

Resumen

En el océano abierto, la mezcla turbulenta es una de las principales vías para que las propiedades termohalinas y biogeoquímicas de las aguas profundas puedan alcanzar las capas más superficiales. A pesar de la relevancia de la difusión turbulenta vertical en los procesos de mezcla, la aplicación inadecuada de parametrizaciones en el campo de estudio a menudo ha conducido a inconsistencias en la cuantificación del aporte de estos procesos a la mezcla vertical de la columna de agua. Dada la relevancia y necesidad de cuantificar los flujos de oxígeno disuelto en el océano, particularmente en las ZMO, y la importancia de la mezcla turbulenta en el intercambio de propiedades biogeoquímicas entre las aguas superficiales y subsuperficiales, en el presente estudio se busca determinar el rol de los procesos de mezcla turbulento en la ventilación de la Zona de Mínimo Oxígeno.

Introducción

El Sistema de Corrientes de Perú Chile (SCPC) en el Pacífico Sur Oriental (PSO) está conformado por un conjunto de corrientes y contracorrientes que fluyen predominantemente en dirección meridional. La región es conocida por su alta productividad primaria, alta demanda de oxígeno y baja tasa de renovación de las aguas subsuperficiales, lo que provoca que las concentraciones de oxígeno disuelto en estas aguas caigan a niveles $< 20\mu M$, dando origen a una Zona de Mínimo Oxígeno (ZMO). El oxígeno juega un rol fundamental para el funcionamiento de los principales ecosistemas marinos y en el escenario actual de cambio climático, tanto observaciones como modelos muestran que el océano está perdiendo oxígeno. En los océanos abiertos, esta pérdida se ha asociado principalmente al incremento en la estratificación que genera el calentamiento de las aguas superficiales y que, a su vez, reduce la mezcla turbulenta que transporta oxígeno disuelto desde las capas superficiales bien ventiladas hacia la subsuperficie. Si bien, la mezcla turbulenta es una de las principales vías para el intercambio diapicno de propiedades termohalinas y biogeoquímicas de las aguas subsuperficiales y profundas, el rol de los procesos de mezcla turbulentos en el balance del oxígeno disuelto en la oxiclina superior e inferior que conforman los bordes de la ZMO del PSO no ha sido bien estudiado. En este trabajo se propone que los procesos de mezcla turbulento juegan un rol relevante en la ventilación de la parte sur de la ZMO del Pacífico Sur Oriental. Para poner a prueba esta hipótesis se utilizarán mediciones directas de microestructura realizadas con un perfilador de microestructura, perfiles verticales de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto de CTD-O en 37°S frente a la costa de Chile. Mediante la determinación de la tasa de disipación de energía cinética turbulenta, identificación de los procesos de doble difusión a partir del ángulo de Turner, determinación de la escala de Thorpe y estimación de la difusividad vertical de oxígeno, se pretende determinar el rol de los procesos de mezcla turbulento en la ventilación de la Zona de Mínimo Oxígeno, y con ello caracterizar las propiedades termohalinas y Oxígeno Disuelto (OD) de las masas de agua presentes en la columna de agua de la región, identificar las fuentes de la mezcla vertical turbulenta que estarían influyendo en la ventilación de la ZMO y determinar el rol de los procesos de doble difusión en la mezcla vertical de esta.

Metodología

La mezcla diapicna en la columna de agua depende de procesos de doble difusión y/o inestabilidades generadas por el de cizallamiento vertical. La contribución relativa de los procesos de doble difusión puede ser descrita a través del ángulo de Turner [Ruddick, 1983]:

$$Tu = \tan^{-1} \left(\alpha \frac{\partial \theta}{\partial z} - \beta \frac{\partial S}{\partial z}, \alpha \frac{\partial \theta}{\partial z} + \beta \frac{\partial S}{\partial z} \right) \quad (1)$$

Donde $\alpha = -\rho^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial \theta}$ y $\beta = -\rho^{-1} \frac{\partial \rho}{\partial S}$ son los coeficientes de expansión térmica y contracción salina, respectivamente y ρ es la densidad del agua.

La mezcla turbulenta asociada a las inestabilidades de cizalle vertical de la velocidad horizontal fue determinada por medio de la tasa de disipación de energía cinética turbulenta (ϵ), la cual, en un medio isotrópico está dada por:

$$\epsilon = \frac{15}{2} \nu \left(\frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 \quad (2)$$

La difusividad vertical diapicna asociada a las inestabilidades en el cizalle vertical de velocidad fue cuantificada de dos formas: (1) A partir de las mediciones directas de microestructura, usando ϵ y (2) A partir de parametrizaciones del flujo medio, utilizando los datos de CTD.

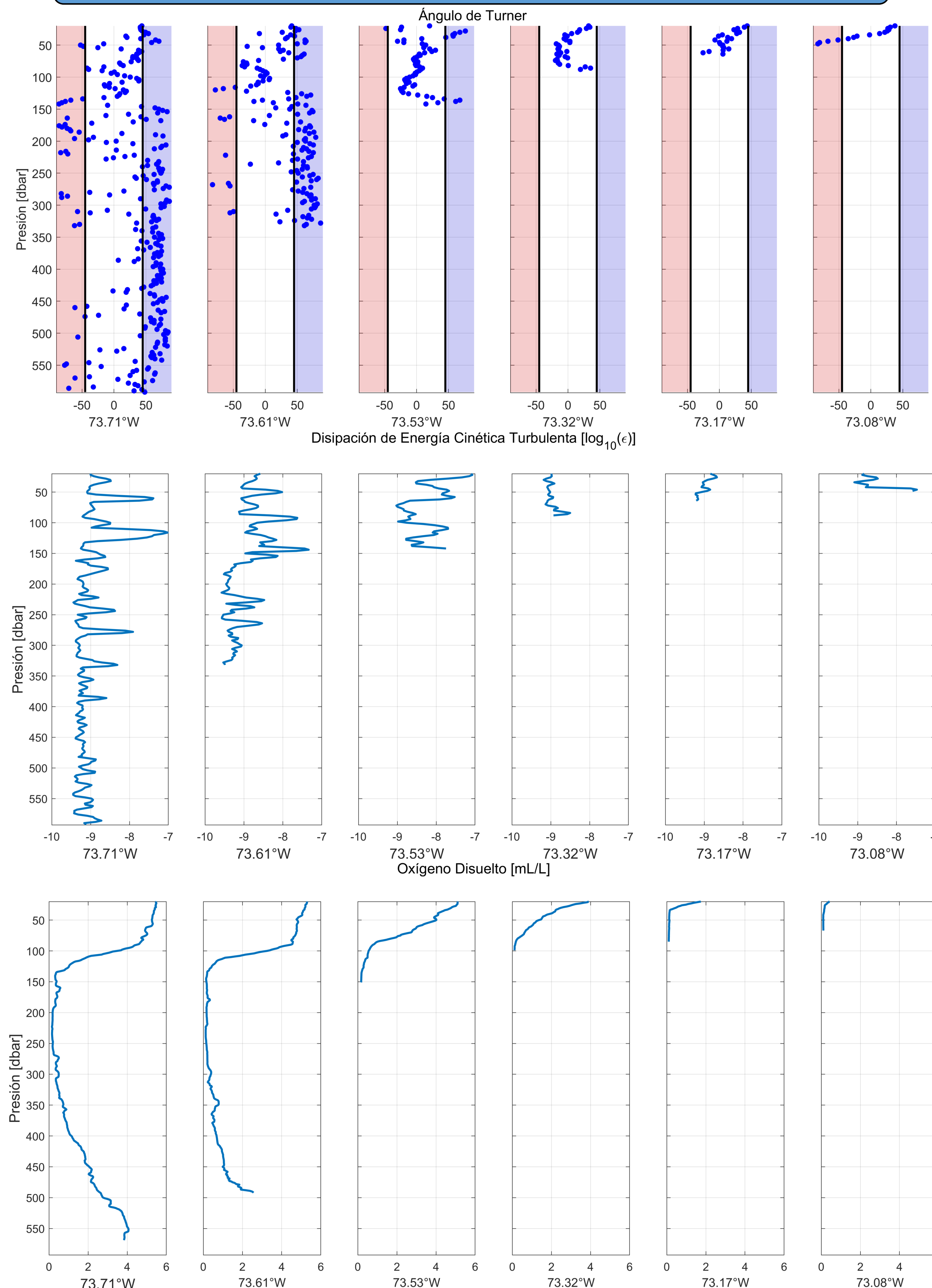
La formulación utilizada para la estimación de la difusividad asociada a los procesos [Osborn, 1980]:

$$K_{st} = \Gamma \frac{\epsilon}{N^2} \quad (3)$$

Donde Γ es la eficiencia de la mezcla, N^2 la frecuencia de boyantes. La difusividad diapicna a partir de los datos de CTD está dada por [Thorpe, 2005]:

$$K_{st} = 0.1NL_T^2 \quad (4)$$

Resultados preliminares



De arriba abajo: ángulo de Turner (en grados), tasa de disipación de energía cinética turbulenta, oxígeno disuelto en las 6 estaciones oceanográficas realizadas frente a concepción. De derecha a izquierda una transecta desde mar abierto hacia la costa.

Conclusiones

El ángulo de Turner muestra que en las estaciones más profundas se desarrollan de mejor forma las condiciones favorables al desarrollo de dedos de sal, esto se da de forma coincidente con la oxiclina superior en las estaciones localizadas fuera de costa. Acompañado de estos eventos de desarrollo de doble difusión se desarrollan eventos de cizalla vertical, lo que favorecería la ventilación de la ZMO del PSO en 37°S. El desafío próximo es cuantificar los flujos de oxígeno en esta oxiclina, especialmente en las estaciones más profundas.

Agradecimientos

A todo el equipo de Oceanografía Física y Clima UdeC, por todo el apoyo brindado durante las campañas de medición y por siempre incentivar el desarrollo científico conjunto.