

La interacción de la atmósfera con los océanos

José Miguel Viñas

Artículo publicado originalmente en www.tiempo.com



La superficie marina es la zona de contacto e interacción entre la atmósfera y los océanos.

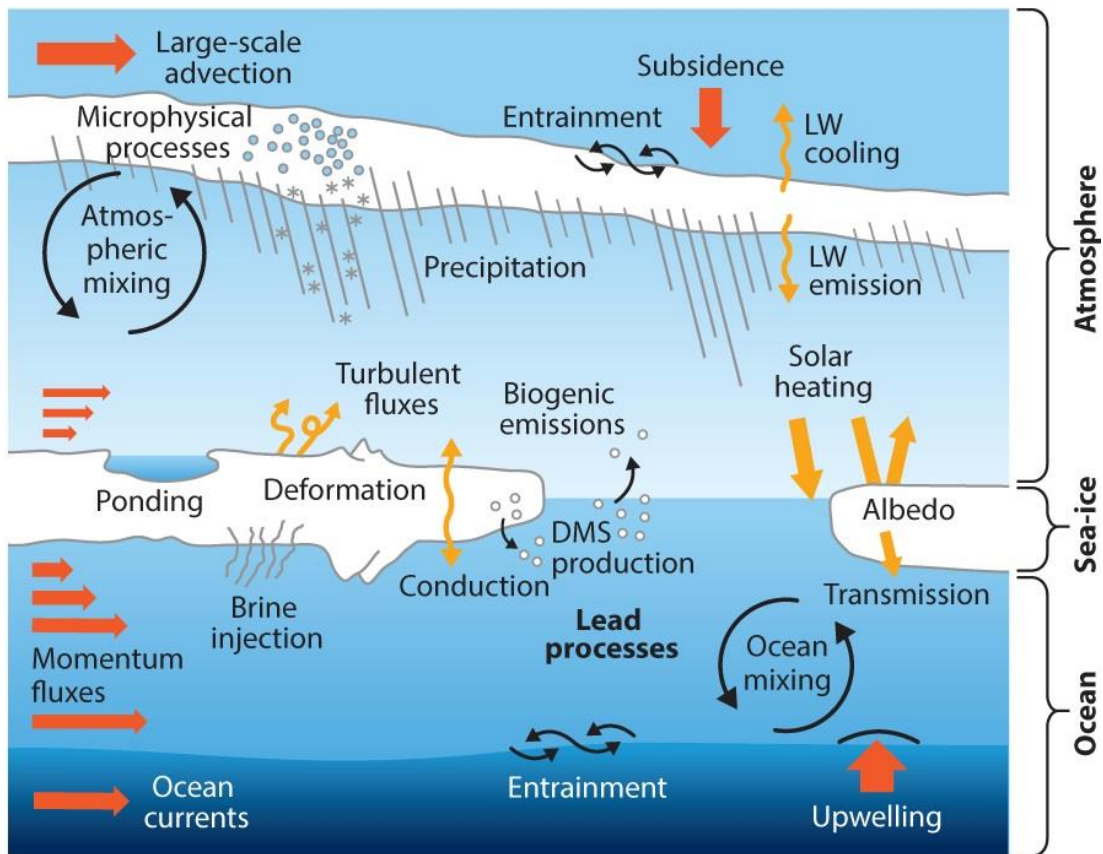
El comportamiento de la atmósfera no se puede entender sin el de los océanos, ni viceversa. Entre ambos existe una fuerte interacción en la que hay distintos procesos involucrados, lo que, de cara a su estudio y modelización, es lo mismo que decir que están acoplados. La atmósfera y la hidrosfera (formada en su mayor parte por los citados océanos) intercambian masa, energía (calor) y momento (movimiento), teniendo cada una de esas componentes del sistema climático su propia dinámica, mucho más lenta en el agua que en el aire, donde el ritmo de los cambios es frenético. Basta con ver el día a día del tiempo meteorológico.

Pensando en el calentamiento global, éste comenzó a manifestarse mucho antes en la atmósfera que en los océanos, y –dentro de estos– se ha empezado a detectar en la parte superficial, que es justamente la que está en contacto con el medio atmosférico, sin que la subida de la temperatura haya alcanzado todavía las profundidades marinas. Los océanos están acumulando grandes cantidades de calor, robándoselo a la parte baja de la atmósfera, pero su inercia térmica es mucho mayor que la del aire, lo que impide una respuesta “inmediata” en la temperatura del agua. Aparte de ser un gran almacén de

calor, los océanos están absorbiendo también parte del excedente de CO₂ atmosférico, con la consiguiente acidificación de las aguas.

Intercambios de calor y CO₂

La capacidad calorífica de los océanos es tan enorme que solo los primeros 2 metros y medio de su parte superficial contienen tanto calor acumulado como toda la atmósfera. Se estima que desde los años 80, el 93% del calor extra que han aportado las emisiones antrópicas de gases de efecto invernadero, ha quedado camuflado (absorbido) por el medio oceánico, por lo que el calentamiento global observado es solo debido al 7% restante. El agua caliente de la superficie requiere de varios siglos para alcanzar el océano profundo, si bien en ese largo viaje, parte del calor volverá a escapar a la atmósfera. En términos de CO₂, aproximadamente la mitad de las emisiones permanecen en la atmósfera, mientras que la otra mitad es absorbida tanto por los océanos como por la vegetación terrestre.



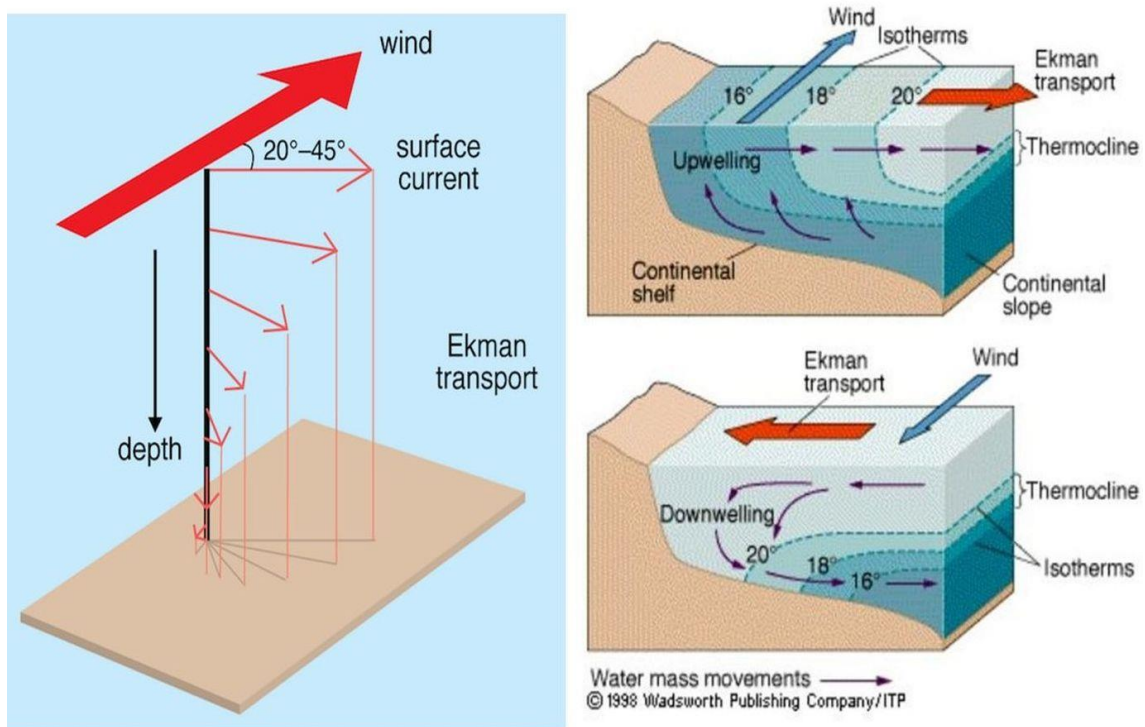
Procesos que tienen lugar en la atmósfera, los océanos y el hielo marino, así como las distintas interacciones que tienen lugar entre ellos. FUENTE: <https://www.encyclopedie-environnement.org/en/home/>

El intercambio de CO₂ y otros gases entre la atmósfera y los océanos se lleva a cabo principalmente mediante procesos de difusión tanto a escala molecular como turbulenta. Tal y como pone de manifiesto la figura anexa, son muchos y muy variados los procesos implicados en la interacción entre ambos medios. Cualquier cambio en uno de ellos induce cambios en los demás, lo que nos da idea de la complejidad que requiere el

estudio de la evolución del clima futuro. El cambio climático en la actualidad está empezando a alterar significativamente algunos de los procesos que tienen lugar en la frontera atmósfera-océano. Por ejemplo, si cambian en algunas regiones terrestres los regímenes de viento (intensidad, estacionalidad, rumbos dominantes...), lo terminarán haciendo las corrientes oceánicas y estas, a su vez provocarán cambios en otros importantes procesos.

El transporte de Ekman

Uno de los mecanismos que mejor ilustran la interacción atmósfera-océano fue el propuesto teóricamente por el oceanógrafo sueco Vagn Walfrid Ekman (1874-1954) para explicar la desviación observada entre el viento y las corrientes marinas superficiales y las que discurren por debajo del agua, según se gana en profundidad. El explorador noruego Fridjof Nansen (1861-1930), en su famosa expedición del *Fram*, de 1893-96, en la que deliberadamente se dejó que el barco quedara atrapado en los hielos, para estudiar su deriva, observó por primera vez un hecho que le llamó la atención, y es que los icebergs se desplazaban 45° a la derecha de la dirección de la que soplabla el viento.



Izquierda: La espiral de Ekman describe el movimiento de las aguas oceánicas inducido por el viento y el efecto de Coriolis, lo que se conoce como “transporte de Ekman. © Byron Inouye. Derecha: Afloramientos de agua oceánica (Upwelling) y hundimientos (Downwelling) como consecuencia de la acción del viento que sopla sobre la superficie marina. © 1998 Wadsworth Publishing Company/ITP.

En 1906, Ekman dio a conocer su elegante modelo teórico, que explica de qué manera van cambiando de dirección e intensidad las corrientes marinas, desde la superficie hasta una profundidad tal que el efecto de arrastre del viento superficial desaparece. Al proyectar sobre un plano horizontal los extremos de los vectores de las corrientes a distintas profundidades, se dibuja una forma geométrica llamada –en honor al

oceanógrafo– “espiral de Ekman”. La combinación de la fricción del aire con la superficie marina y el efecto de Coriolis (debido a la rotación terrestre) da como resultado esta configuración de las corrientes, con el consiguiente transporte de masa de agua perpendicularmente a la dirección del viento. Dicha circunstancia induce a su vez movimientos de agua en el plano vertical.

El modelo de Ekman es igualmente válido para la atmósfera. La disminución de la fricción del aire con la altura hasta alcanzar la atmósfera libre, provoca cambios similares en los vectores que representan los vientos a distintos niveles en esa capa de fricción, produciéndose en este caso un aumento de la intensidad del viento al ascender, aparte del cambio progresivo de dirección.

Volviendo a la capa de Ekman oceánica, el transporte neto de agua en la horizontal, hacia la costa o alejándose de ella, dependiendo del hemisferio terrestre en el que nos encontremos y del sentido con el que sople el viento paralelo a la línea costera (véase parte de la derecha de la figura anexa), da lugar a un afloramiento de agua (*upwelling*) o a un hundimiento (*downwelling*). En los litorales donde esa interacción atmósfera-océano da lugar a afloramientos, las aguas frías del fondo aportan nutrientes a las superficiales, lo que provoca una explosión de vida marina. Bien lo saben, y se aprovechan de ello, los mariscadores gallegos, o los pescadores del banco canario-sahariano.