.1 Noreste
			I.3.2 Levante
			I.3.3 Sureste
II ZONA VERDE	No presenta veranos secos Pertenece a la zona húmeda Precipitación anual >1000 mm	II.1 MARÍTIMA K< 10	
		II.2 SUBMARÍTIMA K > 10	
		II.3 PIRENÁICA	

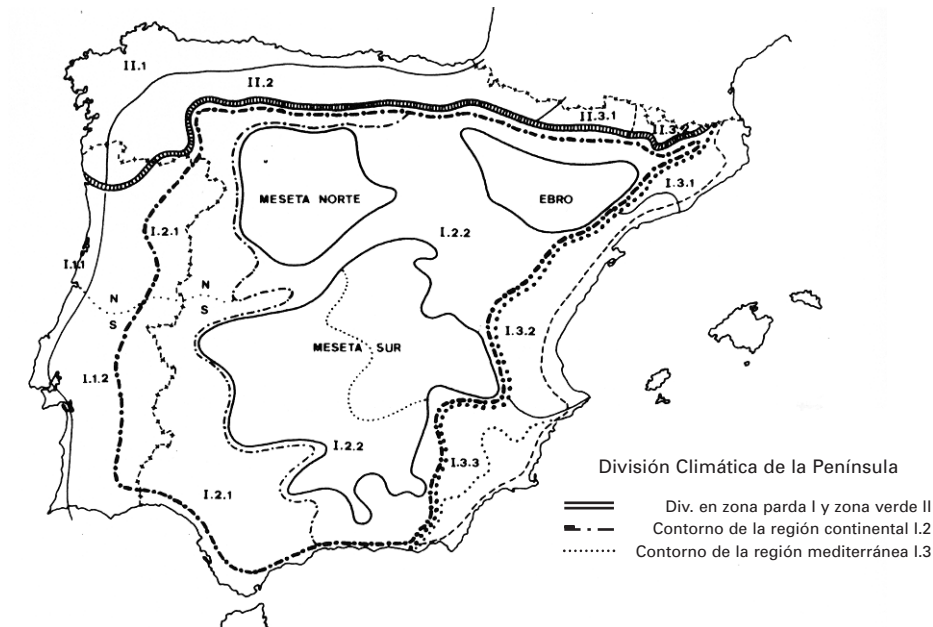
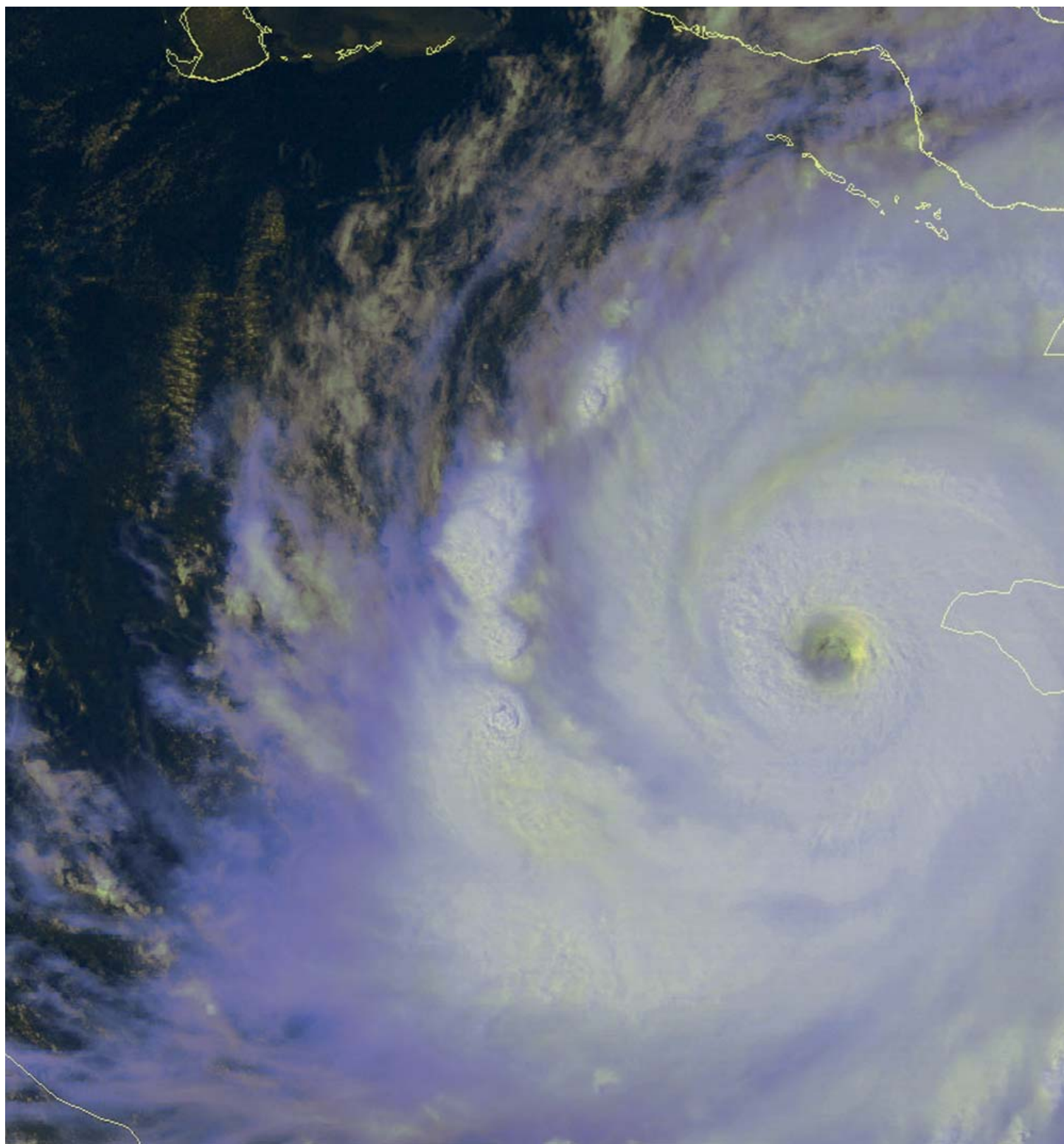
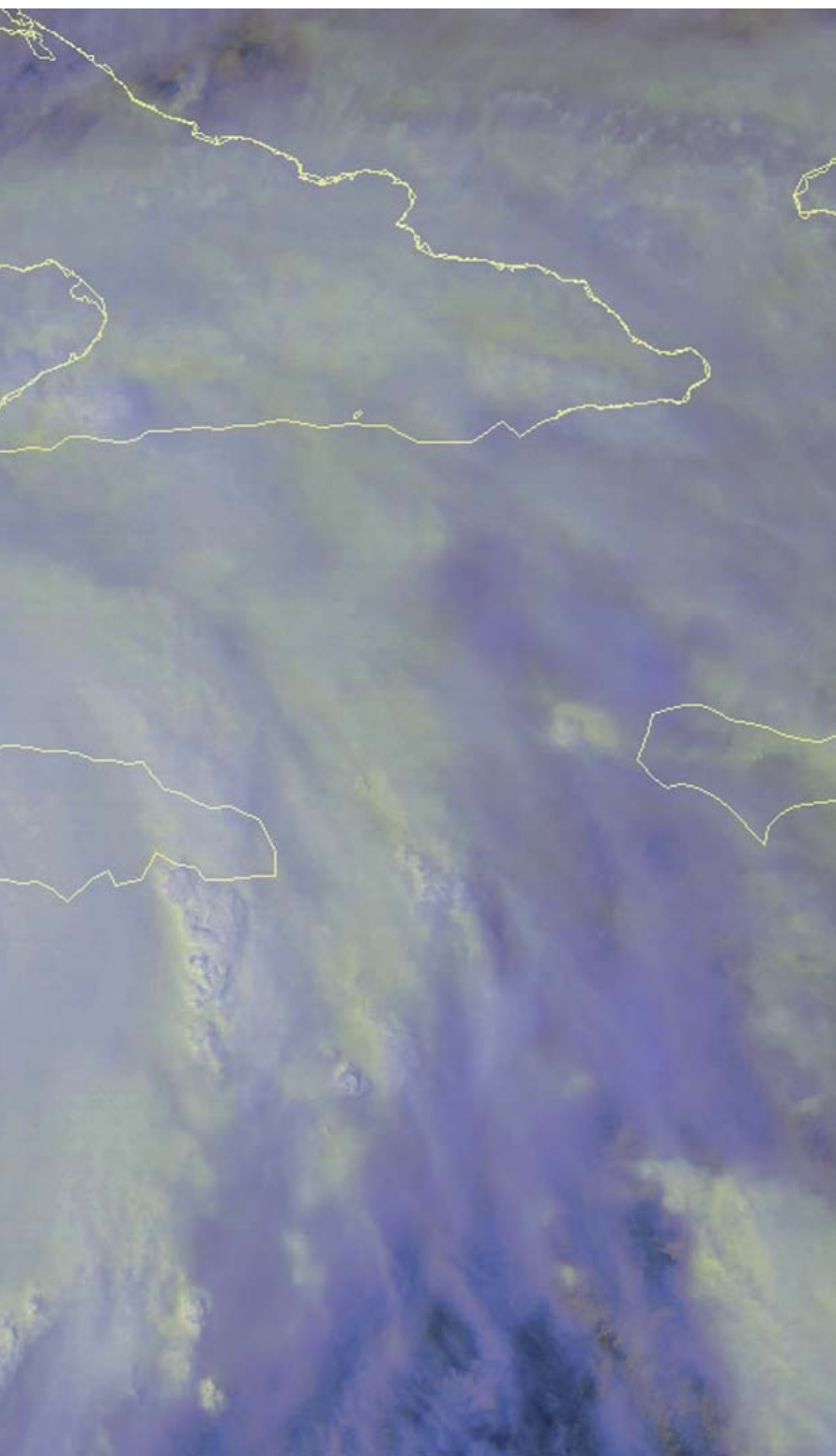


Figura 8.1. Distribución geográfica de las regiones climáticas propuestas por Font para la Península Ibérica.
 FUENTE: *Climatología de España y Portugal de Inocencio Font Tullot, Universidad de Salamanca.*

Haciendo uso de los valores climatológicos de la estación Madrid-Cuatro Vientos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología, determina a qué región climática pertenecería Madrid, según Font.





Huracán Iván, 11 de septiembre de 2004.

FUENTE: NOAA.

9. EL CAMBIO CLIMÁTICO RECIENTE

9.1. CALENTAMIENTO GLOBAL Y EFECTO INVERNADERO

La clave de los cambios climáticos acontecidos a lo largo de la historia de la Tierra radica en los cambios de la energía que llega procedente del Sol a la Tierra y del estado de equilibrio en que se encuentra el sistema tierra-océano-atmósfera. Estos cambios pueden tener un *origen natural externo*:

- Variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre, con una periodicidad aproximada de 100.000 años,
- Modificaciones en la inclinación del eje de rotación de la Tierra, cuya periodicidad es de unos 41.000 años,
- Cambios en la actividad solar o el número de manchas solares, que varían cada 11 años.

También pueden estar motivados por causas naturales internas o terrestres:

- La distinta distribución de la tierra y el mar,
- Las erupciones volcánicas o
- Las corrientes oceánicas.

Entonces, si el clima ha estado cambiando siempre por motivos naturales ¿por qué se habla tanto actualmente sobre el cambio climático?

Para encontrar la respuesta, observemos la evolución de las temperaturas registradas en el Hemisferio Norte durante los últimos 120 años que se muestra en la figura 9.1.

Aumento de temperatura

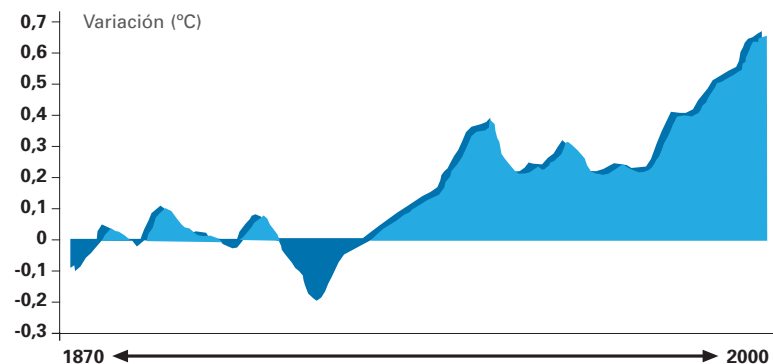


Figura 9.1. Variación respecto a la media de la temperatura global en los últimos 120 años en el Hemisferio Norte.

FUENTE: Centro Hadley, Oficina Meteorológica.

Claramente se observa que desde finales del siglo XIX, se ha producido un incremento de temperatura a escala global. *Pero lo más importante es que ha sido el más intenso desde la última era glacial y el más rápido de los que se tiene constancia.*

En los últimos 100 años, las temperaturas medias han aumentado entre 0,3°C y 0,6°C (el decenio de 1990 ha sido el más cálido del milenio y 1998 el año más caluroso, aunque posteriormente ha habido también años como el 2003 con altos valores de temperatura), el nivel del mar ha aumentado entre 10 y 25 cm y se ha producido un retroceso significativo de los glaciares.

El grupo de expertos internacional que estudia el cambio climático, llamado ‘Panel Intergubernamental para el Cambio Climático’ (IPCC es su acrónimo en inglés), ha admitido en su último informe, que estos cambios no pueden explicarse sólo a partir de la variabilidad natural del clima y que es posible que las actividades del hombre hayan contribuido a producir estas variaciones anómalas. Uno de los primeros datos que hicieron pensar a los científicos en esta relación fue la evolución de la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera (véase figura 9.2).

CO_2 por uso de combustibles fósiles

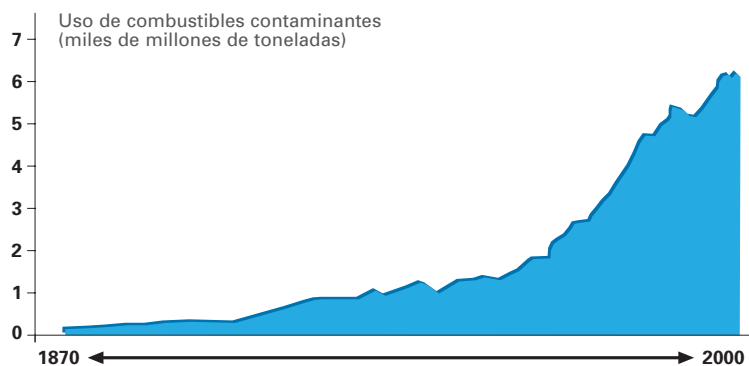


Figura 9.2. Concentración promedio de CO_2 en el Hemisferio Norte en los últimos 120 años.
FUENTE: Centro Hadley, Oficina Meteorológica.

Observa la figura 9.2, en la que se presenta la concentración promedio de dióxido de carbono en el último siglo. ¿Detectas alguna analogía entre esta curva y la del aumento de temperatura para ese mismo periodo?



Efectivamente, se constata que, coincidiendo con el inicio de la revolución industrial, se produjo una creciente concentración en la atmósfera de los principales gases de efecto invernadero, fundamentalmente del dióxido de carbono.

Paralelamente a este aumento, se produjo un calentamiento del sistema climático a escala global que ha tenido una repercusión directa sobre muchos ecosistemas marinos y terrestres, e incluso se empieza a tener indicios de su incidencia también en sistemas socio-económicos.

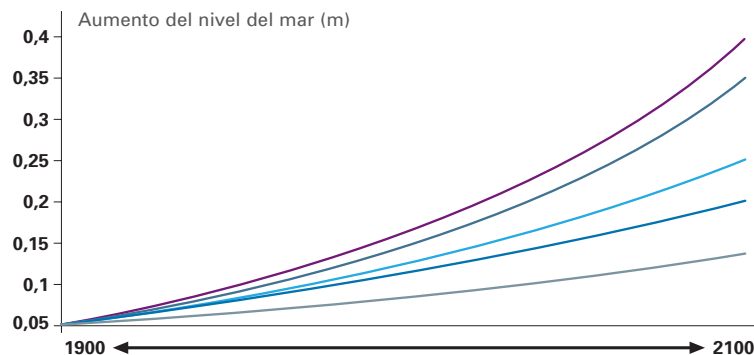
9.2. POSIBLES EFECTOS FUTUROS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Mediante la utilización de complejos modelos matemáticos que tratan de reflejar todos los procesos físicos que intervienen en el sistema climático, se intenta averiguar qué clima tendremos en el futuro. Se realizan diferentes simulaciones del clima de los próximos 50-100 años partiendo de hipótesis en cuanto a factores como el ritmo de crecimiento de la población, el gasto de energía esperado (calefacciones, automóviles, aire acondicionado, etc.), el cambio en el uso del suelo (recuerda que la radiación absorbida por la superficie depende de su albedo), etc.



La deforestación también contribuye al calentamiento global del Planeta ¿A qué crees que es debido?

Efecto de reducir las emisiones de CO₂



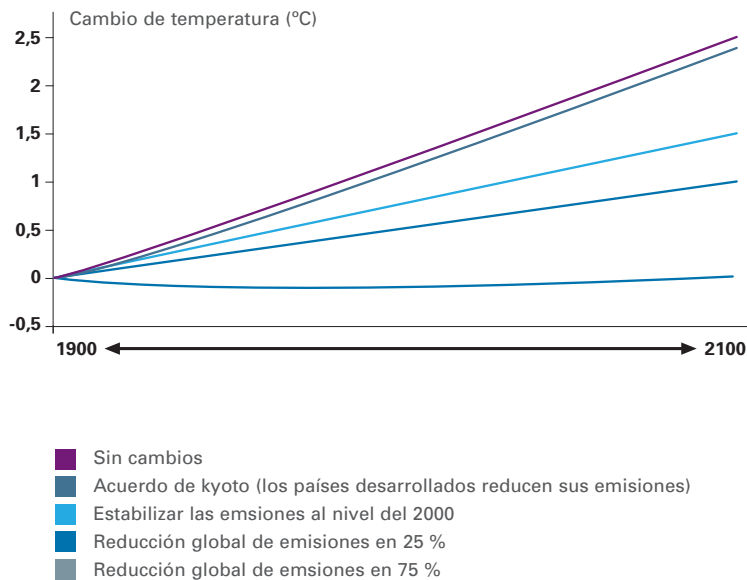


Figura 9.3. Predicciones del aumento del nivel del mar y de la temperatura para distintos escenarios climáticos.
FUENTE: Centro Hadley, Oficina Meteorológica.

Los resultados de los modelos usados por los expertos del IPCC, anuncian entre otros los siguientes cambios del clima a lo largo del siglo XXI:

- Se espera mayor calentamiento en las zonas de interior.
- El calentamiento máximo se espera en el invierno ártico.
- Las temperaturas nocturnas subirán más que las diurnas.
- Probablemente se incrementará el número de días calurosos en las latitudes medias.
- Las sequías e inundaciones podrán ser más frecuentes y prolongadas.
- Se esperan incrementos en los actuales niveles de evaporación y precipitación.

Una de las posibles consecuencias de este calentamiento global que anuncian los modelos climáticos, sería un aumento de las manifestaciones atmosféricas extremas (olas de calor, precipitaciones fuertes,...). También podría producirse la desaparición de ciudades costeras en algunas zonas especialmente vulnerables como son los deltas de ríos o los atolones del Pacífico, (¡entre un 50 y 70% de la población vive en zonas costeras!), así como cambios en la distribución de los cultivos agrícolas. El suministro de agua potable podría peligrar en diversas zonas, y algunas epidemias podrían extenderse más fácilmente. Todos estos cambios llevarían consigo, por supuesto, un elevado coste económico.

No obstante, dada la gran complejidad del sistema climático, todas estas predicciones hay que tomarlas con cautela, pues existen aún grandes incertidumbres sobre la respuesta que tendría el sistema bajo las ‘supuestas’ nuevas condiciones que imperarían en el futuro.

¿Qué hace la sociedad frente a este problema?

Seguro que has oído hablar en los medios de comunicación de ‘La Cumbre del Clima de Kyoto’. Ésta fue una importante reunión que tuvo lugar en el año 1997 y en la que participaron 159 países interesados en tomar algún tipo de medida para intentar frenar el progresivo deterioro de nuestro medio ambiente. De esta conferencia surgió un compromiso unánime para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Una de las medidas que se ratificaron por la mayoría de los países fue que, en promedio, para el periodo 2008-2010, se debería reducir en un 5% las emisiones respecto a los niveles alcanzados en el año 1990.

Sin embargo, el problema es muy complejo, pues está relacionado con el nivel de concienciación social y política, y sus posibles soluciones implican unos costes económicos muy elevados. Dada la gran disparidad en el nivel de desarrollo de los países implicados, es impensable que muchos de ellos, que están todavía en vías de desarrollo, puedan poner en marcha planes de reducción de las emisiones de los gases de efecto invernadero, cuando apenas pueden cubrir sus necesidades más básicas. Por ello, se optó por controlar el valor de las emisiones en función del nivel de desarrollo del país, existiendo la posibilidad de realizar agrupamientos de países que compensaran entre sí dichas emisiones.

Aún así, a día de hoy, la mayoría de los países que firmaron el protocolo de Kyoto no han sido capaces de mantener un ritmo de emisiones de gases de efecto invernadero que les permita llegar al año 2008 sin superar los niveles comprometidos.

9.3. ¿QUÉ PUEDO HACER YO?

Oyendo hablar de los grandes pactos entre las superpotencias internacionales firmados en las cumbres del clima, nos hace pensar que todo está en manos de los políticos o, como mucho, de los empresarios propietarios de las grandes industrias. Sin embargo, somos cada uno de nosotros, quienes hacemos uso cada día de la energía y de los productos que ellos generan. Luego, indirectamente, lo que cada persona consume o el tipo de acciones que realiza en sus actividades cotidianas pueden contribuir a empeorar o a mejorar las condiciones presentes y futuras de nuestro planeta.

Haz una lista con al menos diez actividades que realices u observes diariamente y para las cuales sea necesaria la utilización de energía.



En un alto porcentaje el origen de esta energía se encuentra fundamentalmente en la combustión de materiales fósiles. Durante el proceso de combustión se generan residuos que contribuyen al calentamiento global del Planeta. La minimización de estos residuos requiere una utilización responsable de la energía disponible. Algunas de las medidas para ahorrar energía y cuidar los recursos naturales existentes, que están al alcance de nuestra mano podrían ser las siguientes:

- Reducir el consumo de agua en casa: ducharse en lugar de bañarse, no dejar el grifo abierto mientras nos cepillamos los dientes, arreglar los grifos que gotean, disminuir la capacidad de las cisternas introduciendo, por ejemplo, una botella llena de agua.
- Reducir el consumo de electricidad: Utilizar bombillas de bajo consumo que pueden durar ocho veces más y gastan sólo 1/5 parte de la energía que necesita una bombilla normal. Los tubos fluorescentes también consumen menos que las bombillas tradicionales, pero siempre que no sea necesario encenderlos y apagarlos continuamente, pues su consumo es mayor en el momento de encenderlos. No dejar el televisor o el equipo de música encendidos cuando no los usemos. No dejar las luces encendidas cuando salimos de una habitación y vamos a tardar en volver a entrar.
- En nuestro ordenador, configurar el sistema de ahorro de energía, utilizar la vista previa antes de imprimir un documento, activar el funcionamiento del salvapantallas y usar papel reciclado tanto para imprimir como para escribir.
- Utilizar el lavavajillas y la lavadora con su carga máxima y sin excedernos en la cantidad de detergente utilizado.
- En la medida de lo posible, utilizar el transporte público.
- Utilizar aparatos que funcionen con pilas sólo cuando sea necesario y depositarlas en contenedores adecuados para su reciclaje. El mercurio que contiene una pila botón puede contaminar hasta 600.000 litros de agua. Además, la energía de las pilas cuesta hasta 450 veces más que la que suministra la red.
- Reciclar el vidrio, los plásticos y el papel.

Además del consumo directo de materias primas, debemos ser conscientes de que una gran cantidad de los productos que consumimos requieren para su elaboración no sólo materias primas, sino energía para transformarlas. Por citar sólo un ejemplo, para la elaboración de una botella de cristal, se utiliza normalmente arena de playa. En el proceso de transformación hasta conseguir el vidrio, se requiere el consumo de gran cantidad de energía. ¿Sabías que utilizando el vidrio reciclado de 3000 botellas ahorramos 130 kg de fuel y 1200 kg de materias primas, y que se reduce en un 20% la contaminación del aire y en un 50% el consumo de agua?



Figura 9.4.
Bombilla de bajo consumo



Clasifica las siguientes actividades que realizas diariamente según contribuyan o no a aumentar el efecto invernadero (indica sí o no en la columna de la derecha).

- Levantar la persiana cuando haya luz natural
 - Encender la luz cuando me levanto
- Lavar a mano mi camiseta preferida
 - Ir en bicicleta al colegio
- Tirar al mismo cubo de basura la botella de leche vacía y los restos de comida
 - Dejar la tele del salón encendida mientras estoy merendando en la cocina
 - Depositar en el contenedor verde el tarro de cristal vacío de aceitunas
 - Comprar la fruta envasada en bandejas de plástico
 - Darme una ducha en lugar de bañarme
 - Dejar correr el grifo mientras me enjabono las manos

Si sigues la regla de las 3 R: Reducir, Reutilizar y Reciclar, estarás contribuyendo a que nuestro planeta siga siendo un lugar maravilloso para vivir.

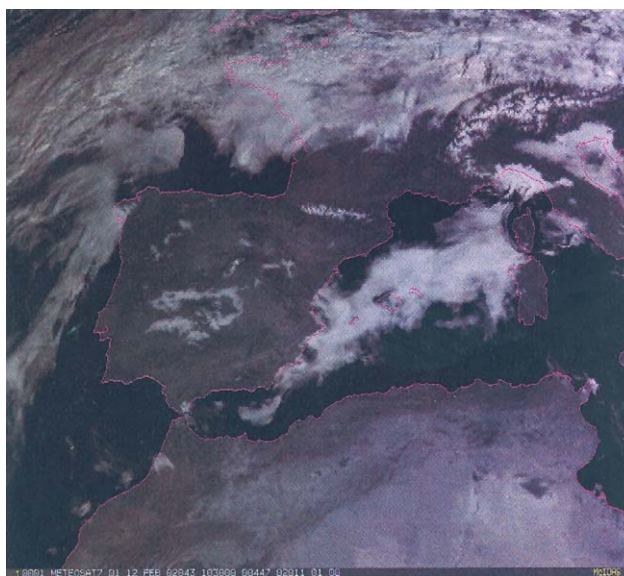


Imagen de satélite del canal visible de las 11:30 UTC del 8 de octubre de 2002 en la que se aprecia una estructura nubosa sobre la zona central de la Península Ibérica.

FUENTE: INM.

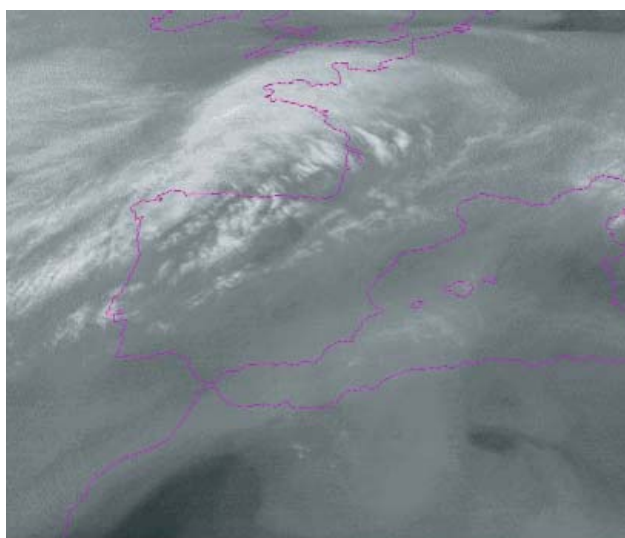


Imagen de satélite del canal de vapor de agua de las 11:00 UTC del 14 de octubre de 2002 en la que se aprecia un sistema frontal que penetra por el noroeste peninsular.

FUENTE: INM.



10. WEBS INTERESANTES

<http://www.inm.es>

Página del Instituto Nacional de Meteorología con información meteorológica y predicciones del tiempo.

<http://www.meteored.com/ram>

Revista de aficionados a la Meteorología con multitud de curiosidades, un foro de aficionados y fotos increíbles de fenómenos meteorológicos.

<http://www.meteosort.com>

Página de un observador meteorológico que contiene los resultados de diversos modelos de predicción, así como información sobre instrumentos meteorológicos.

<http://www.esa.int/export/esaED/>

Sección de Educación sobre Meteorología y Climatología de la Agencia Espacial Europea.

http://www.geocities.com/silvia_larocca/

La Meteorología al alcance de todos, una página con información interesante y numerosos experimentos relacionados con la Meteorología que puedes realizar tu mismo.

<http://www.eumetsat.de/>

Página de la Organización Europea para la Explotación de Satélites, en la cual puedes encontrar imágenes de satélite en tiempo real.

<http://club.telepolis.com/fgilgon/meteorec.html>

Portal de Recursos de Meteorología con links a otras páginas de interés y numerosas fotos de fenómenos meteorológicos.

<http://www.ipcc.ch/>

Página del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.

<http://www.wmo.ch/>

Página de la Organización Meteorológica Mundial.

<http://www.meto.gov.uk>

Oficina Meteorológica del Reino Unido.

<http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/index.html>

Página oficial de la NASA para estudiantes de meteorología.

<http://www.ame-web.org>

Página oficial de la Asociación Meteorológica Española.

<http://www.emetsoc.org>

Página oficial de la European Meteorological Society.

<http://www.ametsoc.org>

Página oficial de la American Meteorological Society.

<http://www.royal-met-soc.org.uk>

Página oficial de la Royal Meteorological Society.



OBSERVACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE NUBES

Francisco Martín León
José Antonio Quirantes

AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren dar las gracias a Carlos García Legaz y Carlos Almarza, ambos del INM, así como a Josep Enric Llebot del Departament de Física de la Universitat Autònoma de Barcelona por sus comentarios y sugerencias que han servido para enriquecer esta Unidad.

OBJETIVO DE LA UNIDAD	94
1. INTRODUCCIÓN	96
1.1. La nube como un eslabón del ciclo del agua	97
1.2. Mecanismos de ascensos de masas de aire	99
Por qué es importante observar las nubes	100
2. CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LAS NUBES	108
a. Por su origen	108
b. Por su naturaleza	108
c. Por el nivel atmosférico que ocupan	109
d. Por sus formas	110
Tabla de las Clasificaciones nubosas	112
3. DESCRIPCIÓN DE LOS GÉNEROS DE NUBES: NUBES ESPECIALES	114
GÉNEROS DE NUBES, ABREVIATURAS Y SU SIGNIFICADO LATINO	115
4. AHORA TE TOCA A TI IDENTIFICARLAS	132
ANEXO I: CÓMO DOCUMENTAR LA FOTOGRAFÍA DE UNA NUBE	134
ANEXO II: TABLA DE CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE LAS NUBES DE LA OMM	138
SOLUCIONES AL TEST DE FOTOGRAFÍAS DE NUBES:	140
Bibliografía	141

OBJETIVO DE LA UNIDAD

Servir de elemento básico para la observación e identificación de las nubes desde la superficie terrestre. La unidad posee los elementos fundamentales para que los participantes del concurso de fotos “Cazadores de nubes” sean capaces de identificar cada género de nube fotografiada. Además, podrá ser usada como elemento de referencia en las tareas de observación meteorológica rutinarias y en las periódicas que se estime oportuno relacionada con otras actividades de observación habitual.



1. INTRODUCCIÓN

Una de las actividades que puede hacer cualquier ser humano en un día cualquiera es observar la atmósfera y recrearse en las maravillas que la adornan. Uno de los elementos que se pueden analizar a simple vista, sin instrumentos y desde el suelo, son las nubes. Esta tarea tan simple, e importante, se viene haciendo desde tiempos ancestrales para diversos fines.

Una nube es la materialización física y visual del vapor de agua atmosférico que, al cambiar de fase (líquida o sólida) y agruparse, forma estructuras que cubren total o parcialmente el cielo. La interacción de la luz solar con las gotitas y cristalitas de hielo hace que las nubes aparezcan, preferentemente blancas, otras veces son grisáceas e, incluso, negras ante la vista. Los rayos del sol al amanecer y atardecer adornan a las nubes de variados colores característicos. Una nube se puede definir como *“una porción de aire enturbiada por el vapor de agua condensado en forma de gotitas líquidas, pequeñas, numerosas, en cristalitas de hielo o en esferitas congeladas o por mezcla de ambos elementos”*. Esta definición ha sido extraída del “Manual del Observador de Meteorología” del Instituto Nacional de Meteorología, INM.

Vemos que una nube es una aglomeración fundamentalmente formada por gotitas de agua o hielo, o ambas juntas, que se hacen visibles de forma notoria y están suspendidas en el aire. De esta definición tenemos que no son nubes las estructuras formadas por las irrupciones de polvo, arena, material arrojado por volcanes o cualquier otro tipo de materia en suspensión.

Figura 1

Una nube es un conjunto de partículas formada, mayoritariamente, de gotitas líquidas, de cristalitas de hielo o de ambos a la vez, suspendida en la atmósfera. Ejemplo. Diferentes tipos de nubes en un atardecer tormentoso.

FOTO: José Antonio Quirantes, INM.



Otras definiciones de nube son algo más amplias y generales. He aquí otro ejemplo: *“conjunto variable de partículas minúsculas de agua líquida o de hielo, o de ambas cosas a la vez, en suspensión en la atmósfera. Este conjunto puede contener partículas de agua líquida, de hielo o ambas a la vez de mayores dimensiones y partículas procedentes de, por ejemplo, vapores industriales, de humo o de polvo”*. La última definición, que ha sido tomada del “Vocabulario de términos meteorológicos y ciencias afines”, incluye la posibilidad de que la nube esté formada por pequeñísimas partículas sólidas y líquidas, por otras mayores de su mismo género y proclives a producir precipitación, y otras partículas generadas por actividades humanas o naturales. Este hecho es lo más frecuente, aunque la mayor parte de la población de partículas debe estar formada por elementos minúsculos de agua líquida, hielo o cristallitos de hielo. Las estructuras formadas mayoritariamente por partículas de polvo, hollín, polen, material volcánico, humos, etc. se denominan también como nubes en una acepción más general. En esta unidad sólo trataremos los sistemas atmosféricos nubosos formados mayoritariamente por gotitas líquidas, sólidas o juntas a la vez. Como ejemplo ver la Figura 1.

1.1. LA NUBE COMO UN ESLABÓN DEL CICLO DEL AGUA

Las nubes son un eslabón del ciclo natural del agua en la tierra, que es generado y movido por el ingente calor del sol, nuestra máquina del tiempo atmosférico.

Todo empieza cuando el agua de los mares, océanos, lagos, ríos, etc., y de la vegetación se evapora y se incorpora a la atmósfera, Figura 2. El agua pasa al aire, principalmente, en forma de vapor. El vapor de agua es uno de los componentes del aire que, aún estando en pequeñas proporciones y limitado en las capas bajas de la atmósfera (troposfera), juega un papel importantísimo en ella y mantiene la vida en la tierra.

El vapor de agua es invisible a nuestros ojos. Su cantidad variable puede ser medida directa o indirectamente por instrumentos meteorológicos (higrómetros e higrógrafos, entre otros). Una masa de aire puede contener una cantidad limitada de vapor de agua a una temperatura y presión dada. Cuando la concentración de vapor de agua llega a unos límites determinados, entonces se puede condensar en forma de gotitas líquidas (condensación), o pasar directamente a cristallitos de hielo (sublimación), o las propias gotitas de agua formar cristales por congelación.

Estos procesos físicos de cambios de fase, donde el vapor de agua se transforma en gotitas de agua o cristales de hielo, suponen una odisea gigantesca ya que se deben

vencer fuerzas y tensiones que se oponen o resisten a ello. Si no fuera por la presencia en la atmósfera de los llamados núcleos de condensación, sublimación y congelación, el aspecto del cielo sería otro del que conocemos ahora: desprovisto de nubes.

Figura 2

Ciclo hidrológico con algunos de los aspectos de las tensiones provocadas por las actividades humanas.

FUENTE: Organización Meteorológica Mundial (OMM).

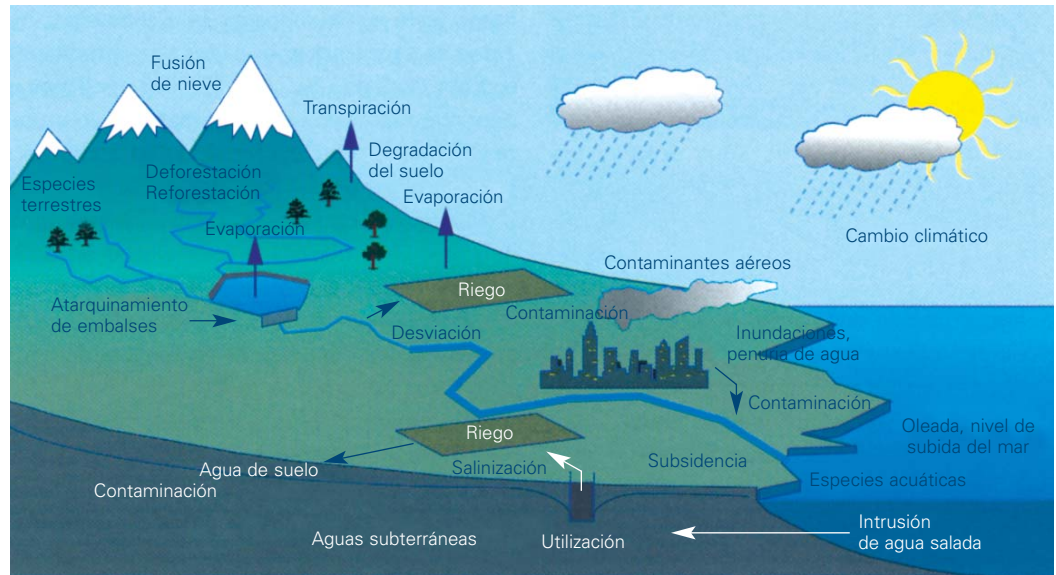
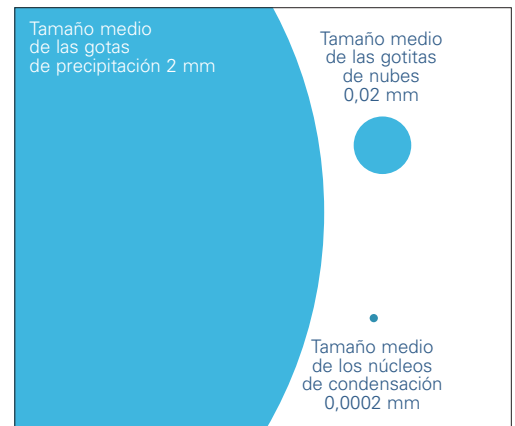


Figura 3

Los núcleos de condensación, sublimación y congelación son partículas pequeñísimas de sustancias higroscópicas (capaces de absorber la humedad) que, gracias a su composición química, favorecen los procesos atmosféricos de condensación, sublimación y congelación. De esta manera, las fuerzas que se oponen a los cambios de fase se ven modificadas o eliminadas parcialmente para permitir la formación de las nubes, hacer crecer las gotitas o cristales suspendidos, hasta ganar el peso suficiente para caer por la gravedad hacia el suelo. Ver Figura 3.



Núcleo de condensación y tamaños relativos de las gotitas de nube y gotas precipitantes.

1.2. Mecanismos de ascensos de masas de aire

Como ya se ha dicho, el vapor de agua que puede contener el aire en su seno, y en particular en la troposfera, depende de su temperatura, en primer grado, y de la presión. El aire de las zonas cálidas tropicales y ecuatoriales admite mayor cantidad de vapor de agua que el de las zonas polares. En otras palabras, el aire cálido puede contener más vapor de agua que el frío. Cuando la humedad o concentración de vapor de agua es el máximo permitido, decimos que la atmósfera está saturada y no admite más vapor en ella. A partir de entonces, cualquier cantidad adicional de vapor de agua forma gotitas o cristallitos de hielo, ya que el aire no puede contener más vapor en su seno. Por otra parte, vimos anteriormente que los núcleos de condensación y sublimación eran capaces de favorecer la condensación del vapor de agua y generar minúsculas gotitas y cristallitos de hielo. En las cercanías de la superficie terrestre no es muy común que la atmósfera esté saturada de vapor de agua, aún existiendo gran cantidad de núcleos higroscópicos. ¿Cómo se consigue entonces la saturación de una masa de aire de la atmósfera?. A continuación veremos algunos mecanismos.

En determinadas ocasiones, preferentemente invernales y en zonas marítimas, una masa de aire no saturada se enfría al encontrarse sobre una superficie más fresca. Este enfriamiento le puede llevar a la saturación, pudiéndose generar nieblas, escarchas y rocío, dependiendo de la temperatura ambiental. El enfriamiento continuado de la masa de aire saturada provoca que el vapor sobrante se elimine en forma de gotitas líquidas o sólidas en el aire o en las superficies circundantes. Por lo tanto, un enfriamiento local en capas bajas puede producir nubes.

Otra forma de generar nubes se da normalmente en niveles bajos, cuando una parte de la atmósfera, que no está saturada, alcanza un estado de saturación o cercano a él a causa de algún mecanismo de ascenso.

Cuando una masa o capa de aire se eleva, se encuentra cada vez con presiones más bajas (siempre la presión y la temperatura, en general, decrecen en la troposfera con la altura cuando nos elevamos). En estas condiciones la masa, capa o “burbuja” de aire que asciende se enfría y se expande sin variar significativamente su contenido de vapor de agua. A un determinado nivel de ascenso, el estado de la burbuja es tal que el vapor de agua que contiene alcanza la saturación. En su continuo ascenso el vapor en exceso forma gotitas líquidas o cristallitos de hielo, según la temperatura reinante. En estas condiciones se comienza a formar la nube. El nivel a partir de cual se forma una nube al ascender una burbuja o capa de aire es **el nivel de condensación por ascenso**. La presencia de núcleos de condensación y sublimación facilita el cambio de fase de vapor a líquido y sólido, respectivamente, incluso antes de que la burbuja ascendente llegue a saturarse. Si la nube formada sigue ascendiendo, y pasa a tempe-

raturas inferiores a 0°C , las gotitas líquidas podrían congelarse, pero no lo hacen: quedan subfundidas o sobreenfriadas, pero en estado líquido. Sólo pasarán a la fase de hielo cuando la temperatura sea muy fría o cuando los núcleos de sublimación se hagan efectivos y eficaces, permitiendo el paso de gotitas de agua líquida a cristallitos de hielo.

Normalmente, y dependiendo de dichos núcleos, el paso se efectúa en un rango muy variable de temperaturas negativas, digamos entre -5 y -15°C . Lo que sí es cierto es que a temperaturas del orden de -30 a -40°C , toda la nube está formada por cristallitos de hielo.

De lo que acabamos de comentar podemos concluir que podrán existir nubes formadas, mayoritariamente, por gotitas de agua, incluso sobreenfriadas a temperaturas ambientales negativas, con cristallitos de hielo o nubes con sólo cristallitos de hielo.

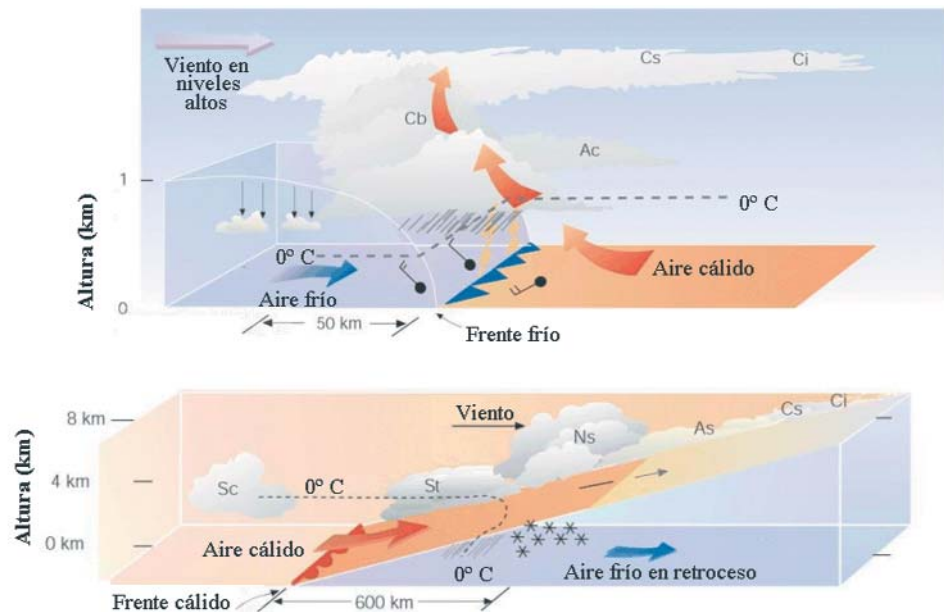
Analicemos a continuación algunos mecanismos atmosféricos capaces de elevar a capas o burbujas de aire en la baja atmósfera. Los mecanismos de ascenso que fuerzan a elevar masas de aire son de diversos tipos. Sólo señalaremos los más importantes y fundamentales, a saber:

Frentes. En la baja atmósfera y en nuestras latitudes es muy común encontrarnos con sistemas de bajas y altas presiones que se desplazan de oeste a este. Si nos centramos en los sistemas de bajas presiones móviles, sabemos que estas perturbaciones llevan asociadas diversos tipos de frentes o zonas de discontinuidad que separan masas de aire de características distintas. Son los frentes. Ver Figura 4.

Figura 4

Los frentes son zonas proclives a generar ascensos de masas de aire generalizadas. Vemos en estos esquemas la nubosidad frontal asociada a un frente frío y cálido. Las abreviaciones de nubes (Ci, Cs, Ac) se explicarán más adelante.

'Meteorology Today',
C. Donald Ahrens,
2003 Thomson-Brooks.



Éstos, en su desplazamiento, fuerzan la elevación de las capas de aire menos densa que se encuentran delante y que desplazan, dando lugar a nubes de diversa índole y nivel: es la nubosidad frontal.

Orografía. La orografía, en sí misma, no genera nubosidad pero representa un obstáculo para el movimiento de las masas de aire. Efectivamente, cuando una barrera natural, obliga al aire a ascender y enfriarse frecuentemente el resultado es la formación de nubosidad de carácter orográfico en la zona donde incide el flujo aéreo, a barlovento de la cadena montañosa. Cuando las condiciones de estabilidad reinantes son muy significativas, se pueden generar oscilaciones al nivel del pico de las montañas y formar ondas y estructuras nubosas a sotavento y sobre la misma cresta, Figura 5. En cualquier caso, las montañas pueden generar nubosidad de carácter orográfico al forzar ascensos en las masas de aire incidentes, tanto a sotavento como a barlovento.

NUBES OROGRÁFICAS

Figura 5.a

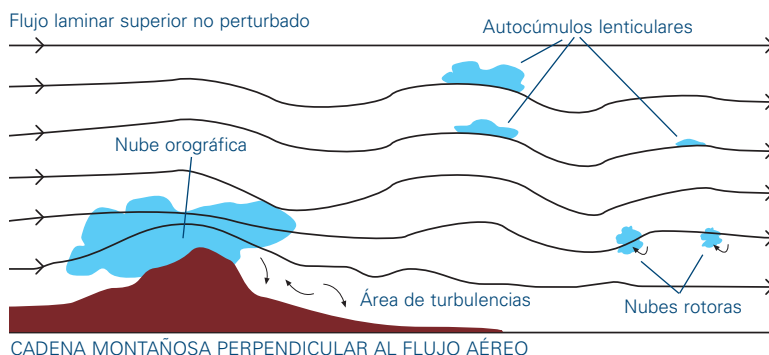
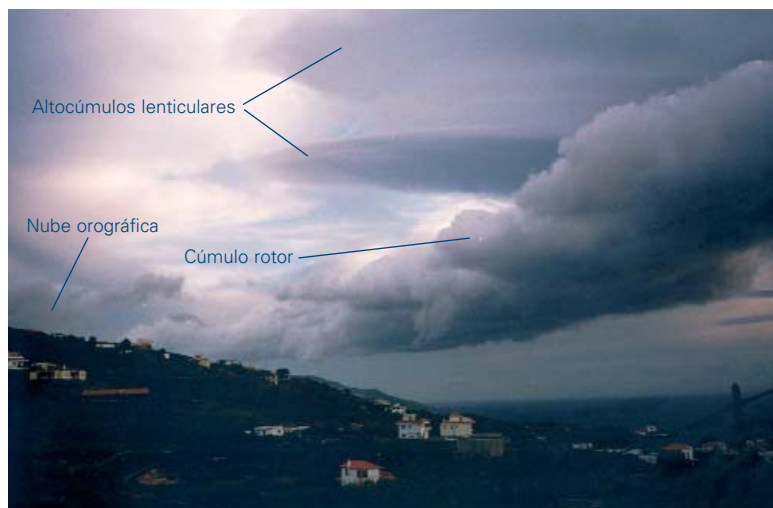


Figura 5.b



5.a) Esquema de las posibles nubes de origen orográfico que se pueden formar.
5.b) Foto obtenida de la exposición Las Nubes de La Palma (www.inm.es).

FOTO: Gero Steffen
ESQUEMA: Fernando Bullón.

Convección. La convección es un fenómeno que se da en los fluidos por el cual se desarrollan corrientes ascendentes y descendentes de los fluidos como consecuencia de la diferencia de densidades entre ellos atribuibles, generalmente, a su distinta temperatura. Circunscribiéndonos al aire, el origen de la convección, y de los movimientos convectivos, se debe al calentamiento solar diferencial que se genera en la superficie de la tierra. Los rayos del sol no calientan al aire, es la superficie de la Tierra la que absorbe la mayor parte de los rayos solares, elevando su temperatura y, a la vez, la del aire en contacto con ella. En estas condiciones, y en los meses cálidos, preferentemente, se producen fuertes desequilibrios térmicos durante el día entre el aire en capas bajas y el circundante de niveles superiores. El resultado, después de un día de fuerte insolación solar, es la generación de “burbujas” de aire ascendentes y, en consecuencia, de nubes a partir de una altura determinada como se muestra esquemáticamente en la Figura 6: son las nubes convectivas.

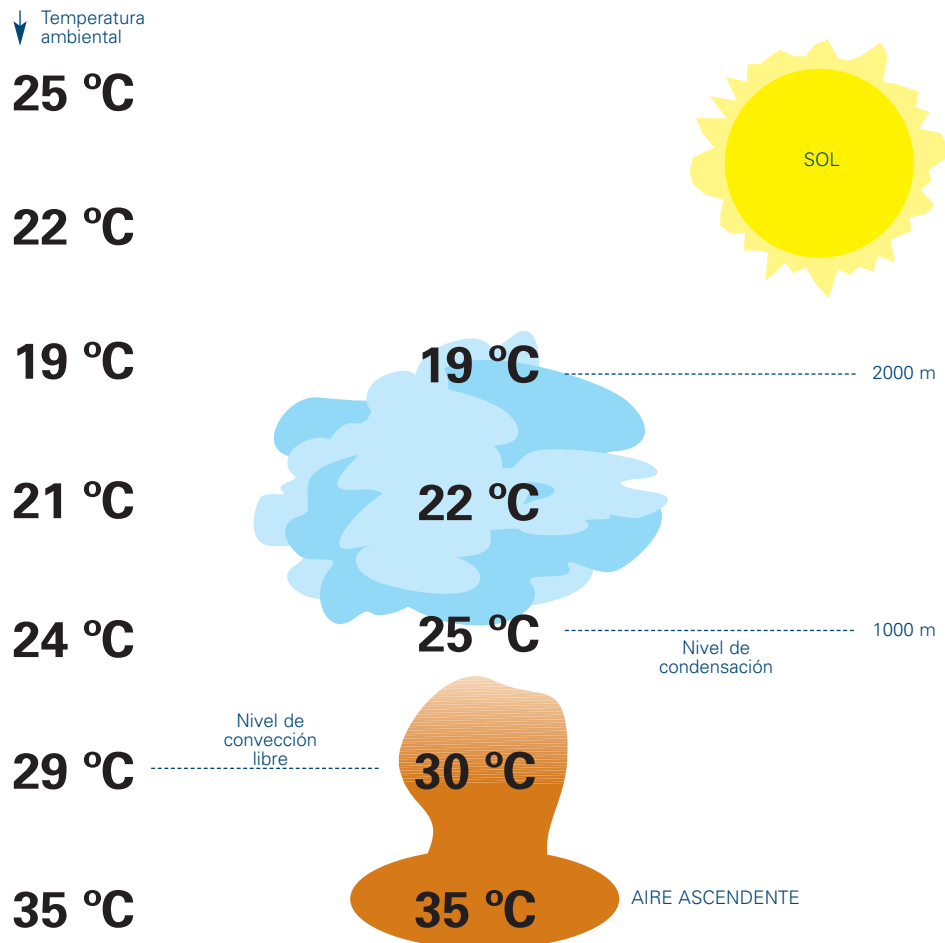
Figura 6.a

6.a) Las nubes convectivas tienen su origen en las fuertes corrientes ascendentes y descendentes. El sol calienta durante el día la superficie de la tierra de forma desigual y ésta, a su vez, eleva la temperatura de la capa de aire que está en contacto con dicha superficie, favoreciendo su ascenso por menor peso que el aire circundante.

Figura 6.b

6.b) En muchas ocasiones las nubes convectivas poseen grandes desarrollos en la vertical, llegando a alcanzar alturas superiores a los 14 km.

FOTO: José Antonio Quirantes.



En la atmósfera ocurre otro fenómeno muy significativo: el aire húmedo, esto es, el aire con vapor de agua es menos pesado que el aire más seco, por lo tanto, las masas de aire ricas en vapor de agua serán más propensas a ascender que las más secas. Si el aire en capas bajas es calentado o se carga de vapor de agua, tenderá a ascender con más facilidad que otro más fresco y seco. El resultado final es que los movimientos convectivos tienden a redistribuir verticalmente no sólo los desequilibrios térmicos, sino los de humedad que existen en el seno del aire.

Las aguas marinas absorben igualmente radiación solar y calientan el aire más, fresco por lo general, que descansa o pasa sobre ellas, elevando su temperatura y suministrando humedad. El resultado final es la posible aparición de focos convectivos y nubes asociadas sobre la superficie marina. Este hecho no se da si las aguas están más frías que el aire que las rodea.

Las laderas de montañas orientadas convenientemente al sol o las zonas terrestres cercanas a la costa se calientan relativamente más que las zonas llanas circundantes y las zonas marinas. El resultado es el desarrollo de ascensos convectivos generados por ese calentamiento diferencial y la posible formación de nubes de desarrollo vertical. A su vez, el aire que asciende es reemplazado horizontalmente por otro más fresco. Este último deja un vacío que, a su vez, es cubierto por otro descendente, generándose en las cercanías de las laderas o costas soleadas las típicas circulaciones de brisas de montaña y marinas, respectivamente. Por la noche se invierte el proceso y la circulación toma el sentido contrario.

Los anteriores conceptos nos llevan a otro más general, la convergencia del viento. Si nos centramos en las capas bajas, vemos de inmediato por qué es importante este factor (de hecho está implícitamente contemplado en los sistemas nubosos frontales, orográficos, etc). Cuando sopla viento y se ve impedido en su movimiento por un obstáculo de ciertas dimensiones, la masa de aire tratará de ascender sobre él. El fluido aéreo irá reduciendo la velocidad a medida que se acerca a la barrera. El resultado es el represamiento y convergencia de dicha masa de aire que, a su vez, forzará a ascender al aire que fluye. La convergencia será compensada por el ascenso vertical.

Si el obstáculo es otra masa de aire que se desplaza en sentido opuesto a la primera, tendremos también una convergencia de masas de aire. El mismo proceso ocurre, básicamente, si el obstáculo es otra masa de aire estática (o incluso que se mueve más lentamente que la incidente) y fría, que se opone al desplazamiento de la primera. La convergencia se produce entre ambas masas de aire por el movimiento diferencial y, por tanto, da lugar a la acumulación de aire: hay más aire que llega que el que sale.

Existen muchos procesos que generan convergencias, unos de carácter orográfico, otros asociados a los frentes, otros debido al estrechamiento del flujo en los embudos naturales, etc. No entramos en más detalles, pero conviene recordar que los flujos que llevan asociadas convergencias en capas bajas, tienden a desarrollar corrientes verticales que, a su vez, favorecen la presencia de nubes.

Pero cualquier ascenso en la baja troposfera no garantiza la formación de nubes. Es necesario que exista la humedad suficiente y partículas higroscópicas capaces de saturar, condensar y hacer crecer a los constituyentes de la nube. En otras palabras, y por poner un ejemplo, ascensos de masas de aire muy seco no tienden a generar nubes.

Eso sí, una vez formadas, las nubes son transportadas de un lugar a otro por los vientos dominantes y rectores, o pueden permanecer estáticas y quietas ligadas al mecanismo que las generó, como son las nubes orográficas y las nieblas, o pueden desarrollarse en la vertical a la vez que se desplazan.

Cuando vemos una nube estaremos viendo el resultado de un conjunto de procesos físicos, una maravilla de la naturaleza en el cielo.

Por qué es importante observar las nubes

Una nube no es sólo un adorno o un estético capricho de la atmósfera, es un fenómeno muy valioso del cual podemos obtener información meteorológica muy útil. Así lo entendieron los pastores, agricultores y marinos de épocas pasadas que realizaban análisis y predicciones locales del tiempo cuando se dedicaban a observar la presencia o ausencia de nubes en un lugar y lo relacionaban con el posible estado del tiempo para el futuro cercano o, incluso, a meses vistas. En algunas poblaciones indígenas de los Andes, de África y Oceanía, se sigue observando las nubes en momentos determinados del año con el objeto de prever el régimen de lluvias a varios meses vistas y, así, planificar las cosechas. En España, la observación del viento, la nubosidad, la temperatura, etc. en determinados días del calendario permite, según los expertos en “las témporas”, realizar predicciones para los meses venideros. Por lo tanto, no es de extrañar que los hombres, cuyas vidas estaban tan ligadas a la temperie, hayan observado desde tiempos remotos a las nubes para obtener alguna información sobre el tiempo venidero.

La forma de observar, clasificar y analizar las nubes comenzó a realizarse de forma rutinaria, y con un método científico, a principios del siglo XIX cuando se las nombró de una forma apropiada. Posteriormente, se introdujeron formas más sofisticadas.

das y homogéneas de clasificarlas, ordenarlas y, además, compartir esa información entre diversos observadores en diferentes lugares de la Tierra.

Así pues podemos decir que una nube, o un conjunto de ellas, no está en un lugar de una forma casual sino que obedece a un cúmulo de circunstancias de las cuales podemos obtener información cuando se observan in situ o cuando se tienen datos de ellas, en un momento dado, de muchas observaciones realizadas simultáneamente. De hecho, y dentro de las observaciones rutinarias y periódicas que se hacen en el mundo a horas determinadas, personas expertas dedican especial atención a la observación de las nubes. Se analizan a tenor de su tipo, su cantidad, su disposición vertical y horizontal, etc., y además se suministra información sobre la precipitación, intensidad, etc., que pueden llevar asociada. Todo ello se maneja en los partes meteorológicos del tiempo.

Vimos que algunas nubes se forman y desarrollan según la presencia o no de inestabilidad en la atmósfera. Otras lo hacen según unos patrones de evolución o ciclo de vida conceptual que obedece a unos patrones, como son las nubes de desarrollo vertical. Otras nubes son importantes para la aviación. Su observación y existencia van asociadas a estabilidad y a vientos perturbados por obstáculos orográficos. La visión de un desplazamiento rápido de nubes es indicativa de la existencia de vientos rectores al nivel de la nube. La llegada de las borrascas y de sus sistemas frontales llevan asociadas la observación paulatina de diferentes tipos de nubes a un lugar, como queda plasmado en la Figura 4.

Los analistas del tiempo ven en las nubes una importantísima fuente de información cuando se aplican los conocimientos y métodos científicos en su observación y análisis.

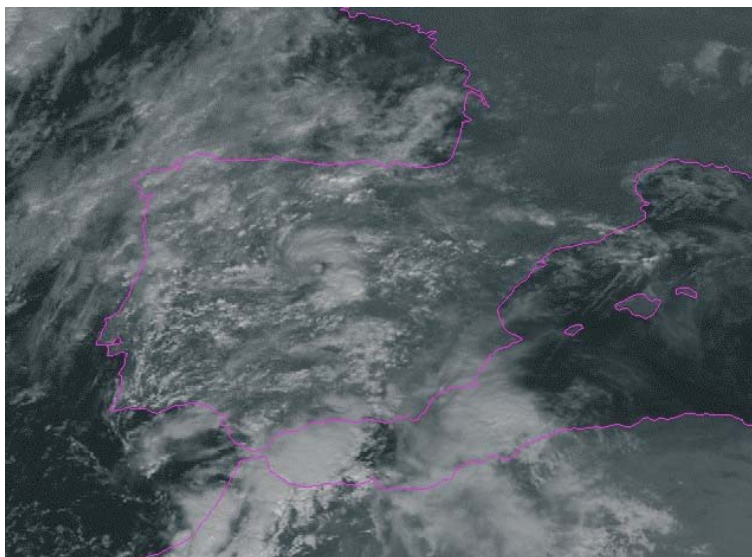


Figura 7

Imagen de satélite del canal visible del 12 de febrero de 2002, en la que se aprecia una situación meteorológica de gran estabilidad, con formación de nieblas sobre el mar.

FUENTE: INM.

La información adicional, que se dispone a partir de las imágenes de los satélites, (Figura 7), y de los radares meteorológicos, complementan de forma efectiva las observaciones de superficie sobre nubes.

Queda muy lejos de esta unidad didáctica poder relacionar las nubes con la presencia de ciertos factores atmosféricos de especial relevancia en el trabajo rutinario del predictor de meteorología. Hay que enfatizar que la utilización combinada y complementaria de observaciones simultáneas en diferentes lugares de las nubes, junto con lo observado desde los satélites meteorológicos, permite obtener una imagen muy completa de lo qué acontece y por qué acontece en la atmósfera.



2. CLASIFICACIÓN BÁSICA DE LAS NUBES

Para analizar, estudiar y comparar nubes es preciso realizar una clasificación de los tipos que se dan en la naturaleza. Esta tarea no es tan evidente como parece. No fue hasta principios del siglo XIX cuando se dispuso de una clasificación ampliamente aceptada por todo el mundo científico, que es la que empleamos en esta unidad y se detalla en el apartado siguiente. Antes vamos a revisar brevemente las clasificaciones nubosas más comunes, muy conceptuales y clarificadoras.

Todo tipo de clasificación se basa en observar alguna característica de la estructura nubosa que determine el tipo de nube: forma, altura, constitución, origen, etc. Cada característica tiene sus ventajas y desventajas. Aunque aceptemos al final una determinada, podremos utilizar las otras clasificaciones para complementarla. Veamos algunas de ellas.

a. Por su origen

Podemos clasificar a las nubes según su origen. Ya comentamos con anterioridad que existen nubes que se forman debido a la presencia de los frentes, son las **nubes frontales**. Los frentes cálidos, ocluidos y fríos son zonas donde se encuentran nubes. De la misma forma podríamos hablar de nubes situadas en la parte delantera y trasera del frente. Tendremos las nubes pos y prefrontales de frente frío, por poner un ejemplo.

Las **nubes orográficas** son aquellas que están ligadas en su génesis a la orografía o accidentes del terreno.

Las **nubes convectivas** serán aquellas que se forman por la convección o burbujeo atmosférico en los días cálidos e inestables.

Estos tres grupos son los más importantes. A veces, el origen de las nubes está conformado por dos o más factores que se dan a la vez: la convección puede darse como consecuencia de la orografía con lo cual decimos que hay nubes convectivas originadas orográficamente.

b. Por su naturaleza

Corresponden a este apartado, las **nubes naturales y artificiales**. Las primeras se originan de forma natural. Las segundas se forman por la acción directa o indirecta de los seres humanos (penachos de humo, nubes asociadas a la contaminación, etc.). Dentro de la primera categoría tendremos las que están mayoritariamente forma-

das por cristalitas de hielo y agua. Otras lo están por otro tipo de partículas en suspensión como arena del desierto, polvo volcánico, etc. Como dijimos al comienzo de esta unidad, éstas últimas no serán consideradas aquí.

Un caso especial lo forman las estelas de condensación de barcos y, sobre todo, de aviones comerciales que vuelan en la alta troposfera. Estas nubes son de tipo mixto, pues intervienen en su formación, y a la vez, el ser humano y los procesos naturales. De forma excepcional, consideraremos las estelas de avión como nubes naturales propiamente dichas.

Atendiendo a la naturaleza de su desplazamiento tendremos las **nubes estáticas o cuasi estacionarias** y nubes **móviles**. Muchas nubes orográficas están ligadas al terreno y permanecen fijas al obstáculo que las genera. La gran mayoría de las nubes son de tipo móvil.

c. Por el nivel atmosférico que ocupan

Si consideramos que la troposfera está dividida en tres niveles o capas a distinta altura tenemos una clasificación muy útil atendiendo a la altura que, mayoritariamente, ocupa una nube. Así, las nubes próximas al suelo y que llegan hasta los 2-3 km de altura son llamadas **nubes bajas**. Las que ocupan un nivel intermedio entre los 3 y 7 km, serán las **nubes medias**. Las **nubes altas** son aquellas que ocupan el nivel superior de la troposfera y pueden llegar hasta los 14 km de altura o más. Las alturas de los niveles anteriores hay que considerarlas con cierta “elasticidad”, sus valores son orientativos y dependen de la latitud donde nos encontremos.

Siguiendo con nuestra línea clasificatoria por niveles tenemos un caso especial, las **nubes de desarrollo vertical** formadas por sistemas nubosos que se extienden desde capas bajas a muy altas.

La clasificación anterior es muy útil y muy usada, por ejemplo, con fines aeronáuticos y marítimos. Nosotros deberemos tenerla en cuenta en nuestras observaciones diarias.

Es sabido que la troposfera a medida que se asciende es más fría, y por poner un ejemplo orientativo, se puede pasar en nuestras latitudes de la temperatura de 15 °C en la superficie a temperaturas de -35° C o incluso inferiores a más a una decena de kilómetros de altura. Este hecho condiciona la fase del agua que conforma la nube. Las que ocupan los niveles bajos están conformadas por gotitas líquidas, las



Figura 8

Luke Howard, F.R.S.
(1772-1864).

Pintura de Juan Opie.

de los pisos muy altos están formadas por cristallitos de hielo, mientras que las nubes situadas en alturas medias albergan en su seno gotitas líquidas sobreenfriadas y cristallitos de hielo. Las nubes de desarrollo vertical tienen las tres fases del agua: vapor, líquida y sólida. Esto nos lleva a clasificar las nubes según la fase predominante. Existe una relación directa entre esta clasificación y la anterior por niveles, pues la altura donde estén situadas condiciona su estado.

Aunque mayoritariamente las nubes que observamos en latitudes medias se encuentran en la troposfera, existen otras nubes que se ubican en niveles superiores y estratosféricos (nubes nacaradas y noctilucenles). Estas formaciones nubosas se salen fuera de los propósitos de esta unidad didáctica.

d. Por sus formas

Aunque, como se ha dicho, las nubes habían sido observadas a lo largo de muchos siglos, no fue hasta principios del siglo XIX cuando se dieron los primeros pasos para nombrarlas. En 1803 el científico inglés Luke Howard (1772-1864) presentó una clasificación basada en sus formas más habituales. Su publicación apareció en “Tilloch’s Philosophical Magazine” con el nombre de “On the modifications of clouds”.

Howard, Figura 8, estudió latín en la escuela, donde comenzó a destacar por sus dotes de observación de la naturaleza. El latín se seguía utilizando como lengua erudita y científica en aquella época, de ahí que los nombres que Howard dio a las nubes fueran latinos.

Nunca se consideró un científico. Realmente, se dedicó a la producción de productos químicos y farmacéuticos. Pero sus trabajos de meteorología y climatología (realizó el primer libro sobre climatología urbana de Londres) le valieron para conseguir el reconocimiento nacional e internacional en el mundo científico, obteniendo varios premios. En la Figura 9 podemos ver una lámina de sus dibujos de nubes.

Luke Howard llamó a **las nubes abultadas**, que aparecen como amontonadas e hinchadas, **cumulus**, que significa montón. A las nubes que tienen forma de **cumulus** se

Figura 9



Dibujos de la nubes observadas por Howard, desde los cirrus hasta nubes estratiformes y convectivas.

las denominó también como cumuliforme: con forma de montón. A las **nubes en capas** se las denominó stratus que significa capa o manto. Las nubes en forma de **mechón de pelo** las denominó **cirrus**. A las nubes **cargadas de lluvia**, las denominó **nimbus**.

La clasificación básica anterior permitía agrupar a las nubes por sus formas más habituales de presentarse en la naturaleza, pero tenía otra característica complementaria que hizo que esta clasificación fuera adoptada internacionalmente: los nombres se podían agrupar para nombrar a nubes algo más complejas. De esta forma aparecieron los géneros básicos de nubes que hoy utilizamos. Así, y por poner un ejemplo, los estratocúmulos son nubes formadas en capas pero, además, con aspecto globular.

La Figura 10 esquematiza los tipos o géneros de nubes más importantes usados en la actualidad que se utilizan partiendo de la calificación de Howard. Además, nos da una idea del nivel que ocupan en la troposfera.

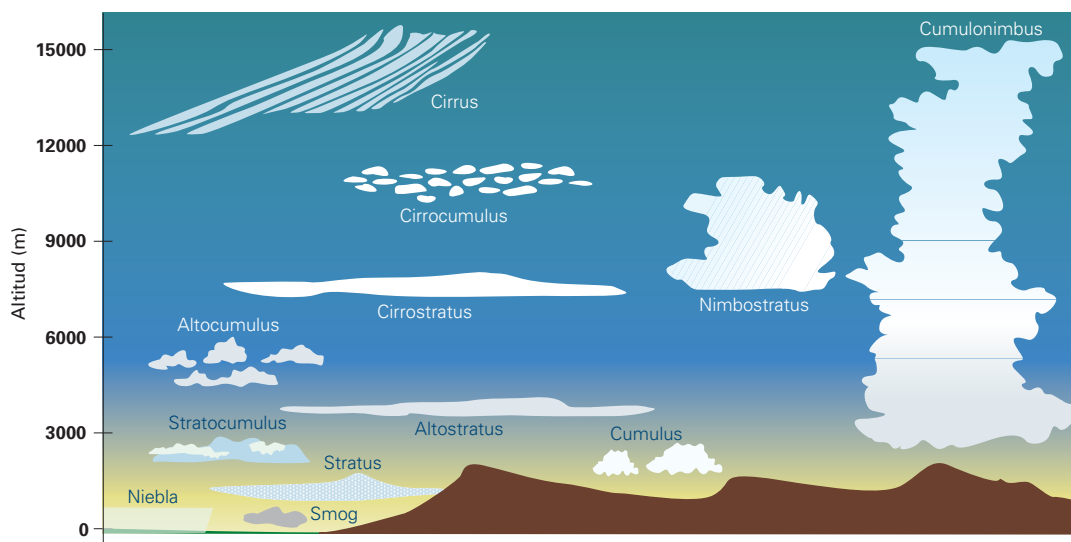


Figura 10

Vista de los diferentes géneros de nubes y los niveles aproximados que ocupan en la troposfera. Las nieblas y el "smog (niebla y humos)" no se consideran nubes.

Un hecho destacable es que las nubes de tipo estratiforme están ligadas a condiciones de estabilidad y las de tipo cumuliforme suelen estar asociadas a condiciones de cierto grado de inestabilidad atmosférica, es decir, a movimientos ascendentes y descendentes de aire. Indirectamente, Howard nombró a las nubes aludiendo a ciertos procesos físicos que condicionan su forma.

Partiendo de esta clasificación básica se fueron añadiendo otros tipos de nubes accesorias y suplementarias, como las nubes con mamas o mammatus, nubes en forma de lente o lenticularis, etc.

La clasificación basada en su forma es la más usada y ha sido adoptada internacionalmente. Le dedicamos, íntegramente, el apartado siguiente, donde entramos en mayores detalles al describir los distintos géneros.

Tabla de las Clasificaciones nubosas

Por su origen	Niveles atmosféricos que ocupan
Frontales	Altas
Orográficas	Medias
Convectivas	Bajas
	De desarrollo vertical
Movilidad	Forma
Estáticas o cuasi estacionarias	Cirrus
Móviles	Stratus
	Cumulus
	Nimbus
Naturaleza	
Naturales	
Artificiales	
Mixtas	



3. DESCRIPCIÓN DE LOS GÉNEROS DE NUBES: NUBES ESPECIALES

Las nubes están en un proceso continuo de evolución y se presentan, por lo tanto, en una variedad ilimitada de formas. Sin embargo, es posible definir un número determinado de estructuras características observadas frecuentemente en todo el mundo, en las que pueden resultar agrupadas en toda su amplitud. Se ha establecido una clasificación de las formas características de las nubes, en términos de “género”, “especies” y “variedades”.

El Atlas Internacional de Nubes de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) distingue diez géneros de nubes. Estos diez grupos principales se excluyen mutuamente: una determinada nube sólo puede pertenecer a uno de los géneros enunciados. Pero dentro de estos géneros se admiten nuevas subdivisiones en especies y variedades de nubes. A su vez, existen las denominadas nubes especiales no incluidas en las especificaciones antes consideradas.

Por tanto, la consideración de la mayoría de las formas típicas de nubes conduce al reconocimiento de diez **GÉNEROS**. Las definiciones de los géneros, que se dan en las 10 fichas siguientes, no cubren todos los aspectos posibles, sino que están limitadas a una descripción de los tipos principales y de las características esenciales necesarias para distinguir un género dado, de géneros que tienen apariencia similar.

A su vez, la mayoría de los géneros están subdivididos en **ESPECIES**. Esta subdivisión está basada en la forma de las nubes o en su estructura interna. Una nube observada en el cielo, que pertenece a un cierto género, puede llevar solamente el nombre de una especie.

Simultáneamente, las nubes pueden exhibir características especiales que determinan su **VARIEDAD**. Estas características están relacionadas con las distintas disposiciones de los elementos macroscópicos de las nubes, y con su mayor o menor grado de transparencia. Una variedad dada puede ser común a varios géneros. Además, la misma nube puede poseer más de una variedad.

La indicación de géneros, especies y variedades no siempre resulta suficiente para describir completamente una nube. Ésta puede mostrar **RASGOS SUPLEMENTARIOS** agregados a ella, o puede estar acompañada por **NUBES ACCESORIAS**, a veces emergiendo parcialmente de su cuerpo principal. Una misma nube puede presentar uno o más rasgos suplementarios o nubes accesorias. La ficha complementaria numerada como 11 será un resumen de lo comentado en este apartado.

Es muy importante recordar que aunque vamos a hablar de géneros, especies y variedades de nubes en esta unidad, **sólo nos centraremos en la descripción de las nubes según su género** y será ésta la que utilizaremos a la hora de describir las nubes fotografiadas y observadas para el concurso fotográfico u otra actividad que se proponga. Se deja en letra más pequeña lo relativo a especies y variedades. La lectura de estos apartados, tablas o figuras con letra más pequeña es optativa por parte del lector que esté interesado en ampliar sus conocimientos en aspectos relativos a las nubes.

A continuación presentamos en unas tablas resumen con los diferentes géneros, especies y variedades de nubes, así como las nubes “especiales”, y unas breves descripciones de su origen latino y significado. A lo largo del texto emplearemos las abreviaturas de los géneros de nubes.

GÉNEROS DE NUBES, ABREVIATURAS Y SU SIGNIFICADO LATINO

Cirrus, Ci	Rizo de cabello o mechón de pelo o penacho de ave
Cirrocumulus, Cc	De "cirrus" y "cumulus", Cirros y acumulación, montón, pila. Cirros acumulados
Cirrostratus, Cs	De "cirrus" y "estratus". Cirros y extender, difundir, aplanar, cubrir con una capa
Alto cumulus, Ac	De lugar elevado, alto, altura, aire superior, y "cumulus". Cúmulos altos
Altostratus, As	Del "altus", alto y "stratus", extendido. Estratos altos
Nimbostratus, Ns	De "nimbus", que significa nubes lluviosas, y "stratus", extendido
Stratus, St	Extenderse, expandir, aplastar, cubrirse con una capa
Stratocumulus, Sc	De "stratus" y "cumulus". Cúmulo estratificado
Cúmulus, Cu	Acumulado, montón, pila
Cumulonimbus, Cb	De "cumulus" y "nimbus". Acumulado y nube de lluvia

ESPECIES

Fibratus	Fibroso, que tiene fibras, filamentos
Uncinus	En forma de gancho
Spissatus	Espeso, condensado
Castellanus	Castillo, almena, o muralla de una fortaleza
Floccus	Vellón de lana, borra o pelusa de la tela de lana
Stratiformis	De "stratus" y "forma", que entraña apariencia
Nebulosus	Lleno de neblina, cubierto por niebla, nebuloso
Lenticularis	Deriva de "lentícula", que significa lenteja
Fractus	Destrozar, quebrar, fracturar, hacer pedazos
Humilis	Próximo al suelo, bajo, de tamaño pequeño
Mediocris	Mediano, que se mantiene en el medio
Congestus	Apilar, amontonar, acumular
Calvus	Calvo, despojado o desnudo
Capillatus	Peludo, derivado de "capillus", que significa pelo

VARIEDADES

Intortus	Retorcer, doblar, entrelazar
Vertebratus	Provisto de vértebras, en forma de vértebras
Undulatus	Con ondas, ondulado, de "undula", que significa onda, ola
Radiatus	Expresa la idea de irradiar, tener rayos, ser radiante
Lacunosus	Agujeros, derivado de "lacuna", que significa agujero, cavidad, intersticio, laguna
Duplicatus	Doblar, repetir, duplicar
Translúcidus	Transparente, diáfano
Perlúcidus	Dejar ver a través, que deja pasar la luz a través de él
Opacus	Sombreado, espeso, opaco

RASGOS SUPLEMENTARIOS

Incus	Región superior de un Cb, extendida en forma de yunque, de aspecto liso, fibroso, estriado
Mamma	Protuberancias pendientes de la superficie inferior de una nube que toman el aspecto de mamas
Praecipitatio	Precipitaciones lluvia, llovizna, nieve, granizo, que caen de la nube y alcanzan la superficie de la tierra
Virga	Estelas de precipitación que parten de la zona inferior de la nube y NO llegan a la superficie
Arcus	Rodillo horizontal, situado en la parte inferior de una nube en forma de un arco oscuro y amenazante
Tuba	Columna nubosa, o cono nuboso invertido en forma de embudo. Esta asociado a los tornados

RASGOS SUPLEMENTARIOS

Pileus	Nube accesoria en forma de bonete o capuchón, situada sobre la cima de una nube cumuliforme
Velum	Velo nuboso, de gran extensión horizontal unido o agregado a la parte superior de una o varias nubes
Pannus	Jirones desgarrados, que constituyen una capa continua situada debajo de otra nube o soldados con ella

En las siguientes páginas presentamos un conjunto de fichas resúmenes de los géneros de nubes, diez, y una más sobre nubes “Especiales”.

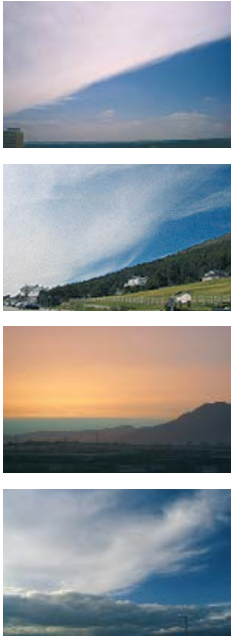
Las diez primeras fichas tienen un formato similar del género de nube analizado. Cada una empieza con el nombre latino, abreviatura o simbología, nombre castellano y nivel que ocupa. Seguidamente, y para cada ficha, presentamos una imagen tipo y cuatro pequeñas complementarias. En todas ellas se incluyen, brevemente, su descripción, formación, constitución, tipo de tiempo asociado, cómo fotografiarlas y algunos consejos para no confundirlas con otro género de nubes. En letra más pequeña aparecen sus especies y variedades, de interés para los lectores que quieran profundizar algo más. Iremos analizando los géneros de nubes desde las más altas a las más bajas, junto con las nubes de desarrollo vertical.

La ficha 11 es un resumen de las nubes que hemos llamado Especiales.

Todas las fotos incluidas en dichas fichas son propiedad del autor, José Antonio Quirantes Calvo, no está permitido su uso ni reproducción por ningún método, salvo para las tareas propias divulgativas, sin permiso expreso del autor.



FICHA 1: Cirrus (Ci). Cirros. Nube Alta	
DESCRIPCIÓN	Nubes separadas en forma de filamentos blancos y delicados, o de bancos o bandas estrechas, blancas o casi blancas. Estas nubes tienen una apariencia fibrosa, semejante a los cabellos de una persona, o de un brillo sedoso o de ambas características a la vez.
CONSTITUCIÓN	Por diminutos cristales de hielo, ya que se forman a gran altura (8-12Km.). A estos niveles la temperatura va de -40° a -60°C, por lo que una masa de aire, con un elevado contenido de vapor de agua y que se enfríe hasta la saturación, produce cristales de hielo en vez de gotitas de agua.
FORMACIÓN	Estos cristales impulsados por los fuertes vientos, que reinan en los niveles altos, forman los jirones característicos.
ESPECIES	Cirrus Fibratus, Cirrus Uncinus, Cirrus Spissatus y Cirrus Floccus.
VARIEDADES	Cirrus Intortus, Cirrus Radiatus, Cirrus Vertebratus y Cirrus Duplicatus.
TIPO DE TIEMPO	Cuando se presentan aisladas son síntoma de buen tiempo, pero si avanzan organizadas y aumentando progresivamente hacia el horizonte (como en la foto) indican un inminente cambio de tiempo, algún frente o borrasca. Transversales al viento indican una corriente chorro en altura.
NO CONFUNDIR	Con los Cirrostratus. Éstos últimos siempre producen fenómeno de halo.
FOTOGRAFÍA	Ofrecen su mejor luz con un ángulo de 90° con el sol. Utilizar filtro polarizador para resaltar el blanco de los Cirrus y oscurecer el azul de cielo. Incluir referencias terrestres. Al atardecer, los rayos del sol bajo el horizonte hacen que, por refracción, los Cirrus se tornen primero amarillos, luego naranjas, después rojos, rosas, para terminar siendo grises. Orden inverso al amanecer.



FICHA 2: Cirrostratus (Cs). Cirrostratos. Nube Alta	
DESCRIPCIÓN	Velo nuboso, transparente y blanquecino, de aspecto fibroso (como cabellos) o completamente liso, que cubre total o parcialmente el cielo y que produce generalmente el fenómeno de halo.
CONSTITUCIÓN	Están constituidos por finísimos cristales de hielo, más incluso que los de los Cirrus.
FORMACIÓN	Se forman cuando una masa de aire húmedo a gran escala, se eleva a grandes alturas hasta sublimarse. Estas nubes ocupan vastas extensiones del cielo, a una altitud de 7-10 Km. Generalmente producen halos y, en menor medida, parhelios e iridiscencias. Los Cirrostratus de la especie Nebulosus son los más proclives a ello, debido a la peculiar forma de sus cristales de hielo y que hace difícil, a veces y debido a su extremada fineza, distinguir si el cielo está cubierto o despejado, si no fuera precisamente por el hecho de que presentan estos fenómenos ópticos.
ESPECIES	Cirrostratus Fibratus, Cirrostratus Nebulosus.
VARIEDADES	Cirrostratus Duplicatus, Cirrostratus Undulatus.
TIPO DE TIEMPO	Los Cirrostratus, suelen ser la vanguardia de un Frente Cálido, aumentando su espesor según éste avanza, por lo que su presencia puede asociarse con un significativo cambio de tiempo. Otras veces forman restos del yunque de la parte superior de un Cumulonimbus (Cb).
NO CONFUNDIR	No confundirlos con los Altostratus (As), más densos y bajos, y también de color más grisáceo, éstos, a diferencia de los Cirrostratus, no producen fenómenos de halo.
FOTOGRAFÍA	Fotografiar el halo, la característica más sobresaliente de éstas nubes. Para sacarlo “colorido” hay que subexponer la toma de 1 a 3 diafragmas, y a ser posible usar gran angular. Tapar el Sol .



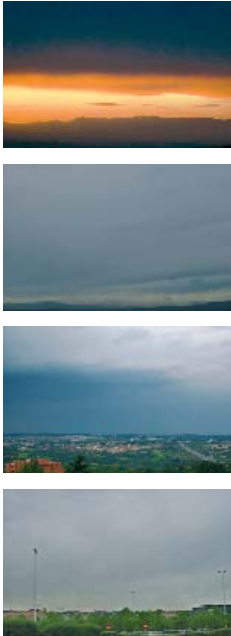
FICHA 3: Cirrocumulus (Cc). Cirrocúmulos. Nube Alta	
DESCRIPCIÓN	Banco, capa delgada o sábana de nubes blancas, sin sombras, compuestas por elementos muy pequeños en forma de granos, rizos, grumos, ondulaciones, unidos o separados y distribuidos con mayor o menor regularidad; la mayoría de los elementos tiene una anchura aparente < 1°.
CONSTITUCIÓN	Constituidos por cristales de hielo, tienen un proceso de formación similar a los Ci y Cs.
FORMACIÓN	A diferencia de los Ci y Cs, los Cirrocumulus delatan la presencia de inestabilidad en el nivel al que se encuentran, y que da a estas nubes su aspecto cumuliforme. Los Cirrocúmulos son una de las nubes más bellas y espectaculares, y también las más difíciles de presenciar, debido a su baja frecuencia en los cielos. Se encuentran al alturas de 7-12Km.
ESPECIES	Cc Stratiformis, Cc Lenticulares, Cc Castellanus y Cc Floccus.
VARIETADES	Cirrocumulus Undulatus y Cirrocumulus Lacunosus.
TIPO DE TIEMPO	Salvo si aumentan considerablemente con el paso del tiempo no suelen indicar cambio de tiempo. Otras veces aparecen asociadas a corrientes en chorro a gran altura (Jet Stream).
NO CONFUNDIR	No confundirlos con los Altocumulus, de apariencia similar pero más bajos, grises y con elementos constitutivos de mayor tamaño.
FOTOGRAFÍA	Son problemáticas de fotografiar, sobre todo si se quiere incluir un elemento terrestre de referencia, ya que al estar constituidas por pequeñísimos “granos”, que no son distinguibles visualmente, excepto en la vertical del observador, su fotografía debe hacerse en posición muy cenital. Un filtro Polarizador mejorará considerablemente el contraste con el cielo.



FICHA 4: Altocumulus (Ac). Altocúmulos. Nube Media	
DESCRIPCIÓN	Banco, capa delgada o capa de nubes blancas o grises, o a la vez blancas y grises, que tienen sombras compuestas por losetas, masas redondeadas, rodillos, etc., las cuales son a veces parcialmente fibrosas o difusas y que pueden estar unidas o no; la mayoría de los elementos pequeños distribuidos con regularidad tienen una anchura aparente comprendida entre 1° y 5°.
CONSTITUCIÓN	Normalmente gotitas de agua. Cuando la temperatura es muy baja, se forman cristales de hielo.
FORMACIÓN	Cuando una gran masa de aire, empujada por un sistema frontal, asciende a los niveles medios, (4-6Km.) condensándose posteriormente. A su vez, estas nubes se forman por masas de aire inestable, que las da su aspecto cumuliforme. Suelen formar parte de los frentes fríos y de los frentes cálidos. En este último caso van mezclados en una única capa con Altostratus, ocupando extensiones de miles de kilómetros cuadrados.
ESPECIES	Ac stratiformis, Ac lenticularis, Ac castellanus y Ac floccus.
VARIEDADES	Ac translucidus, Ac perlucidus, Ac opacus, Ac duplicatus, Ac undulatus, Ac radiatus, Ac lacunosus.
TIPO DE TIEMPO	Aislados, buen tiempo. En aumento o mezclados con Altostratus indican la proximidad de un frente o de una borrasca. En estos casos pueden desprender precipitación.
NO CONFUNDIR	Con Cirrocumulus, los Ac son de mayor tamaño. Ni con Stratocumulus, los Ac son más pequeños.
FOTOGRAFÍA	A contraluz, como en la foto principal, muestran un aspecto formidable. A primeras horas de la mañana o a últimas horas de la tarde se aprecian mejor sus detalles. Con un objetivo “Gran Angular” se captan en toda su grandeza. A la puesta del Sol, se ponen rojos fugazmente.



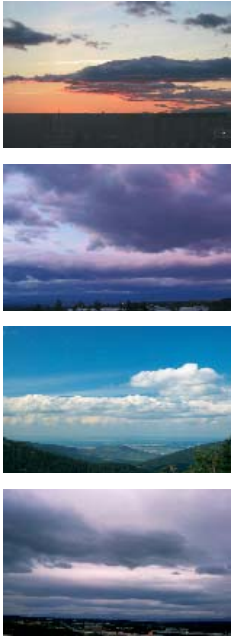
FICHA 5: Altostratus (As). Altostratos. Nube Media	
DESCRIPCIÓN	Lámina o capa de nubes, grisácea o azulada, de aspecto estriado, fibroso o uniforme, que cubre por entero o parcialmente el cielo, como una gran sábana. Tiene partes suficientemente delgadas que permiten distinguir vagamente el Sol, como a través de un vidrio deslustrado. Los Altostratus, a diferencia de los Cirrostratus, no producen halos.
CONSTITUCIÓN	En el caso más completo, tiene una zona superior compuesta por cristales de hielo. Una parte media mezcla de cristales de hielo, cristales o copos de nieve y gotitas de agua sobreenfriada. Y una parte inferior, compuesta totalmente por gotitas de agua sobreenfriadas.
FORMACIÓN	El Altostratus suele ser el grueso de un frente cálido, que en su parte más activa va mezclado con Nimbostratus. Es la nube que ocupa las mayores extensiones de terreno. También forma la parte media y baja del yunque de un Cumulonimbus. Se suele encontrar entre los 3 y 7 Km. de altura, y su espesor puede variar entre 1 y 4 Km. Pueden dejar ver el Sol (translucidus) o no (opacus).
ESPECIES	No tiene, debido a la uniformidad que caracteriza su apariencia y estructura general.
VARIEDADES	As translucidus, As opacus, As duplicatus, As undulatus y As radiatus.
TIPO DE TIEMPO	Asociados a frentes cálidos suelen dar lluvias o nevadas débiles continuas.
NO CONFUNDIR	Con los Cirrostratus. Los As no forman halo. Ni con los Nimbostratus. Los As son menos espesos, menos oscuros y la precipitación, si la hay, es menos importante.
FOTOGRAFÍA	Fotografiar con Gran Angular. Tratar de sacar horizonte terrestre. Enfocar zonas donde haya alguna variación de la textura de la nube, esto ayuda a dar una mayor sensación de profundidad



FICHA 6: Nimbostratus (Ns). Nimbostratos. Nube media	
DESCRIPCIÓN	Capa de nubes gris, a menudo oscura, con un aspecto velado por la precipitación de lluvia o nieve que cae más o menos continuamente desde ella. El espesor de la nube es lo suficientemente grande como para ocultar el Sol completamente.
CONSTITUCIÓN	Gotitas de agua, gotas de lluvia sobreenfriadas, gotas de lluvia, cristales y copos de nieve.
FORMACIÓN	El Nimbostratus se suele formar al ascender una enorme y extensa capa de aire relativamente cálido y húmedo por encima de una masa fría, en progresiva y suave pendiente. Es, junto con los As, el núcleo principal de un frente cálido. Es una nube muy difícil de distinguir, pues se presenta como un velo gris oscuro uniforme, sin ninguna discontinuidad y que ocupa todo el cielo, mezclado con la precipitación. Así mismo, ocupa una gran dimensión vertical, en los sitios de mayor espesor puede abarcar entre los 1- 5 Km., ocupando, en parte, el piso bajo de las nubes.
ESPECIES	No tiene.
VARIEDADES	No tiene.
TIPO DE TIEMPO	Suelen dar lluvias o nevadas continuas. Asociados fundamentalmente a los Frentes Cálidos.
NO CONFUNDIR	Con los Altostratus. Los Nimbostratus no dejan en ningún caso ver el Sol y producen, casi siempre, precipitaciones moderadas. Ni con los Stratocumulus, éstos son menos uniformes.
FOTOGRAFÍA	Son muy difíciles de fotografiar. La falta de luz, unida a la precipitación que cae de su interior, hace que el cielo parezca un enorme lienzo gris oscuro sin ningún tipo de detalle. Tratar de fotografiarlos cuando bajo ellos discurran nubes bajas desgarradas, es decir, Stratus fractus.



FICHA 7: Stratus (St). Estratos. Nube Baja	
DESCRIPCIÓN	Capa de nubes generalmente gris, con base uniforme, de la que pueden caer llovizna, prismas de hielo o cina-rra. Cuando el Sol es visible a través de la capa, su contorno se distingue claramente. Los St se presentan a veces en forma de jirones deshilachados (fractus), debajo de otras nubes.
CONSTITUCIÓN	Está compuesto por gotitas de agua pequeñas. A muy bajas temperaturas puede consistir de partículas de hielo pequeñas. Suelen encontrarse entre los 0 y 300 m. del suelo.
FORMACIÓN	Por el efecto combinado del enfriamiento en las capas inferiores de la atmósfera y de la turbulencia debida al vien-to. Se forman sobre la tierra, por irradiación nocturna o por advección de aire relativamente cálido sobre suelo más frío. Sobre el mar, el enfriamiento suele ser por advección. Producen niebla si están al nivel de la superficie. Los St fractus se forman como nubes accesorias (pannus) por debajo de los As, Ns, Cb y Cu precipitantes.
ESPECIES	Stratus nebulosus, Stratus fractus.
VARIEDADES	Stratus opacus, Stratus translucidus y Stratus undulatus.
TIPO DE TIEMPO	Cuando producen nieblas suelen estar asociados a tiempo anticiclónico. Cuando aparecen debajo de As o Ns, a un Frente Cálido. Desgarrados debajo de los Cb, en plena tormenta o aguacero.
NO CONFUNDIR	Con los As o con los Ns, éstos tienen una apariencia "húmeda", mientras que los St tienen una apariencia "seca". La precipitación en los St, es muy débil y en los Ns es moderada.
FOTOGRAFÍA	Si se fotografían produciendo niebla, buscar objetos de referencia como árboles, edificios o elevaciones del terreno. Interesantes debajo de los Ns, desgarrados por la lluvia o la nevada.



FICHA 8: Stratocumulus (Sc). Estratocúmulos. Nube Baja	
DESCRIPCIÓN	Banco, sábana o capa de nubes grises o blanquecinas, que tienen casi siempre partes oscuras; compuestas por losetas, masas redondeadas, rodillos, etc., no fibrosas, que están unidas o no.
CONSTITUCIÓN	Gotitas de agua, acompañadas a veces por gotas de lluvia o nieve granulada y más raramente, por cristales de nieve y copos de nieve.
FORMACIÓN	Es el tipo de nubes más común. Pueden formarse en el seno de una masa de aire húmedo en capas bajas, ocupando una gran extensión, o también por una inversión de temperatura que obliga a los Cu, en desarrollo vertical, a frenar su ascenso y extenderse en forma de Sc. En el primer caso suelen formarse entre 500 m y 2 Km de altura, y en el segundo entre 2-3Km.
ESPECIES	Stratocumulus stratiformis, Sc lenticularis y Sc castellanus.
VARIEDADES	Sc translucidus, Sc perlucidus, Sc opacus, Sc duplicatus, Sc undulatus, Sc radiatus y lacunosus.
TIPO DE TIEMPO	Se asocian al buen tiempo cuando en verano aparecen a media tarde como consecuencia de la evolución de los Cu de buen tiempo. También suelen aparecer asociados a los Frentes Cálidos o Fríos mezclados con una gran capa de As/Ns. No son buenos indicadores de cambio de tiempo.
NO CONFUNDIR	Con los Ac. Los Sc son más bajos, más espesos y de elementos mayores. Tampoco confundir con los St, los Sc muestran evidencia de elementos. Con los Cu, los Sc tienen cimas planas.
FOTOGRAFÍA	Cuando se trata de un manto extenso es imprescindible utilizar grandes angulares para apreciar claramente las diferencias entre elementos.



FICHA 9: Cumulus (Cu). Cúmulos. Nube de Desarrollo Vertical	
DESCRIPCIÓN	Nubes asiladas, en general densas y con contornos bien definidos, que se desarrollan verticalmente en forma de protuberancias, cúpulas o torres, y cuyas partes superiores convexas se parecen con frecuencia a una coliflor. Las partes de estas nubes iluminadas por el Sol son blancas brillantes; su base es oscura y horizontal. A veces, aparecen desgarrados por el viento.
CONSTITUCIÓN	Principalmente por gotitas de agua. Por cristales de hielo en aquellas partes de la nube que por su altitud, esté a temperaturas por debajo de 0° C. Pueden contener gotas de agua sobreenfriada.
FORMACIÓN	Se desarrollan cuando se producen corrientes convectivas originadas por el desigual calentamiento del aire sobre la superficie terrestre. Este aire al ascender se condensa en forma de nube y crecerá en función del grado de inestabilidad del aire existente en ese momento.
ESPECIES	Cumulus humilis, Cumulus mediocris, Cumulus congestus y Cumulus fractus.
VARIEDADES	Cumulus radiatus.
TIPO DE TIEMPO	Los Cu de buen tiempo crecen en verano desde el mediodía hasta la puesta de Sol, cuando se disipan. Si existe un cierto grado de inestabilidad pueden progresar a Cu Congestus y en su caso llegar a convertirse en Cumulonimbus, con chubascos y tormentas.
NO CONFUNDIR	Con los Stratocumulus, ni con los Cumulonimbus.
FOTOGRAFÍA	Contrastan perfectamente con el azul del cielo debido a su gran densidad que los hace aparecer blancos y brillantes. Por la misma razón las bases aparecerán oscuras o negras. Utilizar el filtro Polarizador para un máximo contraste entre nube y cielo. Ajustar enfoque a las protuberancias.



FICHA 10:		Cumulonimbus (Cb). Cumulonimbos. Nube de Desarrollo Vertical
DESCRIPCIÓN	Nube amazacotada y densa, con un desarrollo vertical considerable, en forma de montaña o de enormes torres. Parte, al menos de su cima es normalmente lisa, fibrosa o estriada, y casi siempre aplastada; esta parte se extiende a menudo en forma de un yunque o de un vasto penacho. Por debajo de la base, muy oscura, aparecen nubes bajas desgarradas y precipitaciones o chubascos.	
CONSTITUCIÓN	Gotitas de agua, cristales de hielo en su parte superior o yunque. En su interior contienen también gotas de lluvia grandes, copos de nieve, hielo granulado, granizo y en casos de extrema inestabilidad pedrisco de considerable tamaño.	
FORMACIÓN	El Cb es el siguiente paso de desarrollo, en la escala ascendente de la convección, a los Cumulus Congestus. Se originan sobre todo en primavera y verano en situaciones de inestabilidad. Tienen un gran desarrollo vertical. Los topes suelen estar entre 8 y 14 Km. de altura.	
ESPECIES	Cumulonimbus Calvus y Cumulonimbus Capillatus.	
VARIEDADES	No tiene.	
TIPO DE TIEMPO	Producen casi siempre tormenta, es decir, precipitaciones en forma de chubascos, de lluvia o granizo, generalmente, aunque también de nieve en invierno, acompañadas de vientos racheados y de descargas eléctricas que se producen entre nubes o entre nube y tierra (rayo).	
NO CONFUNDIR	Con los Cumulus Congestus. Los Cb son más altos, presentan estructura fibrosa en las cimas.	
FOTOGRAFÍA	Los Cb son los reyes de las nubes, los más fotografiados y los más espectaculares. Se prestan a ser retratados en cualquier situación. Tratar de obtener la secuencia completa de una tormenta.	



Nubes Lenticulares

Pertenecen al tipo de nube **Alto cumulus lenticularis**. Estas nubes se forman cuando un fuerte viento en niveles medios, (3 a 5 Km. de altura), atraviesa perpendicularmente un sistema montañoso, formándose ondas a sotavento de él, con varias capas o “lentejas” superpuestas, permaneciendo estacionarias. Para ello es necesario que la capa de aire sea húmeda y estable. Este fenómeno se conoce como Onda de Montaña, se forman nubes en las crestas de la onda, donde el aire asciende, y se disipan en los valles de la misma, donde el aire desciende.



Mammatus

Consisten en glóbulos de nubes semejantes a “mamas”, pechos o ubres, que cuelgan de la parte superior del yunque de los Cumulonimbus, aunque a veces se presentan en otros géneros de nubes como los Altostratus de la foto. Se deben a un proceso que puede describirse como una Convección en sentido inverso. Al existir una zona más fresca y húmeda en la parte superior de la nube que desciende y aire relativamente cálido por debajo de ella que asciende, produciéndose protuberancias casi simétricas conocidas con el nombre de Mammatus.



Virga

A veces las gotas de agua, copos de nieve o cristales de hielo que caen de una nube se evaporan antes de llegar a tener contacto con el suelo. Esto crea un efecto visual en forma de cortina que cuelga de la base de la nube y que se conoce con el nombre de Virga. Suele producirse cuando una capa de aire seco o muy seco se encuentra situada inmediatamente por debajo de la base de la nube. Esto hace que la precipitación que cae se vaya evaporando hasta el punto de no llegar al suelo. El color de la Virga depende del tipo de precipitación que cae, yendo del gris oscuro (lluvia) al blanco (nieve).

Otras Nubes "Especiales"

Se trata de nubes de origen artificial, ya que son producidas por los reactores de los aviones que vuelan a gran altura, entre los 8 y 12 km. Los motores expulsan agua que se congela inmediatamente si se dan unas ciertas condiciones de humedad y temperatura. Si la capa de aire NO es lo suficientemente húmeda NO se formarán estelas. Por ello es normal ver al mismo nivel de las estelas nubes del tipo Cirrus, Cirrostratus o Cirrocumulus, que indican un elevado grado de humedad a grandes alturas. Pueden desaparecer rápidamente o persistir durante varias horas, ensanchándose y convirtiéndose en una verdadera nube, añadiéndose y formando parte de la capa nubosa a ese nivel.



Estelas de condensación de aviones

No se trata estrictamente de una nube especial, sino del hecho de encontrarnos situados por encima de ellas, de tal manera que sus cimas iluminadas por el Sol situado en su vertical, nos evocan un verdadero mar u océano de nubes. Podemos ver este precioso espectáculo de la naturaleza desde la cima de una montaña, desde un avión o simplemente desde lo alto de un páramo o colina que esté lo suficientemente elevado del terreno adyacente, como para encontrarse situado encima de un banco de nubes bajas o de niebla en un día de invierno. Lo más frecuente es que en un mar de nubes éstas sean del género Stratus o Stratocumulus.



Mar de nubes

Se trata de una nube en forma de gorro o capuchón, situado más arriba de la cima, o unido a ésta, de una nube del género Cumulus o Cumulonimbus a la que normalmente atraviesa. Con frecuencia pueden observarse varios pileus superpuestos. Su formación se debe al rápido ascenso de las fuertes corrientes convectivas en días de marcada inestabilidad, que atraviesan delgadas capas húmedas y estables que se encuentran intercaladas en la zona superior de la troposfera. Estas capas son materialmente arrolladas por las corrientes ascendentes, enfriándose y condensando en forma de capuchones.



Pileus





4. AHORA TE TOCA A TI IDENTIFICARLAS

En este apartado os proponemos que identifiquéis los tipos de nubes según sus géneros o si son nubes especiales. Las doce fotos están numeradas. Podréis encontrar las soluciones más adelante. Centrad la atención en la que ocupa la escena principal. Si queréis podéis añadir algo más sobre otras nubes que se encuentren en las imágenes a analizar.





ANEXO I: CÓMO DOCUMENTAR LA FOTOGRAFÍA DE UNA NUBE

Os damos unas pautas básicas de cómo documentar una nube fotografiada. Recuerda que sólo os pedimos el nombre de la nube según su género. A veces, es necesario indicar el nombre de la nube especial que estamos analizando. Os ponemos tres ejemplos, uno básico donde sólo se identifica un solo género de nube, otro más complejo, donde coexisten diferentes géneros de nubes, y por último un tercero donde se identifica una nube “especial”. Para los más avanzados poner las especies y variedades. El formato sería:

Aquí tu foto

FECHA:	Día mes año
HORA:	Hora local
LUGAR:	Ciudad, población, zona geográfica
TIPO DE NUBE:	Género de nube y/o especie si fuera necesario
AUTOR:	Nombre del colegio, institución, grupo o persona que la hizo
DIRECCION HACIA DONDE ESTA HECHA LA FOTO:	Según los puntos cardinales básicos.
MOVIMIENTO DE LA NUBE:	Hacia donde se desplazaba la nube o si estaba quieta.
DESCRIPCIÓN COMPLEMETARIA:	Cualquier información que pueda ser de utilidad.

EJEMPLO 1:

Un único género de nube



FECHA: 21-AGOSTO-2003

HORA: 20h. 18' locales

LUGAR: Hortaleza (Madrid)

TIPO DE NUBE: Cumulonimbus

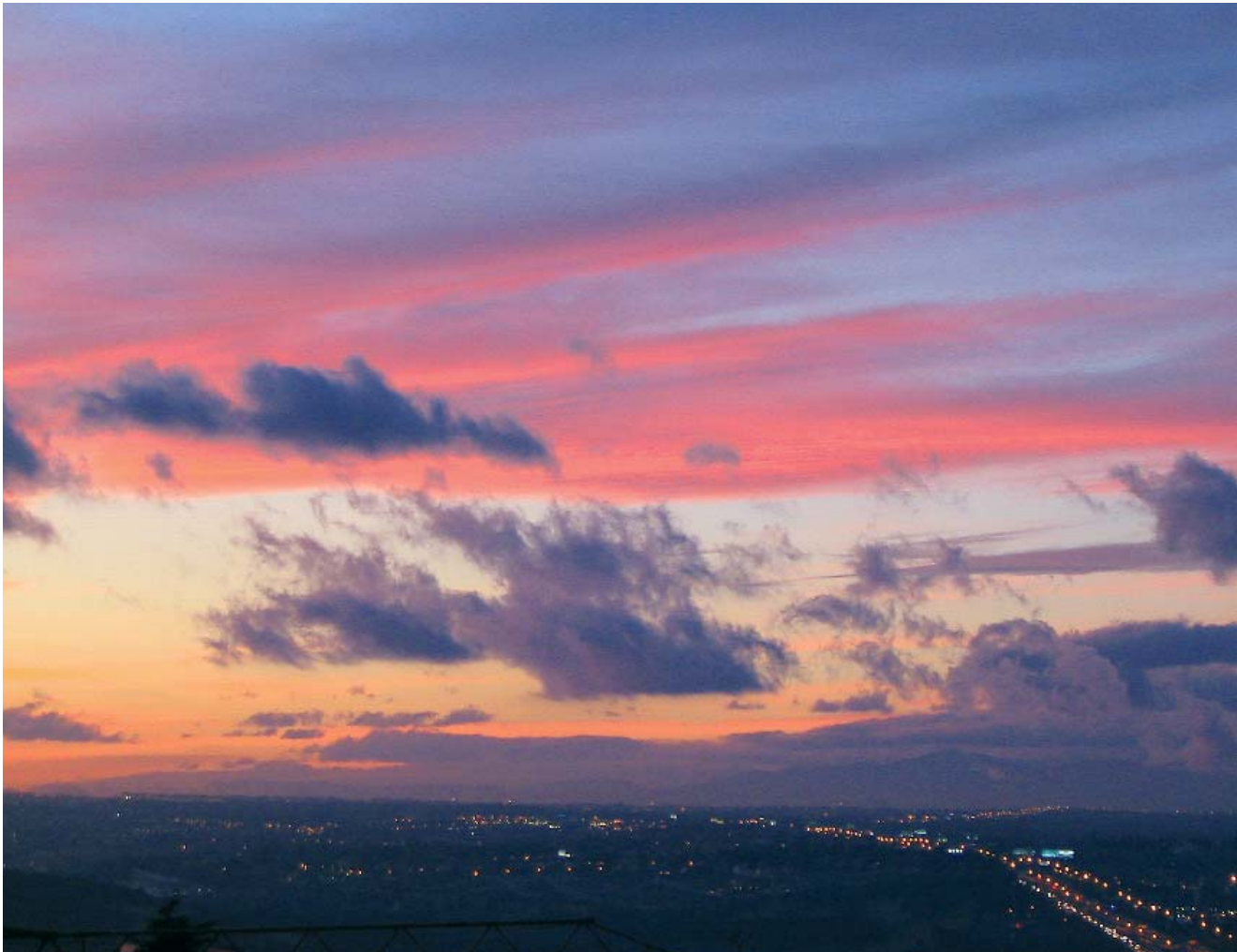
AUTOR: J.A. Quirantes

DIRECCION HACIA DONDE ESTA HECHA LA FOTO: Hacia el NE

MOVIMIENTO DE LA NUBE: de SE a NO, de derecha a izquierda en la fotografía

DESCRIPCIÓN COMPLEMETARIA: Tormenta sobre Somosierra, a unos 80Km al NE de Madrid

EJEMPLO 2: **Varios géneros de nubes**



FECHA:	13-ENERO-2004
HORA:	18h. 31' locales
LUGAR:	Ciudad Universitaria (Madrid)
TIPO DE NUBE:	Cumulus fractus, Cumulus humilis, Stratocumulus , Cirrus y Cirrostratus fibratus
AUTOR:	J.A. Quirantes
DIRECCION HACIA DONDE ESTA HECHA LA FOTO:	Tomada hacia el NW
MOVIMIENTO DE LA NUBE:	De NE a SW, derecha a izquierda en la fotografía
DESCRIPCIÓN COMPLEMENTARIA:	Los Cirros se pusieron primero de color amarillo, luego naranjas, después rojos y rosas (momento de la foto) y finalmente grises

EJEMPLO 3:**Una nube especial**

FECHA: 19-Enero-2004

HORA: 18h. 30' locales

LUGAR: Ciudad Universitaria (Madrid)

TIPO DE NUBE: Altocumulus lenticularis

AUTOR: J.A. Quirantes

DIRECCION HACIA DONDE ESTA HECHA LA FOTO: Hacia el Oeste

MOVIMIENTO DE LA NUBE: Estacionaria, no se movía

DESCRIPCIÓN COMPLEMETARIA: La nube estuvo estática sobre la Sierra de Gredos, que son las montañas que se ven debajo de ella, durante más de 3 horas seguidas

ANEXO II: TABLA DE CLASIFICACIÓN INTERNACIONAL DE LAS NUBES DE LA OMM

GENEROS	ESPECIES	VARIEDADES	N. ACCESORIAS Y SUPLEMENTARIAS	NUBES MADRE GENITUS	NUBES MADRE MUTATUS
Cirrus	fibratus uncinus spissatus castellanus floccus	Intortus radiatus vertebratus duplicatus	mamma	Cirrocumulus Alto cumulus Cumulonimbus	Cirrostratus
Cirrocumulus	stratiformis lenticularis castellanus flocus	undulatus lacunosus	virga mamma		Cirrus Cirrostratus Alto cumulus
Cirrostratus	fibratus nebulosus	duplicatus undulatus		Cirrocumulus Cumulonimbus	Cirrus Cirrocumulus Altostratus
Alto cumulus	stratiformis lenticularis castellanus flocus	translúcidos perlúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus	virga mamma	Cumulus Cumulonimbus	Cirrocumulus Altostratus Nimbostratus Stratocumulus
Altostratus		lacunosus translúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus	virga praecipitatio pannus mamma	Alto cumulus Cumulonimbus	Cirrostratus Nimbostratus

GENEROS	ESPECIES	VARIEDADES	N. ACCESORIAS Y SUPLEMENTARIAS	NUBES MADRE GENITUS	NUBES MADRE MUTATUS
Nimbostratus			praecipitatio virga pannus	Cumulus Cumulonimbus	Alto cumulus Altostratus Stratocumulus
Stratocumulus	stratiformis lenticulares castellanus	translúcidos perlúcidos opacus duplicatus undulatus radiatus lacunosus	mamma virga praecipitatio	Altostratus Nimbostratus Cumulus Cumulonimbus	Alto cumulus Nimbostratus Stratus
Stratus	nebulosus fractus	opacus translúcidos undulatus	praecipitatio	Nimbostratus Cumulus Cumulonimbus	Stratocumulus
Cumulus	humilis mediocris congestus fractus	radiatus	pileus velum arcus pannus tuba praecipitatio virga	Alto cumulus Stratocumulus	Stratocumulus Stratus
Cumulonimbus	calvus capillatus		praecipitatio virga pannus incus mamma pileus velum arcus tuba	Alto cumulus Altostratus Nimbostratus Stratocumulus Cumulus	Cumulus

SOLUCIONES AL TEST DE FOTOGRAFÍAS DE NUBES:

1. Altocumulus
2. Cumulus
3. Altostratus
4. Cirrus
5. Cirrostratus
6. Cumulonimbus
7. Cumulus
8. Cirrocumulus
9. Stratocumulus
10. Cirrus
11. Altocumulus
12. Altocumulus lenticulares

Bibliografía

Manual del Observador de Meteorología, José María Jansá Guardiola. Publicación del Instituto Nacional de Meteorología, INM. 22 Edición SMN. Serie B. 1968.

Vocabulario de términos meteorológicos y ciencias afines, Alfonso Ascaso Liria y Manuel Casals Marcén. INM. ISBN. 505-478226, pp. 408.

En Internet

Curso de nubes

Curso de Meteored. Realizado por José A. Quirantes (observador del INM) y ganador de diversos concursos de fotos. Fotos de diversos lugares de Internet

<http://www.meteored.com/foro/index.php?board=9;action=display;threadid=2555>

Atlas de nubes

En español

INM de Costa Rica

<http://www.imn.ac.cr/nubes/nubes.htm>

Portal de Silvia Larocca

http://www.geocities.com/silvia_larocca/Temas/atlasdenubes.htm

RAM, Revista del Aficionado a la Meteorología.

Apartado de fotos, enviadas y comentadas por aficionados a la meteorología.

<http://www.meteored.com/ram>

En alemán

Wolkenatlas. Aunque está en alemán, es fácil de seguir. Uno de los mejores portales.

<http://www.wolkenatlas.de/wbilder.htm>

En inglés

Australian Severe Weather

<http://www.australiansevereweather.com/photography/index.html>

Cloudman

<http://www.cloudman.com/atlas/atlas.htm>

Wolkenatlas (en inglés)

<http://www.ems.psu.edu/~Ino/Meteo437/atlas.html>

Houze's Atlas

<http://www.atmos.washington.edu/gcg/Atlas/>

Weather eyes

<http://www.islandnet.com/~see/weather/eyes/cloudatlas.htm>

Plymouth State University Meteorology Program Cloud Boutique.

<http://vortex.plymouth.edu/////clouds.html>

Polar Image

<http://www.polarimage.fi/>

¿**Qu**é

teng**o**

y**o**

q**ue**

ve**r**

con

e**l**

t**i**e**m**p**o**?

LA ESTRECHA RELACIÓN ENTRE LA ATMÓSFERA Y LAS ACTIVIDADES COTIDIANAS

Es martes. Son las siete menos cuarto de la mañana y Eloísa se despereza en su cama. No se entera muy bien de lo que dice la radio, no sabe si escucha o sueña las noticias que el locutor narra. A las siete ya tiene las cosas un poco más claras. Escucha la primera información meteorológica de su jornada. Todavía no ha amanecido y, a tientas, alcanza el baño. Luego, el café en la cocina. Ya clarea. No parece que el hombre del tiempo se haya equivocado demasiado: en el cielo hay pocas nubes. Luego, según el pronóstico, puede llover. Por si acaso, se llevará el paraguas. Odia los días de lluvia. No porque llueva, sino porque los coches ponen perdido el pantalón del traje al pasar y la gente a punto está de sacarle un ojo con los paraguas abiertos. Todo sea por el bien de los pantanos. Apura el café mientras mira si el móvil tiene batería y sale a la calle. Sigue pensando que la gabardina y el paraguas son un tostón y que con este solazo invernal va a dar el cante en el metro, tan pertrechada como va.

Cuatro horas con los ojos puestos en la pantalla del ordenador y la mente en el fin de semana. Mira que como se nubla también el sábado, adiós paella al aire libre con los amigos... Se está nublando. El hombre del tiempo no iba tan mal encaminado. Las dos de la tarde. Eloísa vuela hacia la cafetería del

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?

edificio. Un corto paseo hasta el menú diario a siete euros. Allí, en lo alto del bar, en una tele sin sonido (o eso le parece a ella) el hombre del tiempo ya habla de lo que pasará mañana. Y pasado. Y el viernes, el sábado y el domingo. Pero, ¿para qué tantos días? Si luego no acierta nunca, le comenta a su compañero de menú. Ha estado atenta, pero no logra recordar muy bien cuál será el tiempo de los próximos días. Es que había tantos mapas... Fuera empieza a chispear.

Eloísa acaba su jornada laboral a las siete de la tarde. Ya es de noche. Es la triunfadora del ascensor. Fuera cae agua a mantas y, claro, nadie lleva paraguas porque amaneció despejado. Ésta, por todas las veces que he hecho el canelo con el paraguas en una mano, la gabardina en la otra y el sol en el cogote, piensa. La alegría le dura lo que tarda en bañar su pernera un autobús.

Su día acaba frente al televisor, con la calefacción encendida porque ya empieza a hacer frío... Zapeando vuelve a ver al hombre del tiempo. Espera con paciencia que pasen esos mapas inútiles llenos de líneas que ni entiende ni quiere entender. Le comenta a su marido que nunca será capaz de entender lo de los mapas del tiempo. Le parecen insondables. Silencio. Aparece el pronóstico para el fin de semana. No lloverá, pero hará frío. Se arriesgará con la paella.

Eloísa y su marido se van a la cama. Para quedarse fritos con total garantía ponen de fondo las noticias. El hombre del tiempo vuelve a soltar su retahíla de nubes, frentes, lluvias... cuando pronuncia "...y mañana volverá a llover " pierde el contacto con la realidad y se queda roque. Mañana, el hombre del tiempo, la volverá a despertar.

Este bien podría ser el relato de una jornada cualquiera de nuestra vida. Ese es todo el contacto que Eloísa, una persona como usted y como yo, una persona cualquiera de cualquier ciudad de este país, tiene con la atmósfera, con la meteorología, con la climatología, con las ciencias atmosféricas y sus aplicaciones. Eloísa es capaz de distinguir con precisión las distintas versiones de un mismo modelo de automóvil recién salido al mercado. Pero no tiene la más remota idea de la determinante influencia de la atmósfera en su vida cotidiana y mucho menos de cuántos tipos de nubes hay y qué significan. Si lo supiese, no haría otra cosa que mirar al cielo todo el día.

La primera ducha

Antes de despertar, Eloísa ya tiene el agua de su termo calentita esperando para la primera ducha. Para calentar el agua, un dispositivo automático aprovecha la tarifa nocturna. Las empresas eléctricas no

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?

saben qué hacer con la energía que no consumen las fábricas, los comercios, los grandes consumidores, cuando echan el cierre a sus negocios hasta el día siguiente. Han estado produciendo a tope durante todo el día y la energía eléctrica por la noche la venden más barata. ¿Cómo han podido producir tanta electricidad? Aprovechando los miles de embalses y saltos de agua repartidos en todo el país. Esas instalaciones dependen del agua embalsada, por tanto, del régimen hídrico. Si en un año malo faltan las precipitaciones, pongamos del otoño o el invierno, la producción de energía a partir de centrales hidroeléctricas (el 18 % de la que se produce en España) se vería en una situación difícil. Durante los años secos nos vemos obligados a comprar más energía a países vecinos, como Francia o Portugal. Luego subirán las tarifas y Eloísa lo notará en su factura de la luz.

¿Y no hay una alternativa a la producción hidroeléctrica en un país climáticamente tan caótico como España? La hay: el 38% de la energía que se consume en España procede de centrales térmicas, que queman combustibles fósiles para producir electricidad. Pero, como bien es sabido, la quema de combustibles fósiles genera emisiones de gases de efecto invernadero que intervienen de manera directa en los procesos de cambio climático. Así que si

los gobiernos deciden respetar los acuerdos internacionales, como el de Kyoto, no podrán potenciar la utilización de centrales térmicas para la generación de electricidad. Por suerte, el clima de España es rico en sol y en viento. Por eso han prosperado tanto en los últimos años los parques eólicos y las plantas de energía solar que son una buena alternativa para los productores de energía. Pero de momento sólo representan el 3% de la producción en España. Escaso, ¿verdad? Pues con todo y con eso, España es el cuarto país productor de energía eólica del mundo.

Eloísa se puede llegar a pasar diez minutos bajo el chorro de la ducha. Dice que es lo que le da fuerzas para alcanzar el café. Ese gesto cotidiano puede ser considerado todo un lujo en un país de clara influencia mediterránea como el nuestro. El clima mediterráneo se caracteriza por su extrema variabilidad donde las lluvias se comportan de manera caótica. Se alternan ciclos muy húmedos, ciclos secos salpicados con numerosos episodios de lluvia torrencial y ciclos largos y secos en los que las restricciones son obligadas. Rara vez ocurre eso en la fachada atlántica de la Península, pero el agua que allí sobra, lamentablemente, no se puede trasladar fácilmente a otros puntos del país. España está dividida en ocho cuencas hidrográficas, de las cuáles sólo tres presentan excedentes.

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?

Café y tostadas

Pero por el grifo de Eloísa no se nos va toda el agua. La agricultura en España consume el 80% de los recursos hídricos. No es una barbaridad. En el resto de Europa consume aproximadamente el 70%. En España hay que regar casi tres millones de hectáreas en un país donde la superficie cultivada es casi del 42%.

No hay alimento que nos llevemos a la boca, ya sea nacional o de importación, manipulado, derivado o en su forma original, que haya sido producido sin atención a las condiciones meteorológicas y climáticas del lugar. La primera tostada de la mañana y el cafetito en casa de Eloísa, el pescado del menú del mediodía o la carne a la plancha y la fruta de la cena llevan oculto un historial meteorológico que ha optimizado su producción. Las condiciones climáticas de cada zona, el tiempo típico a lo largo del año, seleccionan de manera natural las áreas de producción de todos los productos agrícolas. Los ingenieros agrícolas y forestales estudian las condiciones atmosféricas históricas de cada finca, de cada explotación, para seleccionar las especies o las variedades que van a cultivar y asegurar así el éxito de la empresa. No digamos ya los agricultores tradicionales que conservan un poso de sabiduría climática secular para saber

qué y cuándo pueden cultivar en sus tierras. Saben leer el cielo para sacar el máximo partido de sus cultivos. Aunque las explotaciones ganaderas son, en ese sentido, menos exigentes, necesitan conocer las condiciones climáticas exactas del lugar para adecuar sus instalaciones y optimizar así la producción: instalación de calefacciones o refrigeración, protección contra la radiación solar directa... Por ejemplo un golpe de calor en verano puede ser letal para, por ejemplo, las explotaciones avícolas. El precio del pollo se dispara y luego el IPC se escapa del cálculo previsto por el gobierno.

El menú del mediodía

La información meteorológica es clave para la producción agrícola. Va más allá del escueto parte que ofrecen los medios de comunicación. Los agricultores demandan previsiones meteorológicas de alta fiabilidad al menos para los tres o cuatro próximos días. Las previsiones a medio plazo (hasta diez días) ayudan a planificar los trabajos con bastante tiempo de antelación. Las nuevas técnicas de predicción empiezan a ofrecer pronósticos estacionales, para los próximos meses, que serán fundamentales para la planificación agrícola a largo plazo. Más allá del pronóstico, el agricultor necesita barajar casi un sin fin de pequeñas

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?

variables meteorológicas poco conocidas: la evaporación diaria, la temperatura en el subsuelo, la radiación solar directa y difusa, los grados-día acumulados... para que la explotación rinda al máximo y la calidad de la producción sea óptima. Quizá Eloísa no lo sepa al salir de casa, pero el vino que tomará a mediodía con sus compañeros fue elaborado con uva recolectada atendiendo a unas condiciones meteorológicas determinadas y que maduró gracias al riego intermitente que el agricultor aplicó a la cepa atendiendo a la previsión meteorológica. Gracias a ella minimizó al máximo el riesgo de helada el productor de la fruta del postre y desafortunadamente el zumo de la mañana está hecho con frutas dañadas por una tormenta de granizo contra la que no se puede luchar.

Eloísa puede optar en su menú: carne roja o merluza en salsa. Parece más saludable optar por la merluza. Lo que ignora es la ración de atmósfera que le servirán en el plato. Los mejores caladeros de pesca se mueven siguiendo las grandes concentraciones de plancton de las que se alimentan y éstas están íntimamente relacionadas con la temperatura de la superficie del mar. El patrón del barco que pescó la merluza del plato de Eloísa consulta constantemente las imágenes del satélite que ofrece la temperatura de la superficie marina para

tratar de adivinar por dónde se mueve el mejor banco de merluza. Gracias a los servicios meteorológicos el patrón decide cómo moverse por el mar sorteando las áreas de temporal, aguardando el mejor momento para llegar al caladero o, sencillamente, capeando la tempestad. España es la tercera flota pesquera más importante del mundo.

Desde el campo, desde los puertos, los productos tienen que ser distribuidos hasta llegar a la mesa del consumidor o a la estantería del supermercado, muchas veces a miles de kilómetros de distancia. Desde luego que los transportes frigoríficos son uno de los avances tecnológicos más importantes de los últimos 50 años. Pero los productos frescos, incluso sirviéndose de rápidos y modernos transportes frigoríficos, no aguantan muchas horas antes de ser presentados ante el consumidor. Un imprevisto en la cadena de transporte puede echar a perder toneladas de producto sin remisión. Por ejemplo, un temporal. En España circulan a diario por las carreteras decenas de miles de transportes frigoríficos de productos perecederos. Una de las rutas más importantes de frutas y hortalizas del mundo es la que recorre el Mediterráneo español en dirección a los grandes mercados del centro de Europa. No en vano, el mercado de abastos más importante del continente es Mercamadrid. Los operadores logísticos cuentan con información meteorológica precisa para sus rutas que les permite variar los trayectos en función de las condiciones

meteorológicas previstas en la ruta. Un temporal de nieve rara vez colapsa todo un país. Una buena predicción meteorológica puede salvar miles de toneladas de producto.

El jefe pierde el avión

No sólo los transportes por carretera se benefician de una correcta planificación meteorológica. Hoy Eloísa ha decidido no sacar el coche para ir a trabajar. Sabia decisión: si llueve, la ciudad se colapsará irremediablemente. Cuando compró su utilitario coreano dijeron que tardaría un mes y medio en llegar al concesionario. Todavía recuerda el enfado que agarró cuando dijeron que la entrega se retrasaría un par de semanas por “trámites aduaneros “ Excusa poco creíble, por otro lado, en un mundo globalizado en el que los puertos más importantes del mundo mueven cientos de miles de automóviles al día. En el concesionario no podían saber que el barco que transportaba el automóvil de Eloísa retrasó su salida y posteriormente modificó su ruta habitual ante la presencia de tifones y tormentas tropicales cerca de su puerto de partida. Las grandes compañías navieras utilizan los pronósticos meteorológicos para la planificación detallada de sus fletes y el ahorro de combustible.

El jefe de Eloísa llegará hoy tarde, más o menos a la hora de comer, le han dicho los compañeros. Parece que su avión no podía salir de Bruselas esta mañana por la nieve. Mejor, una mañana de relax en la oficina. Y una mañana de estrés para el espacio aéreo europeo. De una u otra manera todos los vuelos con origen o destino al centro y norte de Europa se verán afectados por el incidente meteorológico. El sistema ya trabaja con la vista puesta en las últimas horas de la noche cuando, según el pronóstico, la nevada remita de manera casi definitiva. El tráfico aéreo es una víctima de las condiciones meteorológicas. Por ese motivo, las autoridades aeronáuticas han creado un submundo meteorológico paralelo, el de las redes de vigilancia y predicción aeronáuticas. Ofrece datos tan simples pero determinantes como la presión atmosférica en la pista para la calibración de los altímetros de las aeronaves y tan sofisticados como los sistemas de vigilancia basados en radares y sensores de ultrasonidos para detectar fuertes precipitaciones próximas o corrientes perturbadas que pueden afectar al aterrizaje o al despegue de aeronaves. Los pronósticos a muy corto plazo pueden aconsejar el cierre o cambio de pistas por viento o falta de visibilidad. Las tripulaciones necesitan de información para conocer cuál es el estado del tiempo en ruta y en el aeropuerto de destino y así esquivar posibles perturbaciones severas o turbulencias. El comandante es informado en vuelo de manera constante de las condiciones meteorológicas en el aeropuerto de destino y de los aeropuertos próximos a la zona que sobrevuela. Además, los

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?

aviones van dotados de radares meteorológicos en el morro que les permiten adelantarse a la actividad tormentosa para así poder evitarla. Los vuelos transoceánicos trazan sus rutas en función de los vientos pronosticados a la altitud de vuelo seleccionada para ahorrar combustible. Los que cruzan el Atlántico aprovechan la fuerte corriente de viento de más de 300 km/h que sopla de oeste a este para hacer el trayecto entre, por ejemplo, Nueva York y Londres en menos tiempo y con un considerable ahorro de combustible.

Un “porter_o-meteorólogo”

El “jet lag ” de Eloísa cuando regresó de viaje de novios desde Australia poco tenía que ver con el tiempo meteorológico, pero hay cientos de dolencias que están íntimamente relacionadas con las condiciones atmosféricas del lugar que habitamos o que visitamos. No es una invención popular: todas aquellas personas aquejadas de enfermedades reumáticas, dolores en articulaciones o en los huesos son especialmente sensibles a los cambios de la humedad que se producen cuando se aproxima un cambio de tiempo. “Me duele la rodilla que me lesioné, va a llover seguro ” le dice el portero de la finca de Eloísa cuando abandona el ascensor. Y no le falta razón. Es un barómetro andante altamente fiable.

Anda un poco delicado del corazón, es ya mayor. Pero ignora que un cambio brusco de presión atmosférica, relacionado por ejemplo con la llegada de un potente frente de lluvias, puede provocarle una crisis cardíaca. Ese mismo frente asociado a abundantes lluvias y a un descenso de las temperaturas desencadenará otras dolencias u otros males en muchas otras personas. Cientos de miles en España. Por ejemplo, en los aquejados de asma. Un descenso brusco de temperaturas provoca una avalancha de usuarios al sistema público de salud aquejados de alteraciones en las vías respiratorias. El colapso sistemático de las urgencias en episodios fríos en las grandes ciudades ha llevado a los responsables de gestión de los grandes complejos hospitalarios a consultar las previsiones de temperatura a largo plazo para conocer cuándo descenderán por debajo de un umbral determinado en situaciones de ola de frío. Así pueden gestionar mejor los recursos hospitalarios para evitar los colapsos cada vez más frecuentes. En el mismo día frío y gris, los aquejados por depresión se encontrarán mucho peor. Ocurre lo mismo cuando las nieblas persisten en invierno durante días y días. O cuando las temperaturas no bajan de 25°C en las noches de verano y la humedad es sofocante. O cuando sopla el viento fuerte durante más de cuatro jornadas... Los cambios de actitud, de comportamiento están íntimamente

relacionados con las condiciones meteorológicas que vivimos. Eso lo sabe bien la policía científica: los suicidios, los homicidios y las agresiones se disparan coincidiendo con los días más calurosos del año. Del estudio de todas esas imbricadas relaciones se encargan la biometeorología y la bioclimatología, disciplinas que incluso analizan los tejidos óptimos que debemos utilizar en función del clima que nos toca vivir.

El vaso medio lleno o medio vacío: percepción climática

En cuanto empiece a llover Eloísa abrirá su paraguas nada más salir de la oficina. Le parecerá el diluvio universal. Pero para la propietaria de la casa rural donde pasaron el fin de semana no será más que eso, lluvia. Y el frío pelón que la recluirá en casa durante el fin de semana no impedirá que en el pueblo de la casa rural los chavales jueguen en la plaza o las gentes vayan al campo a trabajar. La percepción climática de un mismo fenómeno meteorológico es totalmente opuesta en ámbitos sociales distintos. Las grandes ciudades blindan a sus habitantes ante los fenómenos meteorológicos que acaban por parecerles adversos cuando en realidad, en la mayoría de ocasiones, son de lo más habituales. Quizá

Eloísa no ha caído en la cuenta de que cada día está en contacto con la atmósfera no más de veinte minutos. Su casa está perfectamente climatizada y en su interior la temperatura es siempre de 22°C. Tras un breve trayecto a pie, al autobús, también climatizado: abandona la realidad atmosférica con rapidez. Una realidad ya modificada por las especiales condiciones climáticas de la ciudad, que guarda una temperatura superior a la de los alrededores, que se protege del viento gracias a sus construcciones, o del sol debido a las sombras que proyectan sus edificios. Llegará a su oficina perfectamente climatizada con preciosas vistas sobre los tejados de la ciudad. Ni siquiera abandonará el edificio para comer. Vuelta al trabajo y, al anochecer, de nuevo mínimo contacto con la atmósfera tamizada por la ciudad antes de regresar a casa, al nido climatizado. No más de veinte minutos de contacto diario con la atmósfera durante años. Así, no es sorprendente que cuando abandona la ciudad durante el fin de semana perciba que la lluvia es desmesurada, que el viento más que soplar, ruge y que, en verano, el sol quema su piel mucho antes que cuando era pequeña. Olvida que, cuando era más pequeña, incluso en invierno, pasaba muchas más horas al sol incluso en invierno y su piel estaba más acostumbrada a recibir radiación solar directa. Eloísa vive en una gran

ciudad y su percepción del clima no es la misma que la de una persona que habita en una ciudad más pequeña o en el medio rural. Los estudios que empiezan a publicarse sobre este fenómeno ya apuntan a la aparición de lo que los científicos califican como “el burgués climático”, los habitantes de grandes ciudades que ha achicado sus umbrales meteorológicos: 22°C de temperatura, viento ligero o en calma, precipitación escasa, radiación solar directa de no más de 5 minutos diarios.

La Historia es tiempo, también meteorológico

El tiempo y el clima son parte de la geografía y de la historia de todo territorio. Modelan nuestro entorno y constituyen un patrimonio vinculado al devenir de todas las civilizaciones desde la aparición de la vida en la Tierra con sus luces y sus sombras. La cruz del magnífico clima de, por ejemplo, las tierras mediterráneas españolas son las graves inundaciones que deben soportar periódicamente en otoño. El clima ha marcado de manera indudable la historia de España. Gracias a él fue posible el despegue económico de los años 60 y la principal industria del

país, el turismo, vive pendiente del parte meteorológico diario. Un verano lluvioso arruinará la temporada en la playa. Un invierno seco, en la montaña. No estaría de más analizar qué ocurriría en un futuro cuando, según los modelos que analizan el cambio climático, en España escaseen aún más las lluvias y las temperaturas sigan subiendo, en especial en primavera y verano.

Eloísa consume grandes cantidades de metraje documental sobre la Historia y en particular sobre la historia de España del siglo XX. Sin la influencia del tiempo, del clima de nuestro país, no se entienden los grandes flujos migratorios nacionales o hacia el extranjero que han marcado la historia de los últimos cien años en nuestro país. Dos grandes periodos secos, a principios y a mediados del siglo XX, favorecieron los movimientos de población del ámbito rural a las grandes ciudades.

En la pantalla de Eloísa aparecen imágenes del antiguo NODO en las que las autoridades inauguran pantanos y más pantanos. La voz recita, invariable: “la pertinaz sequía que azota nuestros campos...” En el documental repasa las numerosas obras hidráulicas que la dictadura se vio obligada a poner en marcha para tratar de atajar la crisis pluviométrica de los años cuarenta y

cincuenta. El clima y el tiempo han alumbrado planes faraónicos de abastecimiento de agua potable desde tiempos de los romanos hasta nuestros días, ha hecho ganar o perder batallas, ha detenido invasiones y ha favorecido otras de pueblos mejor adaptados, ha puesto y ha quitado reyes. ¿Por qué Hitler cometió el mismo error que Napoleón en su invasión sobre Rusia? ¿Hubiese llegado Colón a América si en el verano de 1492 el régimen de alisios hubiese variado ligeramente? ¿Sería Inglaterra cristiana sin la tormenta que acabó con la Armada Invencible? El clima es parte del armazón de la historia.

¿Quién mira el cielo por nosotros?

A Eloísa le regalaron las pasadas Navidades uno de esos cacharros con pantalla LCD que da la temperatura, la humedad y se atreve a dar un pronóstico. Lo consulta de vez en cuando, pero piensa que un día de estos lo devolverá a su caja y de ahí a un altillo. Es un instrumento inútil para ella. ¿Para qué quiero saber la presión atmosférica? Para eso está el hombre del tiempo, piensa. Cuando vuelva a embalar el chisme no sabrá que tiene en sus manos la piedra angular de toda la ciencia atmosférica: la herramienta de observación. Cientos de miles de

observatorios dispersos por todo el mundo desde las cordilleras más elevadas hasta los que están instalados a bordo de barcos, de boyas flotantes en el océano o de globos sonda realizan observaciones sobre el estado de la atmósfera. Son datos fundamentales para proveer a los modelos meteorológicos de condiciones iniciales. Éstos, tras conocer las condiciones iniciales del sistema atmósfera-océano, calculan su estado futuro y nos ofrecen las previsiones meteorológicas. Han mejorado a lo largo de los últimos cincuenta años de manera espectacular gracias a los avances en computación (los modelos meteorológicos utilizan los computadores más sofisticados del planeta) y en el último lustro la calidad de las previsiones mejora debido a la aplicación de técnicas matemáticas que combinan la física estadística y las redes neuronales. Los pronósticos meteorológicos son responsabilidad de las autoridades meteorológicas nacionales, en el caso de España del Instituto Nacional de Meteorología (INM), una estructura con más de cien años de historia que a diario escruta la atmósfera, pronostica su futuro estado y alimenta las bases de datos climáticas que nos servirán para saber si nuestro clima cambia y cómo lo hace. El INM, como todos los servicios meteorológicos nacionales, forma parte de la autoridad meteorológica mundial, la Organización Meteorológica Mundial, la OMM.

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?

Antes de irse a dormir Eloísa da un rápido zapeo y se queda con las noticias. Una plaga de langosta ha arrasado las cosechas de cientos de miles de hectáreas a lo largo del África central y occidental. Se ha quedado a escasos centenares de kilómetros de las costas de Canarias. Apaga el televisor. Pero los ojos de los satélites no duermen. Vigilan la evolución de las plagas y alertan a los responsables de las organizaciones internacionales de sus desplazamientos. Después se fumigará utilizando los datos que ha facilitado el “ojo en el espacio “ Los satélites meteorológicos, como tantas otras tecnologías, son una feliz secuela de conflictos militares del pasado que nos permiten escudriñar las nubes, conocer por qué se forman, qué precipitaciones y temperaturas esconden, de dónde vienen y a dónde van. Otro aparato bastante sofisticado, el radar, permite ver desde tierra qué tipo de lluvia trae un frente, si fuerte o débil, si granizo o nieve. Es otra herencia de la guerra. Los ingleses empezaron a utilizarlos para detectar a los bombarderos alemanes en los raids sobre Inglaterra de la II Guerra Mundial. Se dieron cuenta de que muchas veces lo que detectaban era la aproximación de bandas de lluvia, en vez de aviones. Ahí nació una de las herramientas imprescindibles para un servicio meteorológico.

Pues tenía razón el hombre del tiempo. Acabó por llover y hace un poco más de frío. Eloísa cierra la persiana para que las gotas no salpiquen los cristales.

Se lava los dientes. Vuelve a la habitación. Apaga la luz y se queda dormida. Muy probablemente hoy no se haya dado cuenta de que cualquier actividad que haya emprendido, por insignificante que sea, tiene que ver con la atmósfera, con el tiempo, con el clima. También su nombre. Se ha acostado sin saber que Eloísa, un nombre griego, quiere decir “cielo claro”.

¿Que tengo que ver yo con el tiempo?



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



FECYT
FUNDACIÓN ESPAÑOLA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

www.fecyt.es



MINISTERIO
DE EDUCACIÓN
Y CIENCIA



FECYT

FUNDACIÓN ESPAÑOLA CIENCIA Y TECNOLOGÍA

www.fecyt.es