

TEMA 1. EL OCÉANO MUNDIAL

1. Las aguas marinas

Los océanos ocupan las siete décimas partes de la superficie terrestre y sus propiedades como absorbente y emisor de calor los hacen fundamentales en el sistema climático mundial. La interacción con los vientos genera un mapa de Corrientes oceánicas, uno de los principales mecanismos de compensación energética mundial, sin olvidar su participación básica en procesos tan destacados como el ciclo del agua o el ciclo del carbono.

A. Caracteres del agua de mar

La salinidad media del agua de mar es de 34'5 gr/litro, en su mayoría cloro y sodio. La presión hidrostática marina aumenta a razón de un 1 decibar por metro de profundidad, alcanzando los 11.000 decibares en las fosas más profundas. Pero el agua de mar es difícil de comprimir, de modo que la densidad no aumenta con la profundidad.

El agua de mar es poco permeable a la radiación solar y tan solo la banda azul del espectro es capaz de alcanzar un centenar de metros. Es lo que se conoce como el piso fótico, con un poco de luz, en contraste con el afótico, el reino de la oscuridad.

La combinación de estos parámetros, salinidad, presión y sobre todo temperatura, individualiza varias masas de agua en el seno del océano.

B. Las masas de agua

El cuerpo principal de las aguas oceánicas está formado por aguas frías y densas procedentes, por gravedad, de las regiones polares y que en principio deberían reunirse debajo del Ecuador. En el centro de cada océano, partiendo del fondo se encuentra sucesivamente: 1) agua profunda de origen antártico, muy fría (de -1 a $+0'5^{\circ}$ C), relativamente poco salada; 2) agua ártica denominada circumpolar (de $+3$ a $+4^{\circ}$ C), muy salada; 3) agua intermedia, antártica, un poco más fría ($+1'5^{\circ}$ C) relativamente poco salada. Todas ellas animadas por corrientes muy lentas.

En la superficie flota como una balsa de aceite una cuarta masa de agua, de unos 500-1.000 metros de espesor, de extensión muy limitada, denominada agua central, muy salada, ya que está sometida a evaporación; bien oxigenada, bien calentada por el sol, con temperaturas que oscilan de 8 a 25 °C según las zonas climáticas. El contacto entre las aguas profundas y el agua central está pues marcado por un aumento brusco de temperatura que se conoce como termoclina. El agua central está animada por corrientes sensiblemente más rápidas. La emergencia de la termoclina a la superficie oceánica constituye dos fronteras hidrológicas, los frentes polares norte y sur, que no hay que confundir con los frentes polares meteorológicos.

2. La circulación oceánica general

A. Los movimientos horizontales

Cuando la superficie del agua es arrastrada por el frotamiento del viento dominante se origina una corriente de impulsión. La corriente alcanza su velocidad máxima (de 1 al 5 % de la velocidad del viento) cuando su eje forma un ángulo de unos 45° con el eje del viento. La desviación de Coriolis, los roces sobre el relieve submarino y aún más las dificultades impuestas por el trazado de las costas modifican muy sensiblemente estas características. Un buen ejemplo de corriente de impulsión es la engendrada por el monzón de verano en el mar de Arabia, en el sentido África-India. El agua que ha sido así arrastrada por el viento se encuentra inmediatamente reemplazada por una contracorriente de compensación.

Cuando el mar está desequilibrado por una diferencia de nivel entre dos cuencas vecinas se escurre de la más alta hacia la más baja mediante una corriente de descarga que no es muy diferente de una corriente de compensación. Canalizada por un estrecho, adquiere una velocidad notable. El Mediterráneo nos ofrece buenos ejemplos ya que al descender el nivel por evaporación atrae por un lado las aguas del Atlántico (corriente oeste-este de superficie en el estrecho de Gibraltar) y por otro lado las aguas del mar Negro (corriente norte-sur de superficie, en el Bósforo).

B. Los movimientos verticales

Los movimientos de superficie están vinculados por lentos movimientos verticales a las corrientes de densidad de la circulación profunda. Por ejemplo, cuando dos corrientes convergen, es necesario que el agua repelida tenga una salida, la cual prolonga, entonces, un aprovisionamiento en calor y oxígeno a las masas de agua subyacentes y como consecuencia aparecen las líneas de convergencia subtropicales. Al contrario, cuando dos corrientes divergen atraen aguas profundas a lo largo de las líneas de divergencia: la divergencia antártica, por ejemplo. Un caso muy interesante es el de las subidas de agua al este de los océanos. Cuando los vientos alisios soplan desde los continentes impulsan el agua oceánica de superficie hacia el oeste, lo que origina necesariamente una corriente ascendente de compensación fría ya que procede de las profundidades: es el *upwelling*. El agua templada empujada hacia el oeste alcanzará la profundidad después de haberse hundido en una línea de convergencia. La masa oceánica pivota pues, en bloque, alrededor de un eje horizontal. Estas líneas de convergencia, de divergencia, de ascendencia tienen una gran importancia biológica.

3. Los movimientos ondulatorios

A. Las olas

Las olas nacen en unas porciones bien definidas del océano mundial que se denominan los "mares del viento", allí donde las ráfagas y los saltos de presión de aire deforman la superficie del agua. Una vez nacidas estas olas desordenadas y espumosas se propagan adquiriendo una majestuosa regularidad: es el oleaje, ondulación definida por una altura (amplitud de los físicos), una longitud de onda, un periodo, una curvatura (relación altura/longitud de onda). El destino del oleaje es de amortiguarse progresivamente o de romper sobre un litoral.

Las características del oleaje resultan de la combinación de varios parámetros mensurables: velocidad del viento, duración del mismo y extensión del área afectada o "fetch". Conocemos la importancia del oleaje para la navegación marítima: más vale para una embarcación un oleaje largo de tipo atlántico que un pequeño oleaje muy arqueado de tipo mediterráneo.

En las proximidades de la costa, la lámina se hace disimétrica y luego rompe, con frecuencia en forma de rodillo (denominado "barra" si es permanente). Después de romper, el agua resbala sobre la playa, fluctúa, y desciende. Si este descenso bajo los rodillos es violento, amenaza con convertirse en una temible lámina de retorno. Cuando el eje de ruptura es oblicuo a la costa, el empuje origina una deriva litoral, corriente de una gran eficacia morfológica.

Los seísmos submarinos, finalmente, son responsables de olas excepcionales, los tsunamis de gran altura, 10 a 20 metros (capaces de romper en un centenar de metros), de gran longitud de onda (100 a 200 km) y de una aterradora velocidad (200 a 500 km/h), proporcional a la profundidad del océano. Los efectos son evidentemente catastróficos. Los ciclones tropicales mueven ante ellos olas igualmente peligrosas aunque menos altas.

B. Las mareas

Se denomina marea al movimiento periódico de elevación y descenso del nivel del mar a ambos lados del cero de los mapas topográficos (que es en España el nivel medio del mar en Alicante); la bajamar es el nivel inferior, flujo el movimiento de subida, pleamar el nivel superior, reflujo el movimiento de descenso y amplitud la diferencia de altitud entre la pleamar y la bajamar. Por prudencia, el cero de las cartas marinas se ajusta al nivel de los mares más bajos. Pero el fenómeno es muy desconcertante. El número de las mareas no es el mismo en todos los puntos del Globo; hay dos al día (de 24'50 horas) sobre las costas atlánticas de Europa pero una sola sobre las costas de Tonkín. El momento de cada marea es igualmente variable no sólo de un punto a otro sino en una misma estación. La amplitud, finalmente, varía a lo largo del año en un mismo punto. Pero varía también, y mucho, de una región a otra: en el Mediterráneo es poco sensible (algunos decímetros), alcanza récords de 19 metros en la bahía de Fundy, Canadá.

La primera complicación se encuentra en el mismo origen astronómico de las mareas. Sabemos que son producidas por las atracciones combinadas de la Luna y del Sol sobre la Tierra. Atracciones conjugadas cuando los tres cuerpos están alineados

(mareas de aguas vivas), atracciones contrarias cuando el eje Luna-Tierra es perpendicular al eje Tierra-Sol (mareas de aguas muertas). Situaciones extremas que admiten 23 situaciones intermedias, ¡según los geofísicos! La segunda perturbación proviene de la influencia de los factores geográficos sobre la propagación de la marea astronómica. Las ondas se extienden en los ensanchamientos y se concentran en los mares en forma de embudo. La tercera complicación, y no la menor, es la interferencia de las ondas entre sí.

Las mareas originan también corrientes superficiales, con frecuencia alternantes, rápidas y peligrosas. Unas son provocadas por la compresión de la onda en un estrecho, por ejemplo la de Fromveur entre la isla Molène y la isla Ouessant, en Bretaña (velocidad hasta 10 nudos). Las otras, por la diferencia de hora de la pleamar en una y otra parte de un estrecho: por ejemplo las corrientes del estrecho de Mesina (hasta 5 nudos) que no son más que corrientes de descarga. Ésta, de las más literarias junto a la noruega *Maelstrom*, en las islas Lofoten; su traducción, "la corriente trituradora" deja bien a las claras idea de su potencia.

Hay que señalar, finalmente, que los alisios empujan masivamente los océanos hacia sus orillas occidentales, donde el nivel del agua se eleva varios decímetros. Al debilitarse el empuje, toda la masa oceánica refluye hacia el este: es el fenómeno de las mareas internas, u ondas de Kelvin.

4. La vida oceánica

Los organismos que viven libremente en la masa oceánica (= pelágica) son de dos tipos. Por una parte los organismos flotantes e involuntariamente movidos, necesariamente de talla muy pequeña: el plancton. Por otra los organismos nadadores, en movimiento voluntario, de talla superior: el necton. Los seres inmóviles fijados sobre el fondo mismo de los océanos constituyen el bentos. Pero pelágica o bentónica, la vida submarina obedece al contraste ecológico que opone la película superficial iluminada, agitada y con temperatura variable, al cuerpo mismo del océano, oscuro, inmóvil y frío.

A. La vida pelágica

Solamente el piso fótico permite la asimilación clorofílica. Alberga pues las grandes algas flotantes (sargazos) y el plancton vegetal o fitoplancton. Éste consiste en microvegetales de caparazón silícico (las diatomeas) o calizo (los cocolitos) y en algas microscópicas. Se nutre no solamente de luz, en intercambio de la cual emite el 70 % del oxígeno del globo, sino también sales minerales disueltas en el agua del mar. El plancton animal o zooplancton está constituido por organismos más variados y ligeramente mayores: protozoarios microscópicos, ciertamente (radiolarios y globigerinas), pero también larvas, gusanos, micromoluscos y microcrustáceos. Siguiendo fielmente las evoluciones verticales del fitoplancton, el zooplancton se encuentra hundido a algunas

decenas de metros de profundidad durante el día y se acerca a la superficie durante la noche.

El otro grupo pelágico es el necton. Se compone básicamente de medusas, peces, cefalópodos y cetáceos. Su alimentación básica es plancton y pequeños peces, todo deglutido con agua de mar y retenido por las branquias o por la barba de la ballena. Una ballena consume más de una tonelada de materia al día, especialmente krill. Pero este necton comedor de plancton se transforma a su vez en presa de un necton predador de talla mayor, peces tales como los atunes o los tiburones, cetáceos con dientes como la orca o el cachalote, e incluso mamíferos pinnípedos -focas y leones marinos- y pájaros marinos.

En los pisos afóticos profundos no hay fitoplancton, pero puede encontrarse zooplancton que se nutre de residuos orgánicos caídos en forma de lluvia procedente del piso fótico, luego descompuesto por las bacterias. La densidad planctónica es evidentemente más reducida. De ello deriva que la biomasa global y la variedad del necton disminuyan, mientras que la proporción de predadores aumenta: calamares gigantes, medusas especiales, peces con enorme boca. No se sabe a qué atribuir la rareza de las formas y, a veces, la luminiscencia de esta fauna profunda.

B. La vida bentónica

Los fondos submarinos tienen también luz, temperatura, presión y agitación como la masa pelágica que las recubre. Pero además poseen una topografía propia. De esta circunstancia se deriva que este medio ofrece a los organismos vivientes una extraordinaria variedad de nichos ecológicos, bien diferente de la monotonía pelágica, de lo que deriva la riqueza del bentos, tanto vegetal como animal.

El bentos vegetal, ligado al piso fótico, se parece mucho a la vegetación continental ya que está constituido por plantas con ramas y hojas sólidamente enraizadas en un suelo submarino rico en bacterias. Estas plantas son algas de talla y color diferentes y fanerógamas (plantas con granas) variadas, que forman verdaderas praderas submarinas.

El bentos animal asociado al vegetal es de una confusa variedad: esponjas, corales, lombrices planas o redondas, gasterópodos, lamelibranquios, crustáceos inferiores o superiores. Las cadenas tróficas bentónicas son tanto más complejas cuanto más interfieren con las cadenas pelágicas: el plancton pelágico y sus residuos nutren tanto el benton animal como los peces del necton.

La situación se simplifica cuando se alcanzan los fondos afóticos: no hay nada de luz y por consiguiente no hay bentos vegetal. El bentos animal, por ejemplo las holoturias, queda reducido a comer los restos orgánicos y sus bacterias. Además, apenas está fijado en el fondo ya que el agua está casi inmóvil. Las especies son con frecuencia arcaicas o endémicas. Pero las recientes inmersiones de los batiscafos en el océano Pacífico han puesto de manifiesto la existencia en profundidad de fuentes cálidas de tipo fumarola que al realizar la síntesis de las proteínas, mantienen en sus alrededores una fuerte

actividad biológica hasta ahora insospechada. Descubrimiento capital que tiende a probar que el sol no es la única fuente de vida en el Globo.

La riqueza orgánica del mar es pues máxima en estos lugares de surgencia y se mide habitualmente por la cantidad de carbono fijado por año por el fitoplancton: escaso en el centro de las grandes células oceánicas, aumenta en la divergencia ecuatorial del océano Pacífico, y alcanza su mayor nivel en las surgencias mayores, como el frente polar sur (circumantártico), frente polar norte (Kuriles, Aleutianas, Terranova), y todas las grandes corrientes frías como las de California, Humboldt, Canarias, Benguela... donde remontan los restos mineralizados por las bacterias y las proteínas fumerolianas. Es efectivamente aquí donde el hombre realiza sus mejores pescas (o sus peores hecatombes).

Pero hay otra riqueza oceánica que no se debe en ningún aspecto a la energía solar, es la de los nódulos polimetálicos (manganeso, níquel, cobre, cobalto), que, nutridos por las fumarolas de los *rifts*, reposan sobre los grandes fondos. Su explotación, de momento complicada, podría infligir graves daños a los equilibrios bentónicos y pelágicos, fracturando las cadenas tróficas.