

El tiempo en el mar

I. Océanos y clima

Los mares y océanos tienen una gran influencia sobre el clima. Esta influencia es debida básicamente a su capacidad para absorber energía del Sol y distribuirla por el mundo a través de las corrientes cálidas que circulan por la superficie de los océanos. De hecho, el 40% del calor que llega a los polos desde el ecuador es transportado por las corrientes oceánicas. Las corrientes frías también afectan al clima. Las fluctuaciones de las corrientes principales provocan grandes cambios o fenómenos climáticos, como, por ejemplo, el fenómeno de El Niño.

Por otro lado, los océanos son un importante sumidero de carbono gracias a la denominada *bomba biológica*. Además, algunos de los organismos marinos productores primarios son responsables indirectos de la formación de nubes (a través de la producción de compuestos de azufre que pueden pasar a la atmósfera en formas modificadas y crear núcleos de condensación de nubes),



Fig. 1. Los mares y océanos tienen una gran influencia sobre el clima. Los fenómenos climáticos están en gran parte determinados por la interacción entre el océano y la atmósfera.

con lo cual también participan en el mantenimiento de un planeta «fresco». A la vez, el hielo marino que se forma cada año en la Antártida (¡más de 14 millones de km² de hielo marino!) contribuye a reflejar los rayos de sol que inciden sobre la superficie del planeta, lo que ayuda a refrescarlo aún más; además, con su hacerse y deshacerse, el hielo marino pone en marcha el gran cinturón de circulación oceánica global, que en parte determina la actual distribución de los grandes climas de la Tierra.

Por todo ello, vemos que los océanos afectan directamente al clima terrestre. Aparte de su influencia sobre el clima global, también el mar afecta al clima local de los lugares costeros.

1. Las corrientes marinas y el clima

La circulación planetaria es debida a que no todos los lugares de la Tierra reciben el mismo calor del Sol (a causa de la rotación de la Tierra y su inclinación sobre el propio eje), lo cual comporta un desequilibrio térmico en el planeta: el ecuador es la zona más cálida, las zonas centrales son más bien templadas y los polos son las zonas frías. Este desequilibrio térmico hace que se originen fenómenos de circulación atmosférica y también oceánica más o menos establecidos.

Las capas superficiales de los mares y océanos absorben más de la mitad de la energía que recibe la Tierra del Sol. Las corrientes marinas transportan esta energía desde el ecuador hacia los polos. Hay corrientes frías y corrientes cálidas. Unas seis corrientes superficiales transportan calor desde los trópicos hacia los polos e influyen sobre el clima de las regiones emergidas. Por ejemplo, la corriente del Golfo y su brazo que se prolonga hacia el Atlántico Norte dan a Europa un clima más cálido del que tendría si no existiesen. El calor que transporta esta corriente se disipa en la atmósfera en el norte europeo. Como los vientos del oeste llevan esta corriente hacia tierra, los países del este del océano Atlántico tienen un clima más templado que los del oeste del Atlántico, aunque se encuentran a la misma latitud. Lo mismo ocurre en otros lugares, como, por ejemplo, en el Pacífico sudoccidental, donde la corriente australiana oriental hace que el clima en Tasmania sea más suave.

Las corrientes frías a veces refrescan el clima. Por ejemplo, la corriente de California hace que la costa oeste de los Estados Unidos sea más fresca en verano. Estas corrientes suelen afectar tanto a las precipitaciones como a la formación de nieblas. Si se combinan con afloramientos de aguas profundas (ya que son corrientes que suelen ir hacia el ecuador en la parte oeste de los continentes, donde suele haber afloramientos), reducen la evaporación y hacen descender el aire seco de las capas más altas, con lo cual la escasa humedad se condensa sobre el agua fría y se forman nubes sobre el mar, que se dispersan cuando el aire llega a tierra. Esto propicia la formación de desiertos en las tierras próximas a estos lugares, como el desierto de Namibia o los desiertos de la costa norte de Chile.

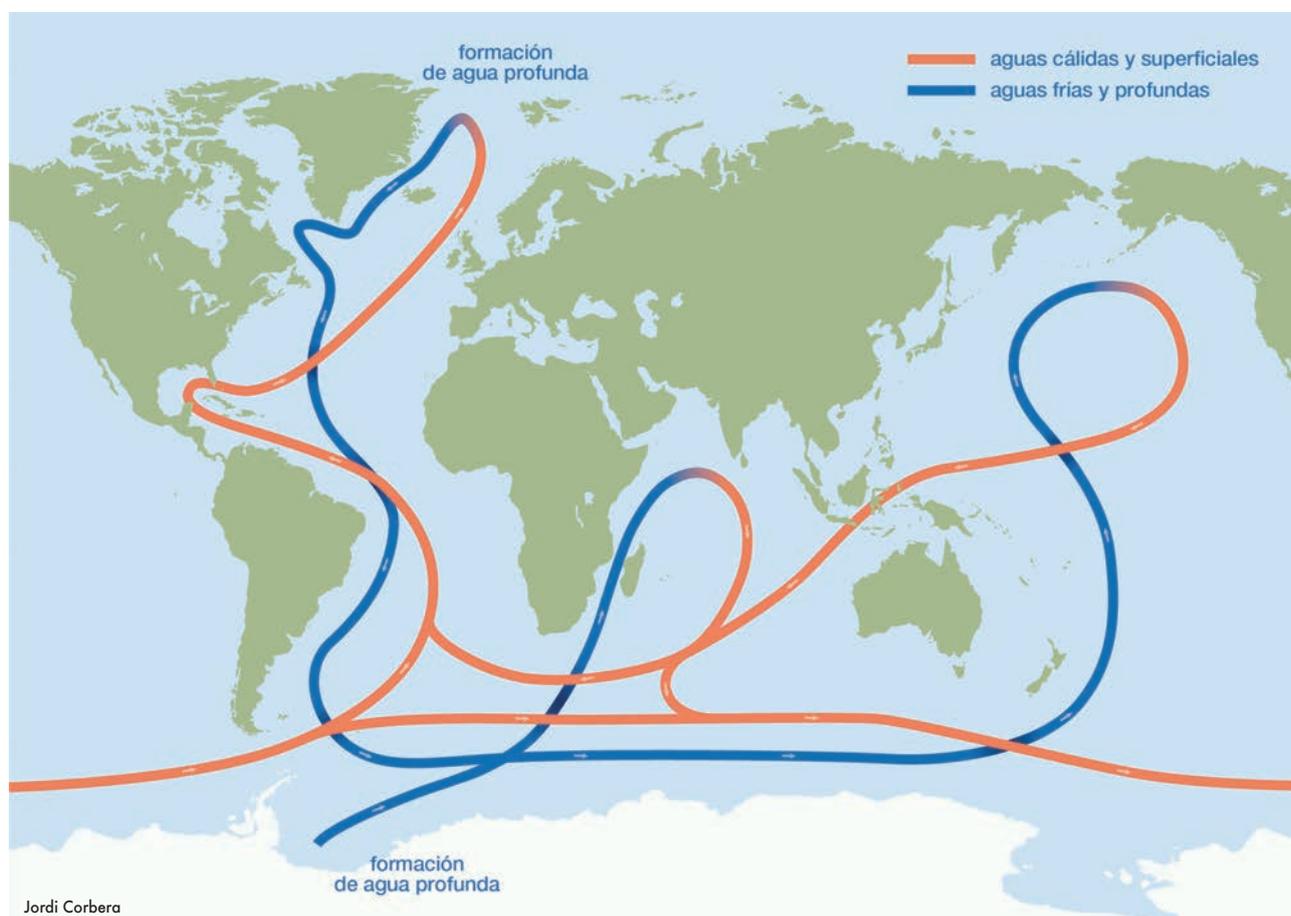


Fig. 2. El gran cinturón de circulación oceánica conecta las aguas de todos los océanos y distribuye el calor por el planeta. Hay dos puntos de formación de agua profunda: uno cerca de Groenlandia y otro en el mar de Wedell, en la Antártida.

Durante la historia de la Tierra, los cambios en la distribución de los continentes, océanos y corrientes han ido generando grandes cambios climáticos, los cuales, a su vez, afectaron al nivel del mar y a la extensión de los océanos. Antes de que el supercontinente de Gondwana se rompiera, en el cretácico, no había casquetes de hielo y el clima era mucho más cálido. En cambio, cuando Gondwana se escindió, los cambios en las corrientes provocaron, entre otras cosas, que el calor no pasara del ecuador a la Antártida, al formarse la corriente Circumpolar Antártica, hecho que permitió que la Antártida se helara y permaneciera helada.

2. Cambios climáticos y cambios en el nivel del mar

El nivel del mar ha ido cambiando durante la historia de la Tierra; incluso llegó a ser más de 400 m más alto que actualmente. Si el agua de mar se calienta, la expansión térmica hace que, por cada grado que aumenta la temperatura del agua de mar, el nivel del mar aumente unos 60 cm.

También en la regulación del nivel del mar es importante el intercambio que hay entre el hielo de los casquetes polares y el mar. La transferencia de agua entre los casquetes polares y el océano puede hacer variar de 100 a 200 m el nivel del mar en pocos miles de años, por ejemplo. La velocidad de expansión del fondo del mar también afecta a su nivel.

Un ejemplo de cambios en el nivel del mar lo encontramos en el propio Mediterráneo: hace 5 millones de años, el mar Mediterráneo se evaporó cuando se cerró el estrecho de Gibraltar; en cambio, hace 21 000 años, como quedó agua en los glaciares después de la última glaciación, el nivel del Mediterráneo era 120 m más bajo que hoy en día; y hace 10 000 años, el agua de deshielo empezó a inundar las plataformas continentales hasta el nivel actual.

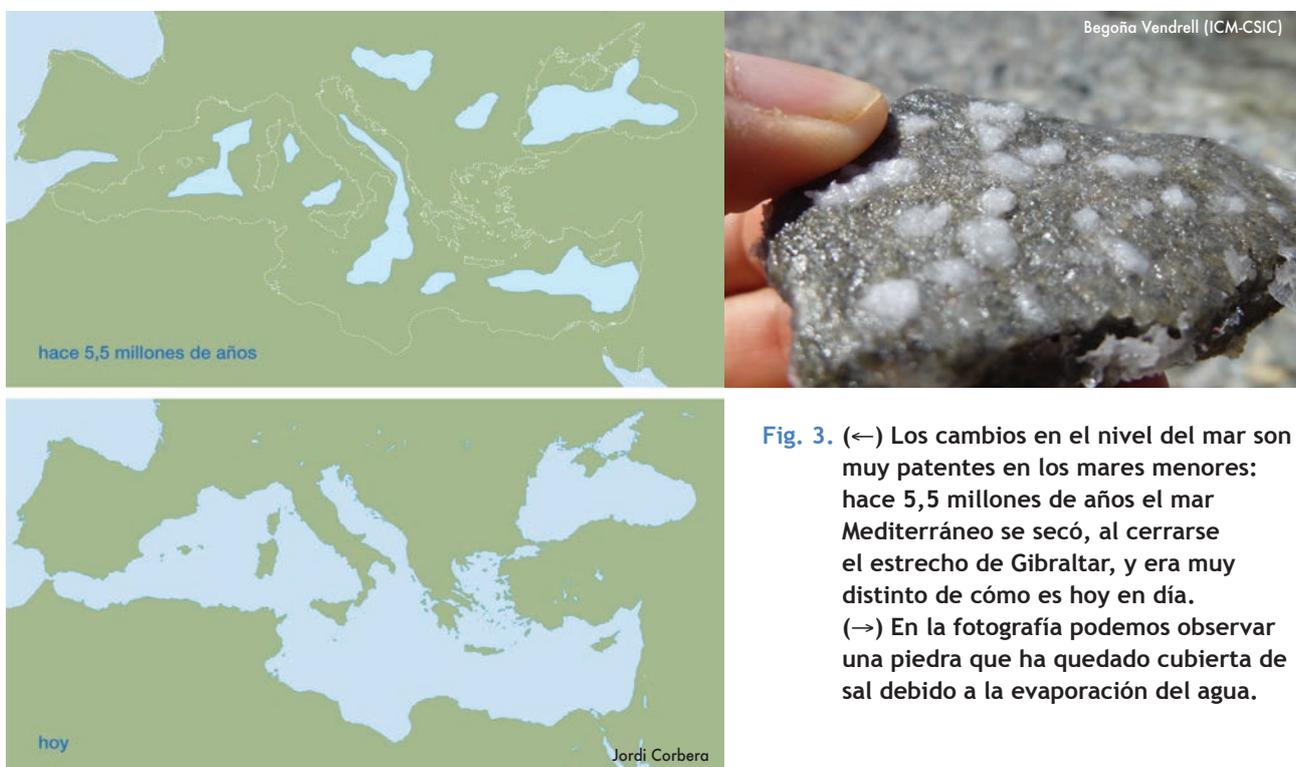


Fig. 3. (←) Los cambios en el nivel del mar son muy patentes en los mares menores: hace 5,5 millones de años el mar Mediterráneo se secó, al cerrarse el estrecho de Gibraltar, y era muy distinto de cómo es hoy en día. (→) En la fotografía podemos observar una piedra que ha quedado cubierta de sal debido a la evaporación del agua.

3. Los océanos como sumideros de carbono

El CO_2 es el principal gas de efecto invernadero implicado en el calentamiento global. El CO_2 de los océanos y de la atmósfera está en equilibrio. El CO_2 atmosférico es depositado en los océanos, tanto en formas disueltas como posteriormente, en parte, dentro de organismos vivos.

El CO_2 se convierte, en parte, en carbonato de calcio de conchas y esqueletos y, cuando los organismos mueren, en sedimentos carbonatados biogénicos. Durante mucho tiempo, los océanos han servido para suavizar el efecto de incremento de CO_2 derivado de las actividades humanas, pero actualmente, la absorción de CO_2 por parte de los océanos está empezando a afectar a su pH,

pues cuanto más CO_2 entra en los océanos, más se acidifica el agua de mar. El efecto del aumento de concentración de CO_2 dentro de los océanos y su consecuente acidificación comporta, además, la disolución de las mismas estructuras carbonatadas.

A esto se le debería sumar el efecto del propio incremento de la temperatura del mar: cuanto más alta es la temperatura, menos gas puede disolverse, con lo cual el aumento de temperatura de las aguas superficiales de los océanos impide el paso de gases atmosféricos hacia el mar.

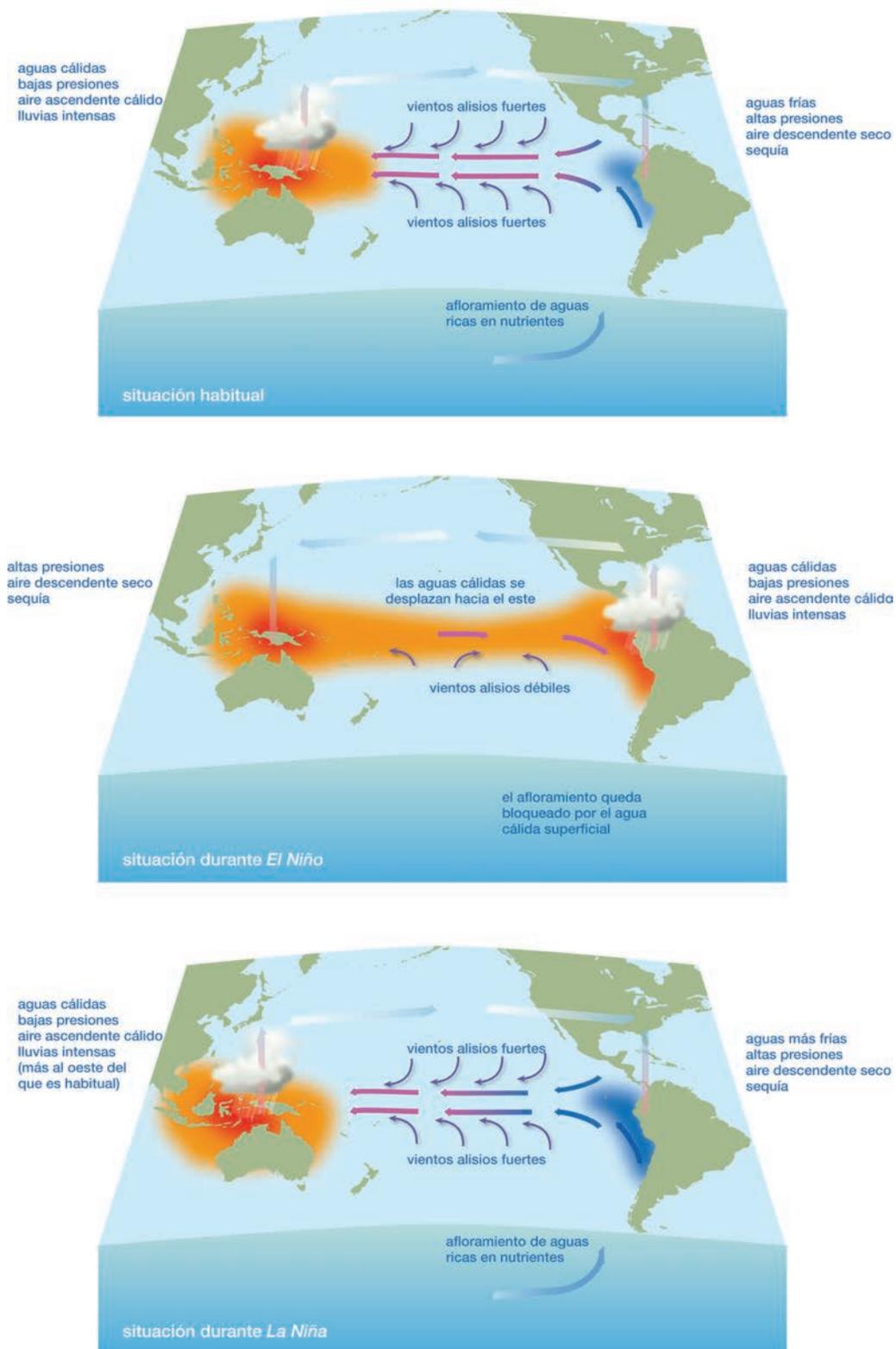
En el fondo del mar también encontramos las denominadas *emanaciones frías*, depósitos de sulfuros de metano u otros hidrocarburos. Si el calentamiento de los mares se acelera, podría suceder que este metano retenido en el fondo del mar se liberase a la atmósfera, con su consecuente potente efecto gas invernadero y el agravamiento del problema climático general.



Fig. 4. Esquema de las distintas fuentes (flechas rojas) y reservorios (flechas verdes) de carbono.

4. El Niño y La Niña

El Niño y La Niña son dos alteraciones climáticas causadas por variaciones no normales del patrón de las temperaturas marinas superficiales, las corrientes oceánicas y los sistemas de presiones. Se dan en el Pacífico tropical, pero tienen repercusiones en otras zonas del Pacífico y en otros lugares del mundo. El Niño y La Niña forman parte de la llamada *oscilación del sur* (conocida en inglés con la sigla ENSO, de *El Niño-Southern Oscillation*). El Niño se produce cuando una corriente cálida (que se crea a veces por Navidad en las costas de Perú) hace que aumente la temperatura en el Pacífico oriental y se reduzca el afloramiento de aguas ricas de la zona. Se trata de un cambio muy amplio de las condiciones oceánicas y atmosféricas que afecta a todo el mundo, no solo a esa



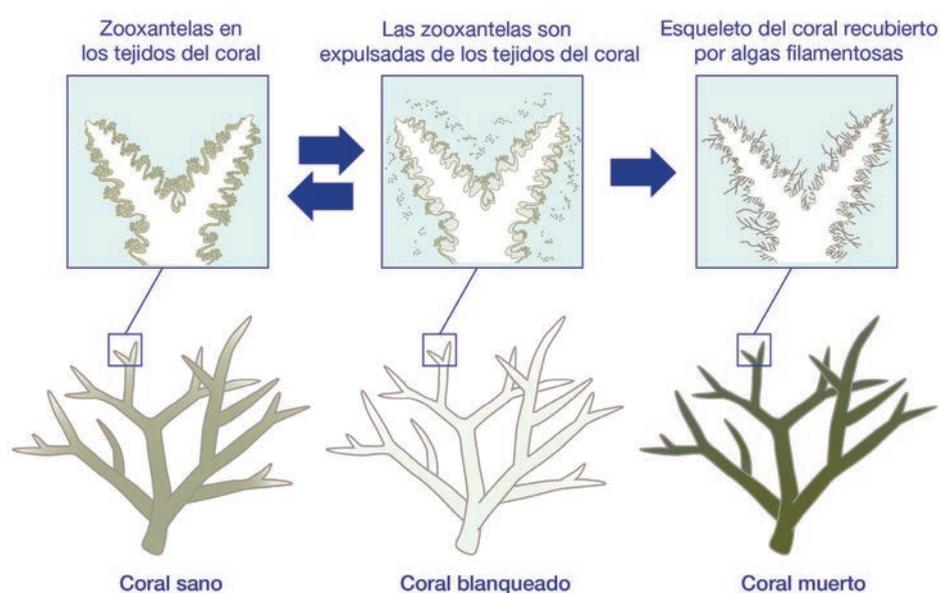
Jordi Corbera

Fig. 5. a) Representación esquemática de las anomalías climáticas El Niño y La Niña, que alteran el patrón de circulación oceánica y atmosférica habitual y tienen graves repercusiones en todo el mundo.

zona. Los episodios duran entre un año y un año y medio, y aunque tienen carácter cíclico, son bastante difíciles de predecir, y sus causas no son del todo conocidas. Durante El Niño, los sistemas de presiones del Pacífico se invierten, y se extiende una zona de agua caliente superficial por todo el Pacífico, que bloquea el afloramiento de aguas frías típico de la zona oeste sudamericana. Durante El Niño hay más tormentas —y son más violentas— en el Pacífico central. Se dan condiciones más húmedas de lo habitual e inundaciones en el oeste de América del Sur, que pueden llegar hasta el sudeste de Estados Unidos. En otras partes del mundo, El Niño crea condiciones más secas, que causan sequías e incendios en el Pacífico occidental, como en Indonesia y Australia, pero también en Brasil y África. La reducción del afloramiento tiene graves impactos en la actividad pesquera. El Niño también provoca una mayor extensión del hielo marino antártico. Se pueden observar los episodios de El Niño en los anillos de crecimiento de los árboles de las zonas afectadas, pues las lluvias intensas favorecen un mayor crecimiento de los árboles en esos lugares.

La temperatura del Pacífico tropical se controla regularmente para detectar cambios, sobre todo con satélites pero también con boyas meteorológicas.

La Niña es una especie de El Niño inverso: las temperaturas son más frías en el este y en el centro del Pacífico ecuatorial, los vientos son más fuertes, los mares están más cálidos en el norte de Australia, y da lugar a lluvias en zonas como la India, el sudeste de Asia y Australia; en cambio, en el sudeste de Estados Unidos la temperatura es más alta y las lluvias son menores. La Niña está asociada a una mayor actividad de huracanes en el Atlántico.



Jordi Corbera

Fig. 6. Esquema del blanqueo del coral: cuando las condiciones externas, como la temperatura, cambian, las algas unicelulares (zooxantelas) son expulsadas de los tejidos del coral, y se produce lo que se conoce como *blanqueo del coral*, que puede conducir eventualmente a la muerte del mismo.

5. Vientos huracanados

Los huracanes y tifones son fenómenos meteorológicos caracterizados por vientos violentos —que se mueven de manera circular sobre los mares—, densas nubes y lluvias.

Empiezan como un sistema de bajas presiones o depresiones sobre los mares cálidos en los trópicos, entre los 5 y los 20 grados de latitud, y aparecen sobre todo a finales de verano. En el Atlántico se denominan *huracanes*; en el Pacífico, *tifones*; y en general también se pueden llamar *tormentas tropicales*. Se forman cuando el Sol calienta una gran superficie del océano y el aire que tiene encima. Esto hace que ascienda mucho aire húmedo, con lo cual se crea una zona de baja presión en superficie, con nubes encima. La baja presión «aspira» aire, que se dirige hacia el centro en espiral creando un viento circular que se va convirtiendo en un viento intenso que es desplazado por los vientos alisios.

Algunos huracanes tienen vientos que alcanzan más de 240 km/hora. Pierden energía cuando llegan a tierra, pues el calor del océano ya no los impulsa. Los huracanes pueden abarcar unos 500 km de diámetro y más de 10 m de altura, y en el centro, el ojo del huracán tiene una zona de calma de baja presión. El viento circular fluye según el efecto

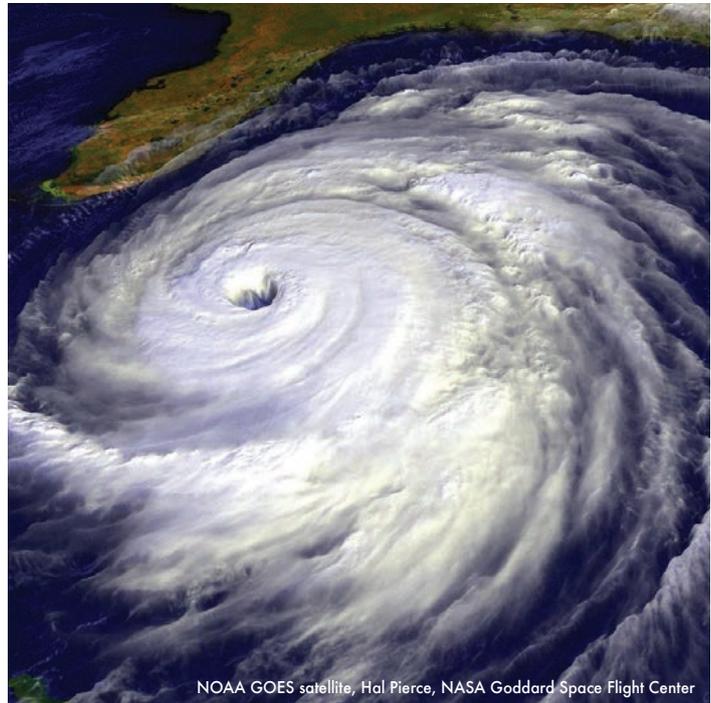


Fig. 7. Fotografía de satélite que muestra el huracán Floyd aproximándose a las costas de Florida en septiembre de 1999; se puede apreciar claramente el ojo o centro del huracán.

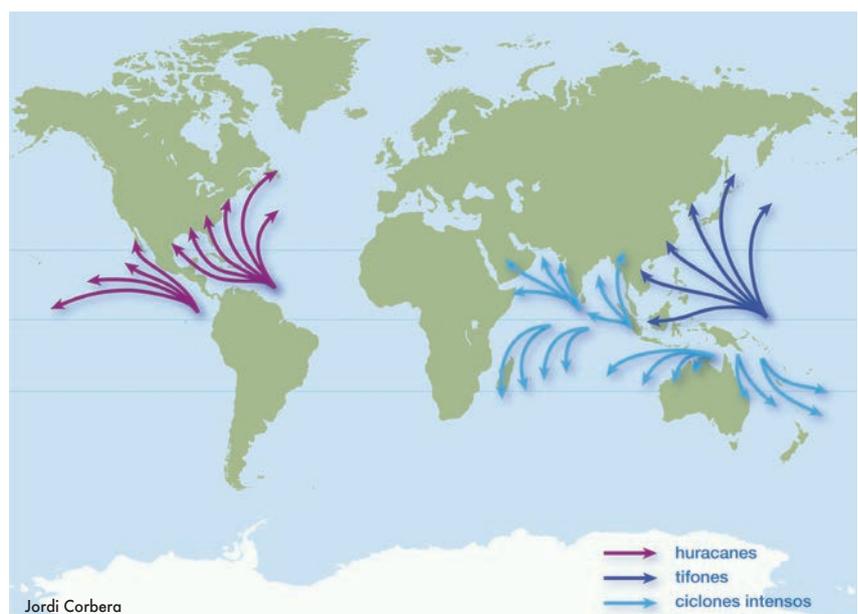
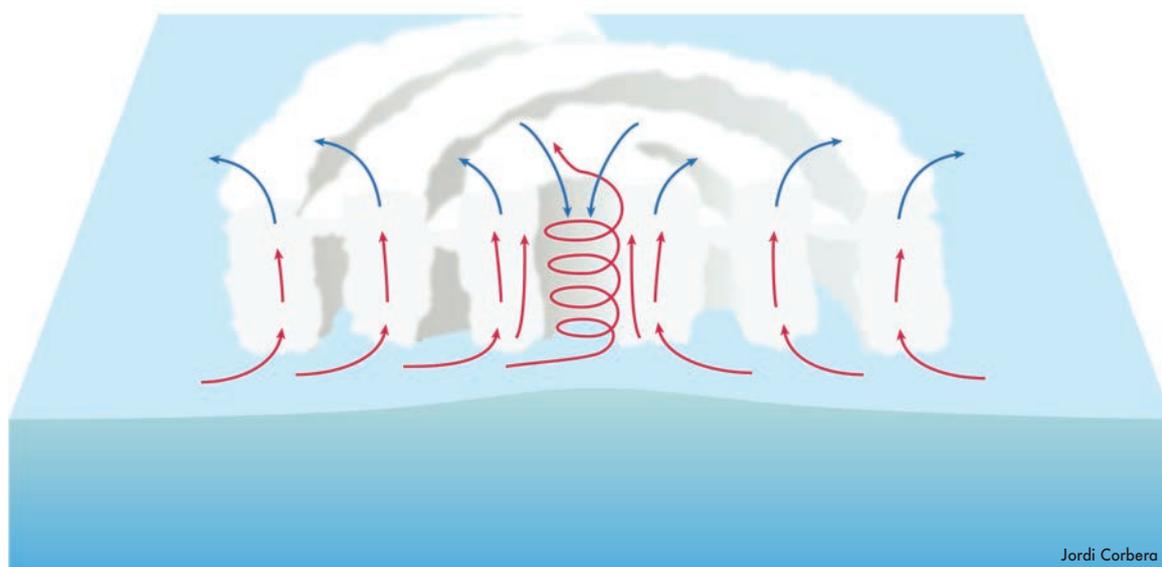


Fig. 8. Esquema de las zonas del planeta con mayor incidencia de huracanes.

Coriolis (en sentido de las agujas del reloj en el hemisferio norte). Hay diferentes sistemas de clasificación de huracanes, según la velocidad del viento y la altura de las olas que provocan, y que sirven para estimar los daños e inundaciones que crearán sobre la costa.

Las trombas marinas son tornados estrechos que se forman sobre el mar. El huracán, cuando avanza sobre el mar, carga agua y, al llegar a la costa, la descarga sobre la tierra, de manera que puede inundar numerosos lugares y provocar grandes destrozos, además de los que pueden provocar los fuertes vientos.



Jordi Corbera

| categoria | velocidad del viento (km/h) | altura del oleaje (m) |
|------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| tormenta tropical | 63-118 | 1-1,5 |
| huracán de categoría 1 | 119-153 | 1,5-2 |
| huracán de categoría 2 | 154-177 | 2-3,5 |
| huracán de categoría 3 | 178-209 | 3,5-4,5 |
| huracán de categoría 4 | 210-249 | 4,5-6 |
| huracán de categoría 5 | >249 | 6,7-7,5 |

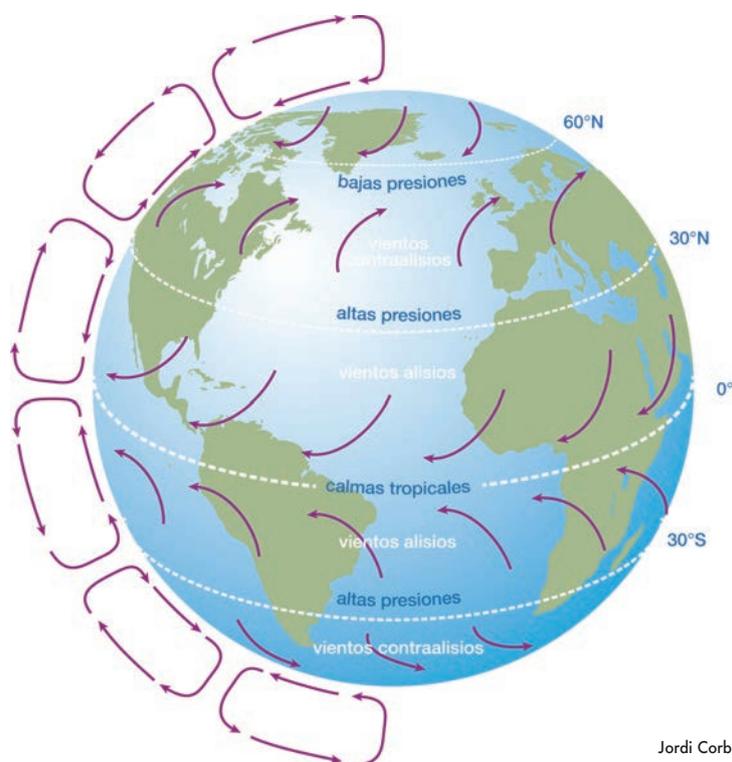
Fig. 9. Representación de la estructura de un huracán, en la que podemos ver cómo el aire caliente se eleva (flechas rojas) y deja una zona de bajas presiones que crea una zona central donde el aire sube en espiral (ojo del huracán). (↓) Tabla de la clasificación de los huracanes en función de la velocidad del viento y la altura de las olas que provocan.

6. Vientos oceánicos

El patrón de vientos sobre los océanos viene dado por el calentamiento de la atmósfera a causa de los rayos solares y por la rotación de la Tierra. Este patrón más general es modificado por las zonas de altas y bajas presiones que se desplazan sobre la superficie de los mares y océanos.

El aire circula en el planeta en tres series de bucles gigantes denominados *células atmosféricas*. Estas células hacen que el aire se desplace en dirección norte-sur, pero esto se ve alterado por el efecto Coriolis, que es consecuencia del movimiento de rotación de la Tierra (se desvía un poco hacia el este cuando se aleja del ecuador y hacia el oeste cuando se acerca). El efecto Coriolis es una fuerza aparente (es ficticio). Los vientos creados por diferencias de presión y modificados por el efecto Coriolis se denominan *vientos dominantes*.

En las zonas de los trópicos, los vientos predominantes de superficie y que van de este a oeste, con cierta desviación, se llaman *vientos alisios*. Históricamente, los navegantes los habían empleado para navegar por el Atlántico ya desde el siglo xv. Estos vientos son a menudo portadores de tormentas tropicales. En el hemisferio sur, los vientos contralisios soplan de oeste a este sin tocar



Jordi Corbera

Fig. 10. Esquema de la circulación atmosférica global, en el que se pueden apreciar las grandes células atmosféricas (tres en cada hemisferio) y la dirección de los vientos predominantes en cada zona.

tierra, y hacia la latitud de 40° cogen tanta fuerza que en esas zonas se los denomina *rugientes cuarenta*.

En las zonas del mar donde desciende el aire, se forma un área de altas presiones, o anticiclón; en cambio, en las zonas del mar donde asciende el aire, se forman ciclones. Estas áreas de presiones distintas crean los grandes patrones de los vientos circulantes, que están en constante desplazamiento. En el hemisferio norte, el aire se mueve alrededor de los anticiclones en el sentido de las manecillas del reloj, mientras que alrededor de los ciclones lo hace al revés; en el hemisferio sur, en cambio, sucede todo lo contrario.

Los sistemas de presiones locales pueden afectar al patrón general de vientos dominantes.

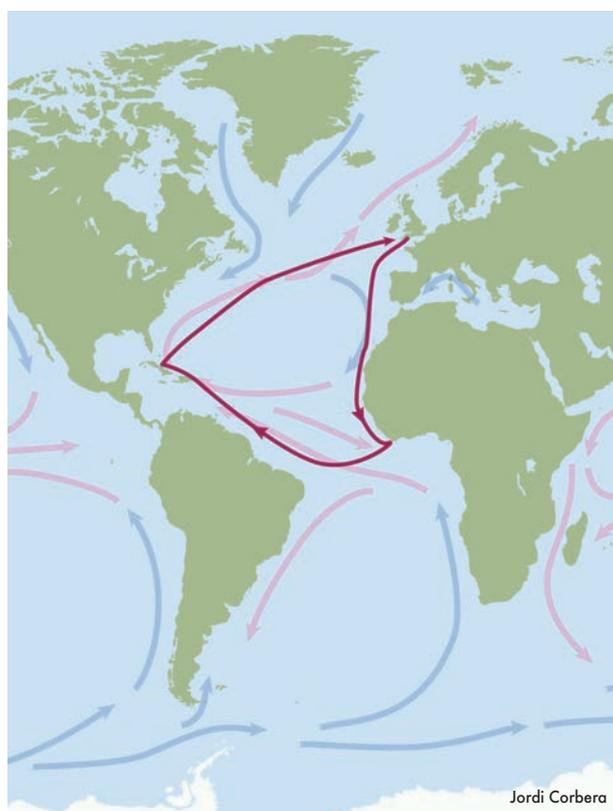


Fig. 11. Las regatas oceánicas recorren grandes distancias en aguas de los océanos. Para navegar, trabajan con modelos de predicción meteorológica que reciben a bordo vía satélite y que deben saber interpretar, ya que son imprescindibles para orientarse durante la competición.

7. Brisas marinas

Los vientos locales, llamados *brisas de mar y tierra* o *brisas marinas*, se originan cerca de la costa, sobre todo en lugares cálidos, y se forman durante el día porque la tierra se calienta más rápidamente que el mar. Esto es debido a que el mar absorbe grandes cantidades de energía térmica con tan solo un pequeño aumento de temperatura, pero, en cambio, en el aire esto produce un rápido aumento de la temperatura. Cuando la tierra se calienta, transfiere calor al aire que tiene encima; entonces este aire caliente asciende y el aire más frío del mar ocupa su lugar. Por la tarde y por la noche ocurre lo contrario: la tierra se enfría con rapidez, pero el mar se mantiene cálido y sigue calentando el aire que tiene encima, que, al ascender, aspira el aire frío de tierra y genera la brisa de tierra.

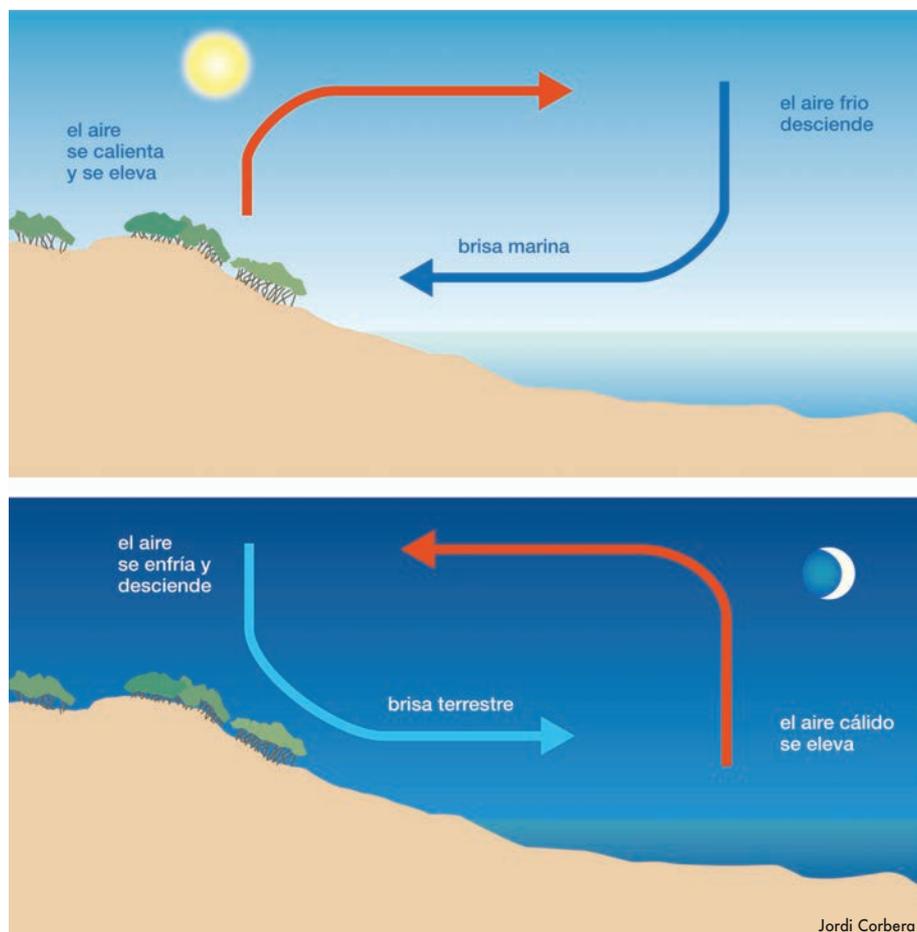
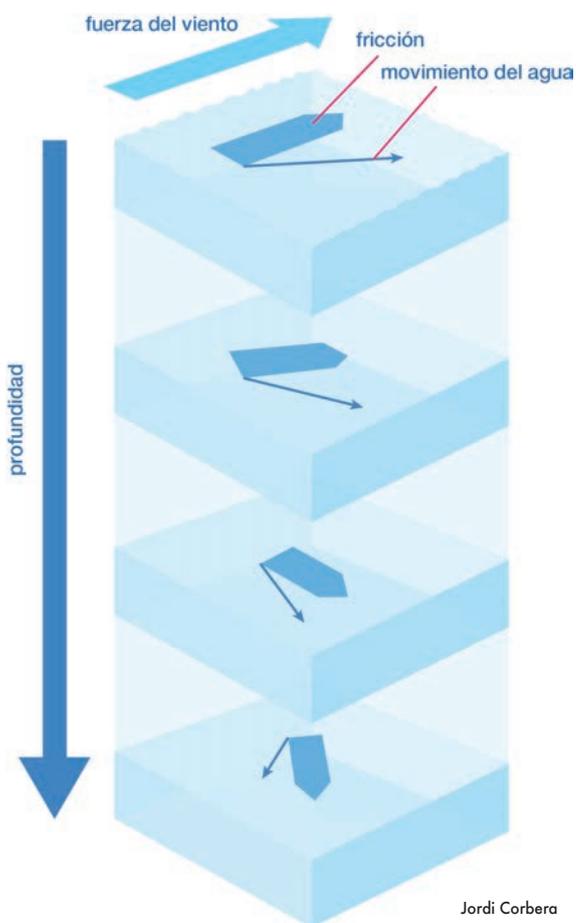


Fig. 12. Representación esquemática de la formación de la brisa marina durante el día y de la brisa de tierra durante la noche.

8. Corrientes superficiales

Las corrientes superficiales transportan calor desde el ecuador hacia los polos y afectan al clima mundial, además de a la navegación y la pesca. Cuando el viento sopla sobre el mar, impulsa las aguas superficiales creando una corriente. Pero esta agua no se desplaza exactamente en la dirección del viento, sino que lo hace con un cierto ángulo, determinado en parte por la fricción (el modelo teórico de Ekman explica este fenómeno). La combinación de vientos dominantes y el transporte de Ekman genera giros oceánicos, que son sistemas de corrientes circulares a gran escala, y de los cuales hay cinco en el mundo. Cada giro está compuesto de diferentes corrientes, todas con nombre propio. Las corrientes que se forman en el límite occidental de los giros, como la del Golfo, son fuertes, estrechas y cálidas. Las corrientes del límite oriental son más débiles, anchas y frías y retornan agua hacia los trópicos. Donde convergen las corrientes cálidas y las frías, se suelen crear zonas de turbulencia y zonas de afloramiento de agua rica en nutrientes.

El viento también crea otros tipos de circulación superficial impulsados por el viento, como las celdas de Langmuir. Se trata de largos vórtices cilíndricos de agua alineadas en la dirección del viento, y cada uno de ellos gira en sentido opuesto al de su vecino. Las zonas entre celdas adyacentes, donde converge el agua, son visibles en la superficie del mar como blancas líneas de espuma.



Jordi Corbera

Fig. 13. Esquema del transporte de Ekman: las masas de agua se desplazan con un cierto ángulo respecto a la dirección del viento.



Jordi Corbera



JM Gili (ICM-CSIC)

Fig. 14. (←) Representación esquemática de las celdas de Langmuir. (→) En superficie, estas celdas forman bandas espumosas alineadas en la dirección del viento.

El calentamiento global podría dar lugar a un descenso brusco de la temperatura en el oeste de Europa y en parte de América del Norte. Esto se debería al corte de la denominada *cinta transportadora del Atlántico*, la cual actualmente mantiene cálida Europa. En la zona polar, el agua cálida se hunde al enfriarse y ser más salada, de forma que viaja por el fondo marino hacia el ecuador. Actualmente, si el calentamiento funde el hielo ártico, el agua dulce de las zonas boreales se incrementa. Esta agua dulce es menos densa, con lo cual es probable que ya no se hunda y, por tanto, puede provocar que la cinta transportadora del Atlántico interrumpa su circulación. Si esto ocurriera, la temperatura media de Europa caería en picado.

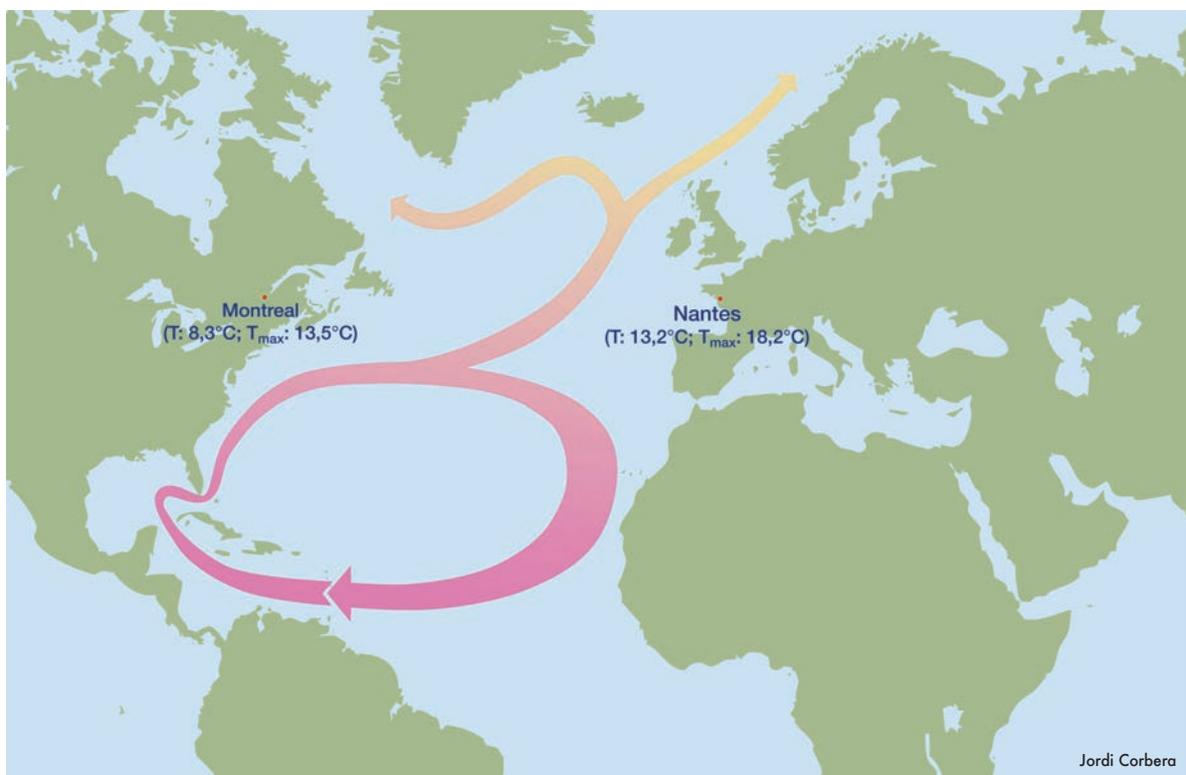


Fig. 15. Representación esquemática de la circulación actual de la corriente del Golfo que, con el brazo que se extiende hacia el Atlántico Norte, da a Europa un clima más cálido del que tendría si no existiera o si se interrumpiera.

9. Evaporación y precipitación

Cada año se evapora mucha agua de mar, de la cual casi toda retorna al mar en forma de precipitaciones, y el resto es transportado hacia tierra como humedad y nubes. La evaporación es más intensa en los trópicos. Las precipitaciones abundan cerca del ecuador y entre las latitudes 45° y 70° en los dos hemisferios. El agua que se pierde por evaporación se compensa con la llegada de aguas que retornan desde los continentes.

10. Meteorología

La meteorología es una ciencia pluridisciplinaria que estudia el estado del tiempo, el medio atmosférico. Esto incluye también los fenómenos que se producen entre la atmósfera y la hidrosfera y la litosfera. El tiempo atmosférico se refiere a las condiciones más o menos actuales del medio atmosférico, las cuales, si comprenden un periodo de tiempo mucho más largo, conforman el clima de ese lugar. Es decir, la meteorología proporciona datos para el estudio del clima o la climatología. La información meteorológica se emplea para definir el clima, pero también para predecir el tiempo, y comprender la relación entre la atmósfera y otros compartimentos terrestres. Conocer la meteorología local es importante de cara a las actividades agrícolas, pesqueras y de navegación y para la vida cotidiana en general.

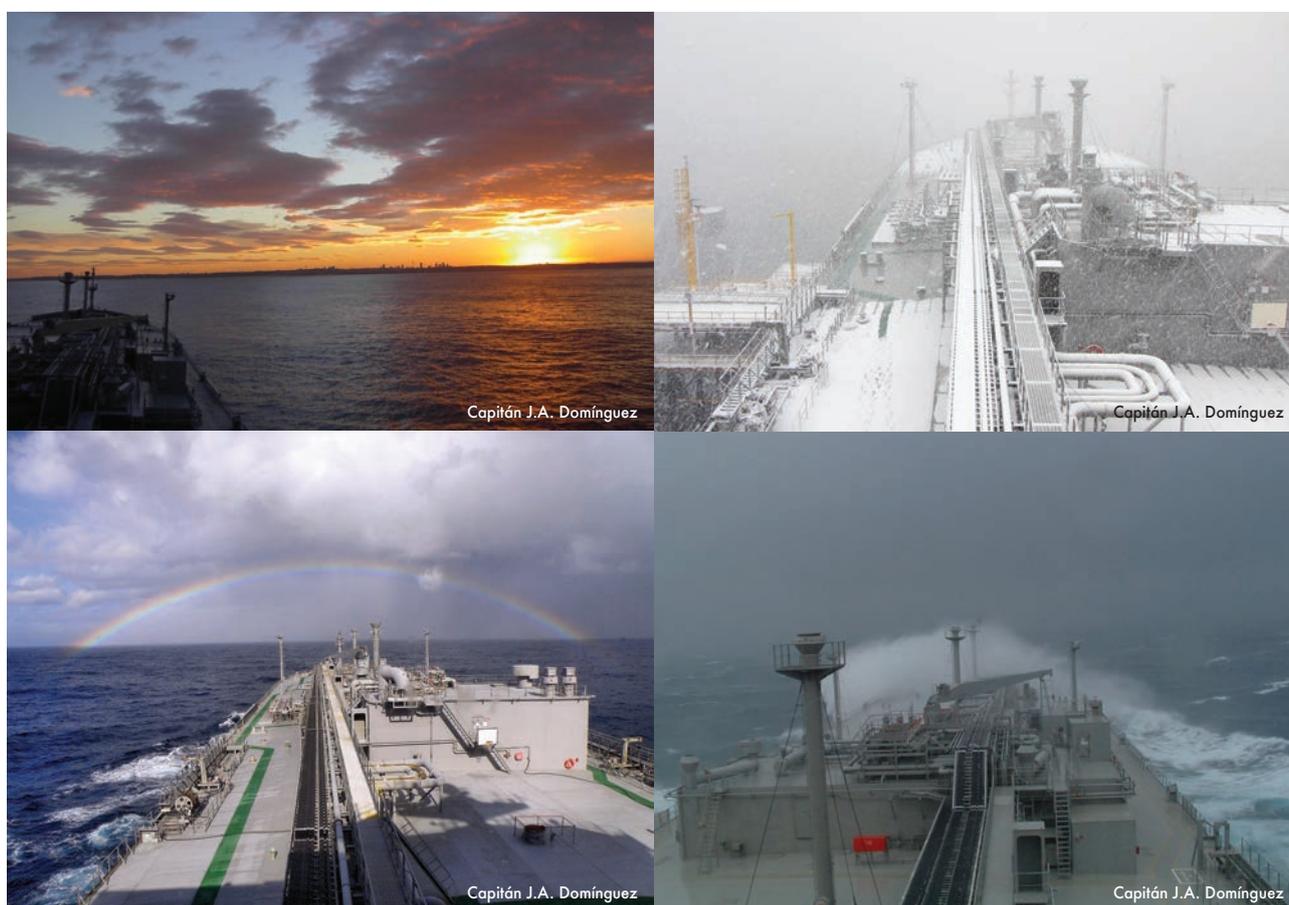


Fig. 16. Fotografía de distintas situaciones climáticas que pueden darse durante la navegación.

La meteorología incluye, por tanto, el estudio de las variaciones diarias de las condiciones atmosféricas, de los movimientos en la atmósfera y su evolución temporal, de la estructura y composición de la atmósfera, así como de sus propiedades físicas y químicas.

Es especialmente relevante el estudio del agua atmosférica, tanto en sus formas acuosa y sólida, como gaseosa, y los fenómenos que rigen sus cambios de estado. Igualmente importante en meteorología es el estudio de los movimientos de las masas de aire y de sus implicaciones.

Para el estudio meteorológico se suelen emplear los datos provenientes de estaciones meteorológicas, generalmente equipadas con distintos instrumentos de medida, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- anemómetro (para medir la velocidad del viento);
- veleta (para señalar la dirección del viento);
- barómetro (para medir la presión atmosférica);
- heliógrafo (para medir la insolación recibida en superficie o las horas de luz solar);
- higrómetro o psicrómetro (para medir la humedad relativa o el contenido de vapor de agua en el aire);
- piranómetro (para medir la radiación solar global, directa y difusa);
- pluviómetro (para medir el agua caída sobre la superficie);
- termómetro (para medir la temperatura);
- nefobasímetro (para medir la altura de las nubes en ese lugar);
- evaporímetro (para medir la evaporación).

Todos estos instrumentos suelen estar protegidos dentro de una caseta bien ventilada.

Los datos recogidos en las estaciones meteorológicas se pueden combinar con datos de satélites que supervisan el tiempo atmosférico y que avisan de fenómenos como incendios, contaminación, auroras, tormentas de arena y polvo, corrientes oceánicas, el estado y color de la mar, etc.

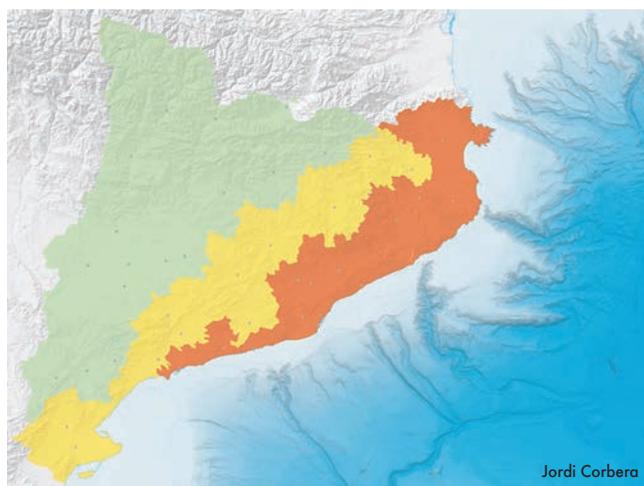
10.1. La previsión del tiempo

Los datos provenientes de numerosas estaciones meteorológicas de todo el territorio llegan a los servicios regionales, que se encargan de procesarlos. De esta manera, después de analizar los diferentes datos, se intentan hacer previsiones sobre el tiempo que hará en los próximos días. Aunque parezca fácil predecir el tiempo que hará, hay que tener en cuenta que la atmósfera es una masa inmensa sobre la cual influyen numerosos factores que son difíciles de controlar o medir, de manera que las condiciones pueden cambiar con facilidad. De hecho, esto forma parte del carácter caótico determinista del tiempo atmosférico, descrito por Edward Lorenz; este comportamiento caótico determinista permite predicciones a corto plazo, pero no a largo plazo.

Prever el tiempo atmosférico es especialmente vital para la navegación y, por tanto, para las actividades relacionadas con el mar, ya sean actividades de ocio, de pesca profesional, científicas o de otro tipo. De hecho, los barcos oceanográficos suelen estar constantemente en contacto con los servicios meteorológicos de sus países, o incluso incluyen meteorólogos en su tripulación para que realicen predicciones micrometeorológicas que permitan una mejor navegación y un mejor trabajo a bordo de los barcos.

10.2. Situación meteorológica de peligro

Cuando se superan los umbrales específicos para cada medida, se considera que se está en una situación meteorológica de peligro. Cuando se da una situación de estas, se asigna un grado de peligro, habitualmente basado en una escala numérica y/o de color. Al menos durante unos días, se realiza un seguimiento de la situación por si hace falta tomar medidas preventivas (p. ej., desalojar un lugar poblado).



| viento (km/h) | | temperatura (°C) | | | | | | | | |
|---------------|------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 0 | 10 | 5 | 0 | -5 | -10 | -15 | -20 | -25 | -30 | -35 |
| 16 | 5 | 2,5 | -7,5 | -12,5 | -17,5 | -25 | -32,5 | -37,5 | -45 | -50 |
| 32 | 0 | -7,5 | -12,5 | -22,5 | -25 | -35 | -42,5 | -50 | -57,5 | -65 |
| 48 | -2,5 | -10 | -17,5 | -25 | -32,5 | -40 | -47,5 | -55 | -62,5 | -72,5 |
| 64 | -2,5 | -10 | -20 | -27,5 | -35 | -42,5 | -50 | -60 | -65 | -75 |

PELIGROSO

MUY PELIGROSO

EXTREMADAMENTE PELIGROSO



Fig. 17. Tabla de los umbrales establecidos en Cataluña para determinar el grado de peligro de las situaciones meteorológicas de riesgo. El levante (un viento fuerte y húmedo procedente del este) afecta especialmente al estado de la mar y provoca situaciones de riesgo en el litoral catalán, sobre todo durante el otoño y a principios de invierno; en la costa, el fuerte oleaje puede provocar importantes daños en las construcciones litorales.

10.3. Datos oceanográficos

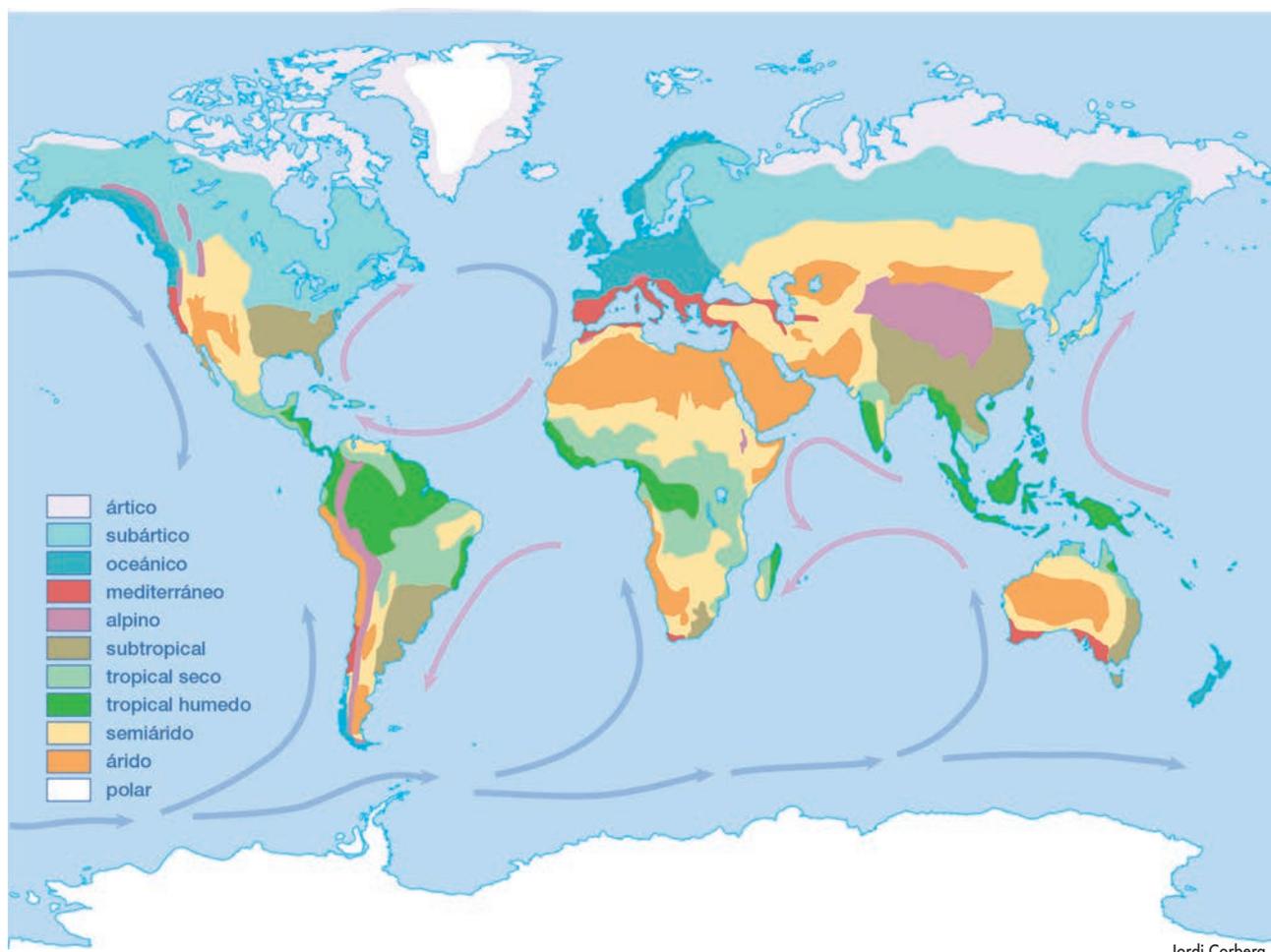
La temperatura del mar, la presión atmosférica, las nubes, la fuerza y dirección del viento, el estado del mar, la turbidez del agua o la profundidad de la capa fótica son algunos de los parámetros que nos ayudan a entender la dinámica marina. En el mar es difícil establecer estaciones meteorológicas como las que podemos encontrar en tierra. Por ello se suele hacer uso de instrumentos anclados en boyas oceanográficas, que toman datos automáticamente de algunos de los parámetros ambientales marinos. Conocer los datos oceanográficos es útil, también, en los estudios de biología marina, ya que numerosos procesos biológicos y ecológicos acontecen dependiendo de las condiciones ambientales que haya; así, por ejemplo, las aguas muy removidas dificultan la proliferación de plancton, o el incremento de temperatura puede favorecer el desarrollo de algunos organismos marinos.

11. Tiempo y clima

Entender la diferencia entre tiempo atmosférico y clima es necesario para entender fenómenos como el cambio climático. El tiempo atmosférico es el conjunto de condiciones atmosféricas que experimentamos diariamente, como la temperatura, la precipitación, el viento, la humedad. El clima es el promedio a largo plazo del tiempo atmosférico, entendiéndose como largo plazo un tiempo no inferior a 30 años. La climatología es la ciencia que estudia las condiciones del tiempo meteorológico en periodos de tiempo muy largos en diferentes regiones y permite establecer una clasificación de los grandes climas terrestres: ecuatorial, tropical, mediterráneo, oceánico, subtropical, árido, continental, polar, montañoso y monzónico.

El clima varía de manera natural tanto a pequeña como a gran escala de tiempo. La variabilidad del clima responde a procesos atmosféricos y a interacciones entre la atmósfera, los océanos y la tierra. El cambio climático responde a modificaciones que tienen lugar desde décadas hasta millones de años. Los impactos de los cambios climáticos se pueden notar como modificaciones en la variabilidad del clima (p. ej., si el clima se hace más cálido, quizá haya más frecuencia de fenómenos como los de El Niño).

Debe tenerse en cuenta que, desde 1900, la temperatura de la atmósfera y de los océanos ha ido aumentando. Hay dos mecanismos que relacionan el aumento de la temperatura con la subida del nivel del mar: por un lado, el deshielo de los glaciares y de los casquetes polares, que aumenta la cantidad de agua de los océanos; y, por otro, la expansión del agua cuando se calienta. Los modelos prevén que, a finales del siglo XXI, el nivel del mar se habrá elevado entre 110 y 880 mm, lo que conllevará la migración de millones de habitantes de zonas costeras y será catastrófico para algunos lugares someros. Si el calentamiento global provocara el deshielo de Groenlandia, el mar subiría 6 m más y se inundarían la mayoría de las ciudades costeras del mundo.



Jordi Corbera

Fig. 18. Distribución de los grandes climas mundiales en tierras emergidas. La circulación oceánica y la interacción entre atmósfera e hidrosfera influyen enormemente en el clima de un determinado lugar.

12. Relación con parámetros biológicos

Cuando se estudian los organismos marinos y los ecosistemas marinos, es importante conocer tanto el tiempo atmosférico como los datos oceanográficos. Numerosas variables ambientales que tienen cierta ciclicidad influyen en los procesos biológicos que tienen lugar dentro del mar. Por ejemplo, en mares templados, como el Mediterráneo, los ecosistemas marinos responden a variables ambientales de las cuatro estaciones del año. De esta manera, se observan distintas sucesiones ecológicas, por ejemplo, en función de la época del año (predominarán unos organismos u otros, o ciertos estadios del ciclo vital de otros organismos). En cambio, en ambientes polares, la vida marina está adaptada a las condiciones que encuentra allí, como, por ejemplo, la formación y fusión del hielo marino. La atmósfera y el mar interactúan constantemente, y de esta

interacción acontecen numerosos procesos que afectan a la vida marina. Por ejemplo, durante el verano, en numerosos lugares de zonas templadas se puede encontrar una fuerte estratificación de las aguas por efecto del mayor calentamiento de las capas superficiales. Esto crea «capas» dentro del mar, y zonas de transición entre estas, como sería la llamada *termoclina*. En otoño, el viento y las tormentas empiezan a agitar el agua del mar y, cuando tienen la fuerza suficiente, llegan a romper la termoclina. Esto tiene efectos sobre los organismos del plancton: con la termoclina bien formada ya entrado el verano, muchos organismos permanecerán solo en las capas superficiales, donde pueden llegar a sufrir una falta de nutrientes (si estos no llegan por transporte lateral o por el viento); cuando se rompe la termoclina, se «renueva» el agua superficial, de manera que suben nutrientes a la vez que aumenta la turbulencia, lo cual hará que probablemente se desarrolle otra comunidad biológica.

Conocer los fenómenos meteorológicos y los datos oceanográficos permite, por tanto, predecir en cierta manera aquello que puede pasar en las comunidades biológicas marinas.

II. Posibilidades de estudio

La actividad propuesta permite tratar de primera mano el tiempo atmosférico, tomando datos del mismo, y abordar, por tanto, todos los temas estrechamente relacionados con él (precipitaciones, evaporación, humedad, formación de nubes, etc.). Asimismo permite tratar temas de oceanografía física, relativos al tiempo atmosférico en el mar y a las corrientes marinas; y, a la vez, relacionar el tiempo atmosférico local con el clima, así como comparar el tiempo actual con datos de tiempos pasados e intentar averiguar si los patrones anuales reflejan cambios graduales.

Algunas de las preguntas que pueden plantearse son:

- ¿A qué tipo de clima corresponde el tiempo atmosférico que medimos?
- Si comparamos nuestros datos con datos locales pasados, ¿podemos observar alguna tendencia? ¿Podemos llegar a hablar de cambio climático? ¿Qué otros datos pueden ayudarnos en esta tarea?
- ¿Cómo se relaciona el tiempo atmosférico con los fenómenos que ocurren en el mar?
- ¿Podemos observar cambios estacionales en el mar según los datos recogidos? ¿Cómo pueden afectar estos cambios (si los hay) a la vida marina?
- ¿Hemos observado alguna situación meteorológica de riesgo durante el tiempo experimental?

III. Material y métodos

1. Construcción de la estación meteorológica manual

Hay varios aparatos de medida que podemos fabricar manualmente; asimismo es aconsejable tener a mano otras herramientas.

1.1. Aparatos y medidas relacionadas con el viento

1.1.1. Espejo de nubes

Permite saber en qué sentido el viento se lleva las nubes, o de dónde vienen estas.

Material

- Trozo de espejo
- Rotulador indeleble
- Brújula

Procedimiento

Dibujad una rosa de los vientos sobre el trozo de espejo con el rotulador.

Poned este espejo plano en un lugar al aire libre, orientándolo hacia el norte con la ayuda de la brújula.

Mirad hacia dónde van las nubes y apuntadlo.

También podéis analizar las formas de las nubes y tomar nota de vuestras observaciones.

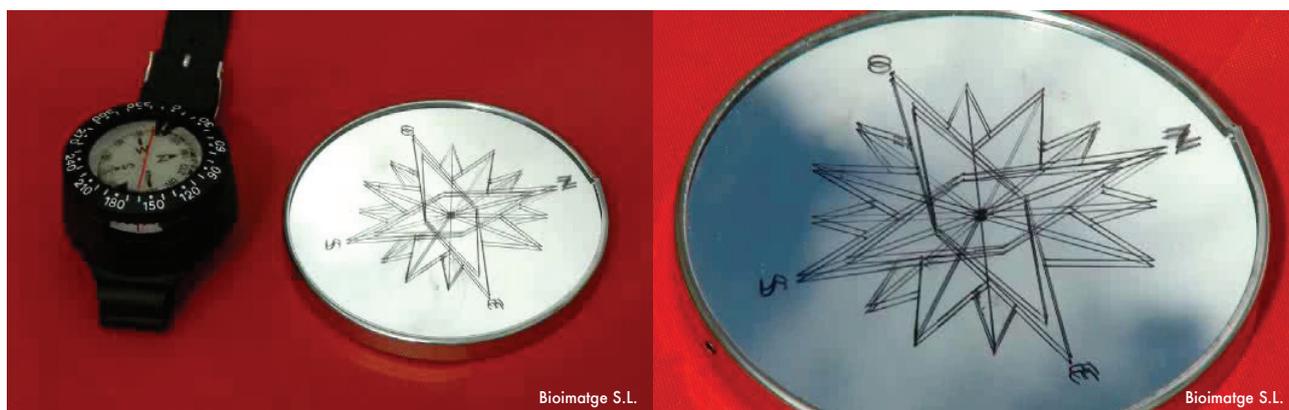


Fig. 19. Espejo de nubes y brújula. Orientado correctamente, indica la dirección en la que se mueven las nubes.

Tipos de nubes:

- Cirros: en forma de penachos y filamentos, ligeros, brillantes; muy altos.
- Cúmulos: blancos, de base plana y parte superior rizada; cambian de aspecto rápidamente.
- Estratos: similares a una neblina; todo el cielo parece gris.
- Cumulonimbos: gran cúmulo con base oscura.
- Cirroestratos: lechosos; forman una especie de halo alrededor de la Luna y del Sol.
- Cirrocúmulos: formas globulares, pequeñas y muy blancas.
- Altocúmulos: masas globulares que dan al cielo aspecto rizado.
- Altoestratos: forman un velo gris plomo que la luz del sol atraviesa.
- Estratocúmulos: con aspecto de cojines estrechos y regulares.
- Nimboestratos: en capas uniformes, sin forma precisa y base rugosa sobre fondo oscuro.



Jordi Corbera

Fig. 20. Esquema de los distintos tipos de nubes: A) cirros, B) cúmulos, C) estratos, D) cumulonimbos, E) cirroestratos, F) cirrocúmulos, G) altoestratos y H) nimboestratos.

1.1.2. Escala para medir la fuerza del viento

La medida empírica para la intensidad del viento se lee en la escala de Beaufort, basada sobre todo en el estado del mar, de las olas y la fuerza del viento; es la siguiente:

| observación | designación | velocidad (km/h) | fuerza (escala Beaufort) |
|-----------------------------|-------------------|------------------|--------------------------|
| humo vertical | calma o ventolina | 0-5 | 0-1 |
| las hojas se agitan | brisa floja | 5-20 | 2-3 |
| las ramas se mueven | brisa fresca | 20-40 | 4-5 |
| las copas se balancean | brisa fuerte | 40-50 | 6 |
| todos los árboles se mueven | viento fuerte | 50-60 | 7 |
| las ramas se rompen | viento duro | 60-90 | 8-9 |
| caen árboles | temporal | 90-115 | 10-11 |
| daños graves | huracán | >115 | 12 |

Fig. 21. Tabla de la escala de medida de la fuerza del viento según la escala de Beaufort

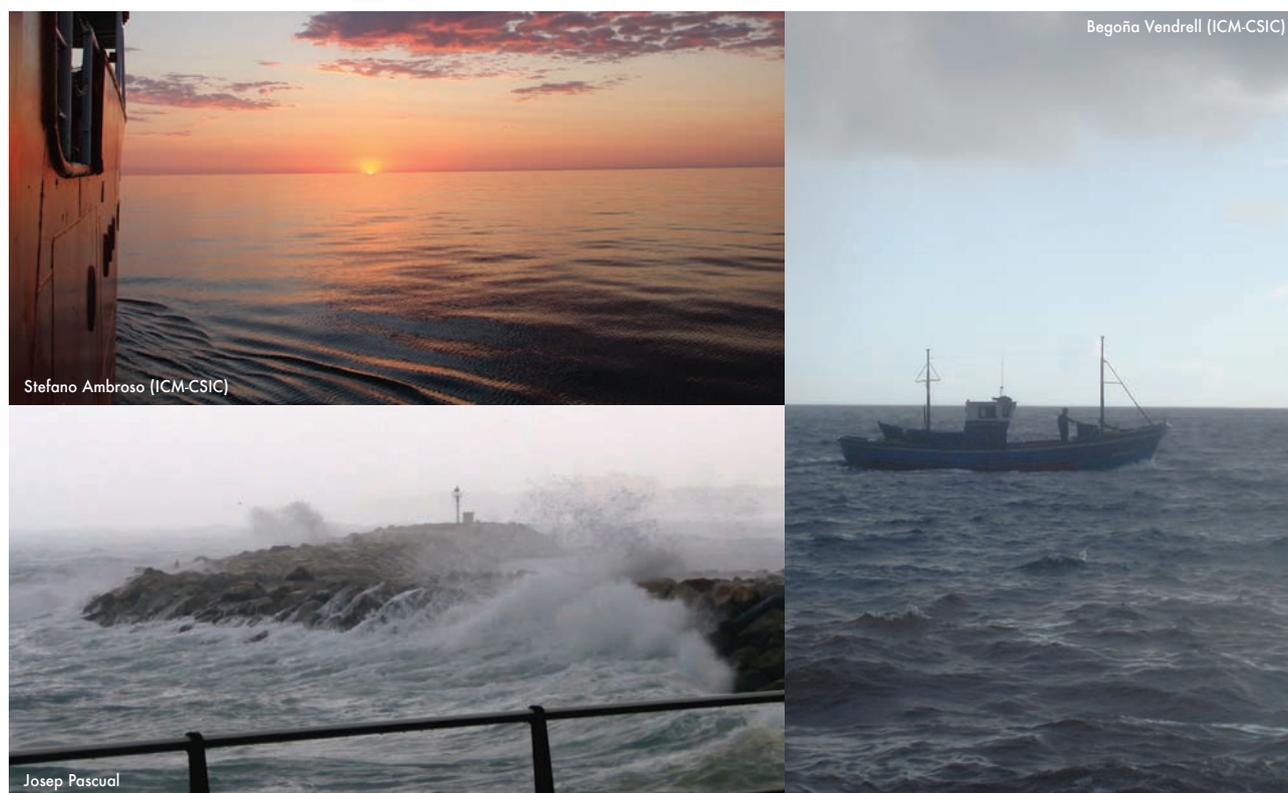


Fig. 22. Situaciones meteorológicas correspondientes a distintos grados en la escala de Beaufort: (↑) mar en calma (fuerza 0-1), (→) mar rizada (fuerza 4-5) y (←) mala mar (fuerza 7).

Según la fuerza del viento, nuestro cuerpo tiene una sensación térmica diferente. Así, por ejemplo, si la temperatura es de 10 °C y no sopla viento, nuestra sensación térmica es de 10 °C; en cambio, si a la misma temperatura sopla un viento de 20 km/h, nuestra sensación térmica es de unos 4 °C, y si el viento es de 40 km/h, es de 0 °C.

| temperatura (°C) sin viento | temperatura (°C) con viento de 20 km/h | temperatura (°C) con viento de 40 km/h |
|--------------------------------|---|---|
| 10 | 2,5 | 0 |
| 5 | -5 | -7,5 |
| 0 | -10 | -15 |
| -5 | -17,5 | -22,5 |
| -10 | -25 | -30 |
| -15 | -32,5 | -37,5 |

Fig. 23. Tabla de la sensación térmica corporal según la fuerza del viento.

1.1.3. Veleta

Permite medir la dirección del viento.

Material

- Carrete de hilo
- Lata de refresco
- Varilla
- Palo recto y macizo (p. ej., como el de una escoba de madera)
- Clavo
- 3 tornillos con sus tuercas
- Alambre
- Cúter
- Tijeras
- Guantes
- Brújula
- Cinta adhesiva de colores

Procedimiento

Clavad con fuerza en el suelo una varilla recta, de uno o dos metros de altura.

Para preparar la parte «fija» de la veleta, moldead el alambre de forma que, en cada extremo, se lea la inicial del punto cardinal. Verificad la orientación con la brújula. Esta parte fija debe quedar situada a unos 50-80 cm de la varilla.

Para construir la parte «móvil» de la veleta, clavad un clavo en la parte superior del palo, que será el mástil. Cortad la lata de refresco (usad los guantes porque podríais cortaros) y diseñad, con ella, dos flechas de latón. Fijad, mediante los tornillos y las tuercas, una flecha de latón a cada lado del carrete de hilo, de manera que el carrete de hilo quede entre medio de ambas flechas (más o menos a la altura de la parte media de las flechas). Poned el carrete de hilo (con las flechas de latón fijadas) sobre el clavo. Dejad que gire libremente.

Finalmente, adornad el palo de madera con cintas adhesivas de colores (opcional).

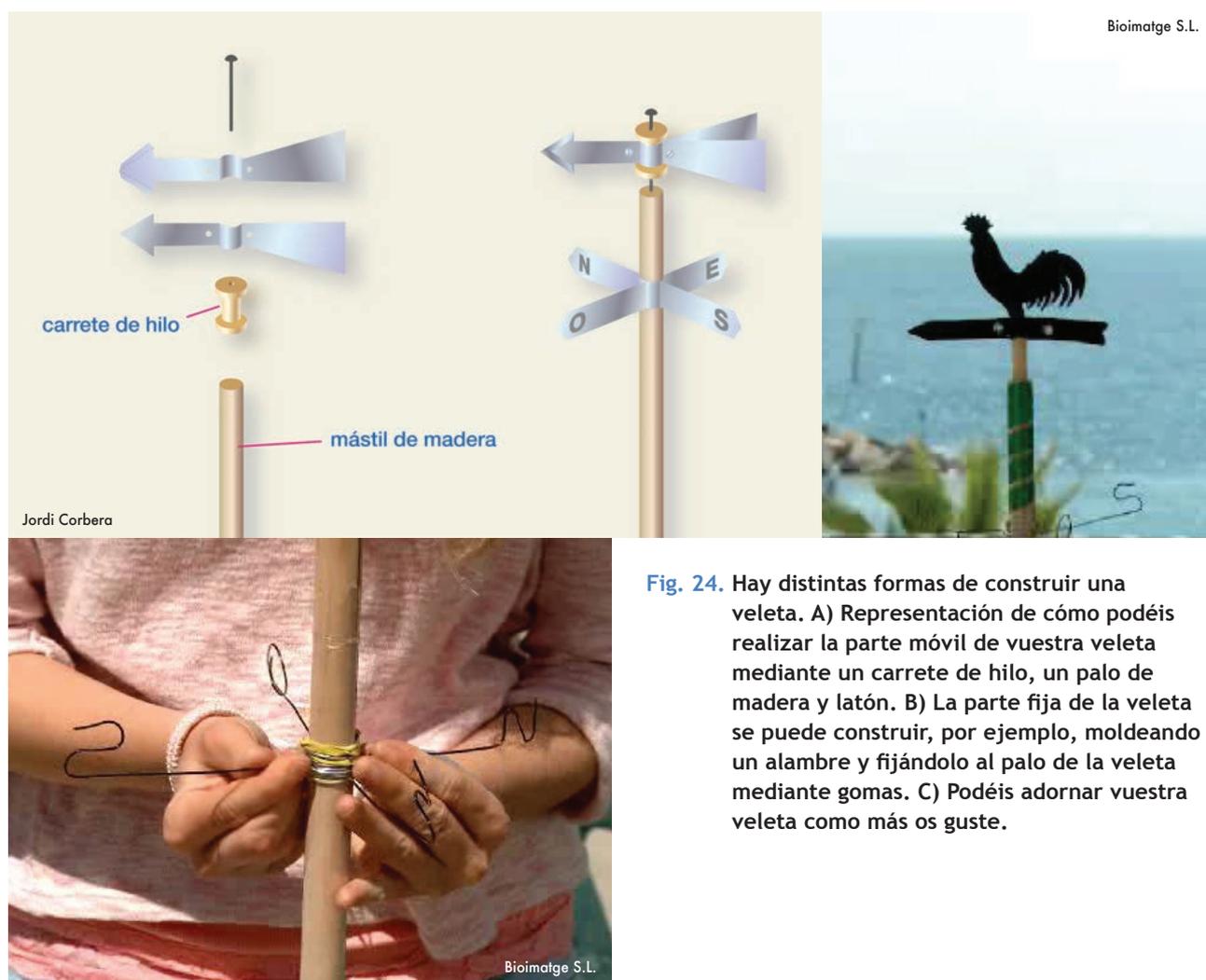


Fig. 24. Hay distintas formas de construir una veleta. A) Representación de cómo podéis realizar la parte móvil de vuestra veleta mediante un carrete de hilo, un palo de madera y latón. B) La parte fija de la veleta se puede construir, por ejemplo, moldeando un alambre y fijándolo al palo de la veleta mediante gomas. C) Podéis adornar vuestra veleta como más os guste.

1.1.4. Manga de viento

Permite medir la dirección y fuerza del viento.

Material

- Tela ligera
- Alambre rígido
- Percha del mástil

Procedimiento

Cortad la tela ligera siguiendo el esquema. Cosedla de forma que quede cerrada.

Con el alambre rígido formad un círculo. Antes de cerrarlo, hacedle una especie de gancho y ponedle un anillo dentro.

Cosed la abertura de la manga sobre el círculo de alambre, dejando pasar el gancho y el anillo.

Ensartad el conjunto por el gancho y el anillo sobre el eje provisto de un muelle en espiral.

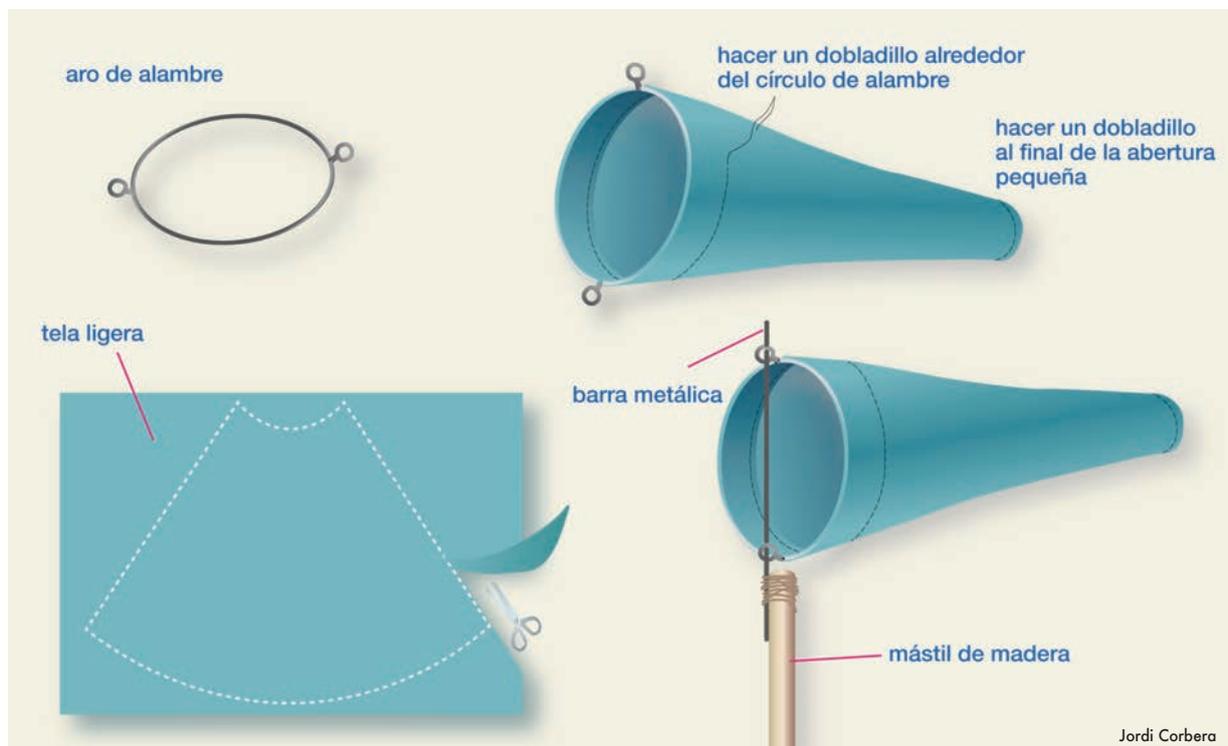


Fig. 25. Representación esquemática de la realización de una manga de viento.

1.2. Aparatos para medir la presión atmosférica

1.2.1. Barómetro

Material

- Bote de cristal (p. ej., de conservas)
- Gomas elásticas
- Globo de plástico
- Pajita de plástico
- Aguja o palillo fino
- Pegamento
- Cartón blanco
- Lápiz

Procedimiento

Tapad el bote con un trozo de globo y una goma elástica.

Coged una pajita y colocad una aguja (o un palillo fino) en uno de los extremos. El otro extremo estará pegado al globo.

Delante de la aguja colocad una escala graduada, que previamente habréis dibujado sobre el cartón blanco. El cartón debe aguantarse bien sobre la superficie en la que esté.

Observad cómo la aguja va cambiando de un día para otro.

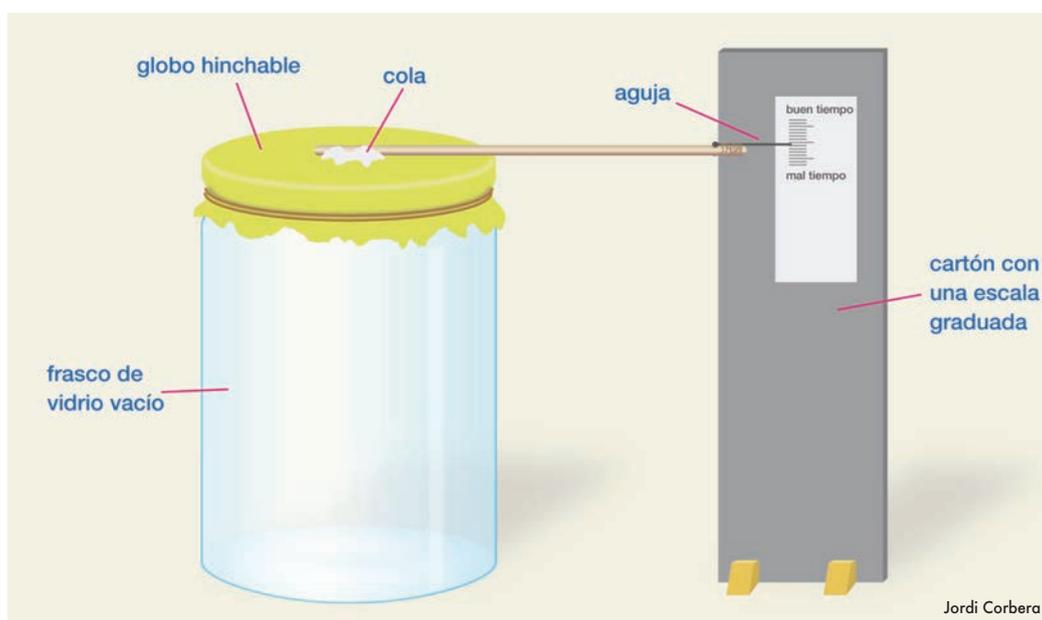


Fig. 26. Barómetro.

1.3. Aparatos para medir la pluviosidad

1.3.1. Pluviómetro

Material

- Probeta de vidrio graduada o botella de plástico graduada
- Embudo de 15 cm de diámetro (podéis hacerlo cortando el cuello de la botella)
- Cajita de madera

Procedimiento

- Si utilizáis la probeta de vidrio, colocad la cajita en sentido vertical. Poned la probeta graduada, con el embudo en la parte superior, dentro de la cajita. Fijad la cajita a una altura de 1,5 m del suelo.
- Si utilizáis la botella, cortad el cuello de la botella, hasta la parte ancha. Gradúad la botella. Colocad el embudo (o la parte cortada del cuello de la botella, de modo que actúe de embudo) dentro de la botella. Colocad la cajita en sentido vertical. Fijad la cajita a unos 1,5 m del suelo.

En ambos casos, deberéis medir el agua recogida. Tendréis que haber perforado un poco la cajita, antes, para poder leer la altura del agua. Cada 10 mm de lluvia recogidos, equivalen a 10 litros de agua por metro cuadrado en tierra.

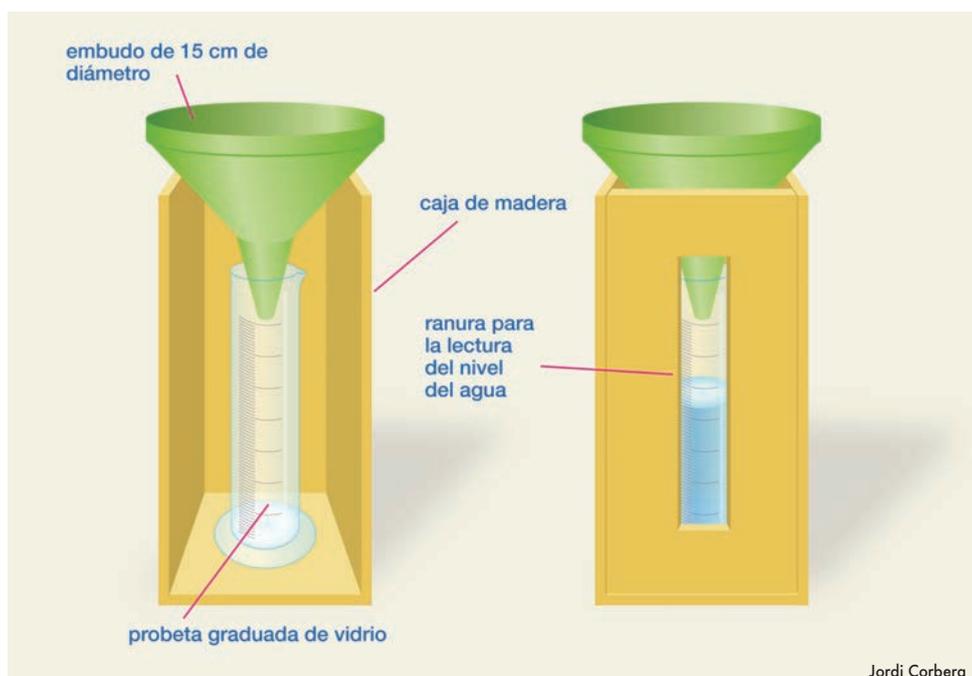


Fig. 27. Pluviómetro con su caseta protectora.

1.4. Caseta protectora de los instrumentos de medida

Material

- Tela asfáltica
- Maderas y clavos
- Martillo
- Ganchos
- Mástil largo
- Termómetro en forma de U, que indique máximas y mínimas

Procedimiento

Con el material anterior, construid una caseta de cuatro paredes, con un techo con cierta pendiente. Instaladla sobre el mástil largo. La caseta debe tener agujereadas todas las paredes menos la orientada al sur. Debéis colocar un doble techo en pendiente y que deje pasar el aire. Y tenéis que instalar ganchos en su interior para colgar los instrumentos. Colocadle también el termómetro.

2. Obtención de datos ambientales en el mar

Material para tomar datos ambientales básicos

- Termómetro que pueda meterse dentro del agua
- Bote de plástico o botellita
- Cámara fotográfica

Material para construir un disco de Secchi

- Disco de madera
- Lápiz
- Pintura negra y pintura blanca (que no se disuelvan en el agua)
- Cabo
- Taladro o barrena o berbiquí
- Cuerda
- Contrapeso

Procedimiento

1. Construid el disco de Secchi: coged el disco de madera y divididlo con el lápiz en cuatro cuadrantes. Pintad dos negros y dos blancos, alternados. Haced cuatro agujeros pequeños pero suficientemente grandes para que pase la cuerda en la periferia del disco. Pasad la cuerda de forma que el disco quede balanceado. Atad los cuatro extremos de cuerda en el cabo. Pasad más cuerda por los mismos agujeros, pero por la parte de abajo, y atadlos a un contrapeso para que el disco se hunda.
2. Fotografiad el mar.
3. Caracterizad el estado del mar (mar llana, mar rizada, olas de X metros de altura).
4. Caracterizad las nubes.
5. Obtened la temperatura ambiental y la temperatura del agua con la ayuda del termómetro (recogiendo un poco de agua en el bote de plástico).
6. Marcad (con rotulador indeleble o con cinta americana) el cabo del disco de Secchi con una marca cada metro (empezando por la base del disco y hacia arriba).
7. Meted el disco de Secchi dentro del agua hasta que ya no se vea. Retirad el cabo que llevará marcas cada metro, contando los metros. La profundidad del disco de Secchi dará idea de hasta dónde llegaba la luz solar aquel día dentro del mar y, por tanto, de la turbidez del agua.
8. Tomad las medidas oceanográficas y también las atmosféricas con cierta periodicidad (cuántos más datos se puedan tener, mejor; es decir, si se pueden tomar datos atmosféricos, p. ej., diariamente, cogedlos).

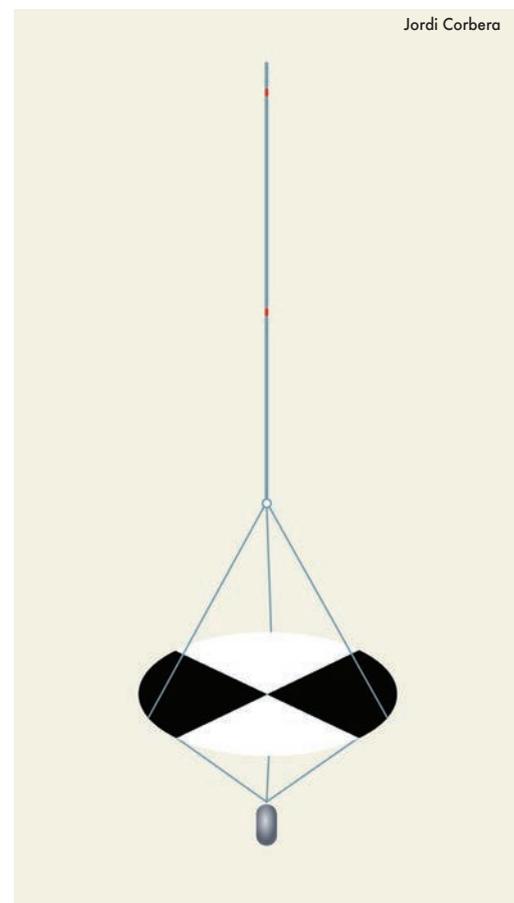


Fig. 28. Disco de Secchi.

III. Posibilidades de estudio, representación y análisis de los datos

1. Representación gráfica de los datos

Los datos recogidos pueden representarse gráficamente, haciendo un gráfico de los distintos valores obtenidos de las diferentes variables en función del día del año. De este modo se puede hacer, también, una diferenciación gráfica entre meses del año y/o entre las estaciones del año.

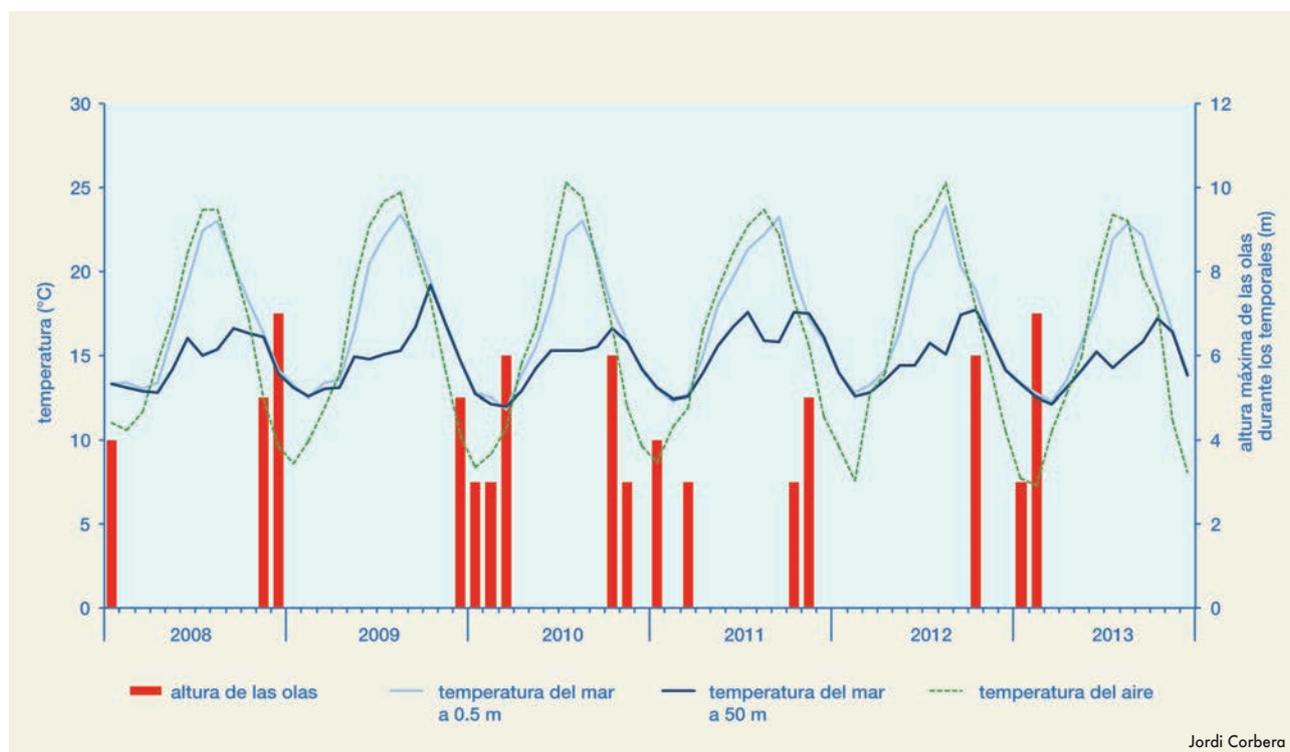


Fig. 29. En esta gráfica se representa el valor promedio de la altura del oleaje, la temperatura del mar a distintas profundidades y la temperatura del aire, según datos recogidos entre los años 2008 y 2013. Visualizar los datos de esta manera nos permite comparar las variaciones de estos parámetros entre los meses del año de varios años y también a lo largo de las distintas estaciones. Se puede observar, por ejemplo, cómo, en superficie, la temperatura del aire y la temperatura del mar presentan un patrón de variación similar a lo largo del año.

2. Comparación con datos procedentes de estaciones meteorológicas de otras partes o con datos meteorológicos pasados

Se pueden obtener datos de otros observatorios meteorológicos, ya sea de otras partes o bien de la población estudiada pero de épocas pasadas, para comparar los distintos grupos de datos (p. ej., averiguar tendencias o establecer diferencias).

3. Adecuación de los datos a un tipo de clima concreto

Teniendo en cuenta las características de los grandes climas del mundo, y su distribución, así como particularidades del lugar estudiado (altitud, latitud, etc.,) podemos analizar si los datos se adecuan a algún clima concreto.

4. Relación de los datos recogidos con las comunidades biológicas

Se pueden comparar los datos obtenidos con la información biológica y ambiental extraída de referencias bibliográficas. Se debe tener en cuenta los datos meteorológicos y oceanográficos y qué cambios se observan en ellos a lo largo del año, y cómo ello puede afectar a las comunidades biológicas de las zonas litorales estudiadas.

También se puede combinar esta actividad con la actividad de investigación sobre el plancton costero, cogiendo algunas muestras de plancton superficial para estudiar la comunidad biológica e intentar averiguar si los cambios que se observan en él a lo largo del año pueden estar relacionados con los datos ambientales recogidos.