

RESUMEN de la tesis de **GILBERTO JERÓNIMO MORENO**, presentada como requisito parcial para la obtención del grado de DOCTOR EN CIENCIAS en OCEANOGRAFÍA FÍSICA. Ensenada, Baja California. Marzo 2007.

VARIABILIDAD TERMOHALINA EN LA CAPA SUPERIOR DEL OCÉANO EN LA REGIÓN SUR DE LA CORRIENTE DE CALIFORNIA

Resumen aprobado por:

Dr. José Gómez Valdés
Director de Tesis

En su capa superior, el océano intercambia momentum, calor y masa con la atmósfera. La dinámica del océano también es fuente de cambios de estas propiedades en dicha capa. Utilizando observaciones de alta resolución (1 m) de la columna de agua, en este trabajo se investigan las propiedades de la capa de temperatura constante y de la capa de densidad constante en la región sur de la Corriente de California, así como su variabilidad estacional e interanual. Los datos empleados se obtuvieron de treinta y dos cruceros realizados en el periodo 1997-2005 en la red de estaciones del programa Investigaciones Mexicanas de la Corriente de California (IMECOCAL). El intervalo de muestreo fue de aproximadamente tres meses. Enero, abril julio y octubre de cada año fueron los meses muestreados.

Métodos oceanográficos tradicionales de análisis de datos escalares fueron adaptados para la cobertura espacio-temporal del programa IMECOCAL, y se ensayaron nuevos. Las profundidades de la capa de temperatura constante y de la de densidad constante fueron obtenidas por dos métodos distintos encontrados en la literatura, además se desarrolló uno nuevo basado en estadística Bayesiana. Para cada crucero, y cada estación, los datos de temperatura y salinidad se integraron desde la base de la capa de densidad constante hasta la superficie. Además del tradicional uso de análisis armónico, con Funciones Empíricas Ortogonales fue posible identificar la variabilidad estacional e interanual contenida en los datos. Para la generación de mapas de los campos escalares, se implementó el método de análisis objetivo. Las escalas de correlación óptimas fueron $L_Y = 110$ km y $L_X = 90$ km, en dirección paralela y perpendicular a la costa, respectivamente. El método se validó por medio de ensayos Monte Carlo. Esta es la primera vez que se muestra este tipo de validación en estudios en donde se emplea interpolación objetiva.

Los resultados del trabajo se ordenaron en cinco capítulos. En el primero se presentan las variaciones de las profundidades de las capas. El segundo capítulo trata sobre las variaciones de la temperatura y la salinidad en la capa de mezcla. En el tercero se

analiza la variabilidad de la temperatura y la salinidad en una superficie isopícnica cercana a la superficie. El cuarto capítulo trata sobre el análisis de la razón de densidad en esa misma superficie. Finalmente, se presenta el descubrimiento de un remolino subsuperficial.

La profundidad de la capa de densidad constante (PCD) fue mayor que la profundidad de la capa de temperatura constante (PCT), lo que implica que el flujo neto de calor puede alcanzar una profundidad mayor que la posición de la termoclina estacional. La PCD y la PCT alcanzaron su máximo en enero, 60 m y 40 m, respectivamente y su mínimo en julio, 20 m y 15 m, respectivamente. Se probó, con un modelo numérico unidimensional, que a primer orden las variaciones estacionales de las capas estuvieron relacionadas a las variaciones locales del esfuerzo del viento y del flujo de calor neto por la superficie. En cambio, su variabilidad interanual estuvo relacionada con fenómenos de escala grande. Debido a los efectos de El Niño 1997-1998, la PCD y la PCT fueron anómalamente profundas, 90 m y 86 m, respectivamente, durante enero de 1998. Lo que indica que durante eventos fuertes de El Niño la desigualdad entre la PCD y la PCT tiende a un mínimo.

Con respecto al promedio vertical (integración) de las propiedades termodinámicas en la PCD, se encontró que durante abril, cuando la Corriente de California y las surgencias costeras se intensifican, tanto la temperatura como la salinidad tuvieron su valor mínimo. Durante octubre, cuando el flujo neto de calor alcanza un máximo y tanto la Corriente de California como las surgencias se debilitan, la temperatura alcanzó su valor máximo. El máximo de salinidad se presentó en enero, cuando la Corriente de California presumiblemente se colapsa. La variabilidad interanual de las propiedades integradas en la PCD parece que está relacionada con los ciclos El Niño-Oscilación del Sur (ENSO); probablemente también con pulsos de advección anómala de agua subártica.

Con respecto al análisis de superficies isopínicas cercanas a la pinoquina, se encontró que, en concordancia con el balance geostrófico, la superficie promedio de $25 \sigma_{\theta}$ estuvo inclinada, con la parte más somera (38 m) cerca de la costa y la parte más profunda (68 m) mar adentro. El área más lejana de la costa se encontró dominada por remolinos. La variabilidad de los campos termodinámicos indica que hay tres zonas que tienen variabilidad distinta: la norte ($29^{\circ}31'N$), de variabilidad preponderantemente baja, la sur ($25^{\circ}-27^{\circ}5'N$) de variabilidad preponderantemente alta y la central, de variabilidad media entre las otras dos. La diferenciación de las zonas fue corroborada mediante análisis de gradientes de temperatura y de salinidad, y mediante perfiles verticales medios.

En enero y abril, cuando las diferencias entre la profundidad de la superficie $25 \sigma_{\theta}$ y la PCD fueron menores que 30 m, los gradientes de temperatura y los gradientes de salinidad tendieron a compensarse ($0.8 \leq R \leq 1.2$), donde R es la razón de densidad. Esto es consistente con la teoría que sugiere que los mecanismos de compensación en

la capa de mezcla son función de los gradientes horizontales de densidad. En julio y octubre, la profundidad de la superficie de $25 \sigma_\theta$ fue mayor que la PCD y $1.2 < R \leq 1.8$. Además, en el período más intenso de El Niño 1997-1998 resultó $R > 1.8$ en casi toda la región de estudio. Resultados que están en concordancia con la teoría que sustenta que los transportes de sal y calor son proporcionales a la boyancia. Frentes termohalinos producidos por la confluencia de la masa de agua de origen subártico con la masa de agua de origen ecuatorial generaron áreas de compensación frente a Punta Eugenia.

Al estar analizando la variabilidad de la base de la piconclina, descubrimos un remolino anticiclónico subsuperficial con las mismas características que la masa de agua de la Contracorriente Subsuperficial. El núcleo del remolino fue cuasi-circular con radio de 35 km y un ancho de 250 m. La máxima velocidad tangencial fue $\sim 3 \text{ cms}^{-1}$. La masa de agua del núcleo del remolino estuvo caracterizada por una temperatura potencial de 11°C , una salinidad de 34.5, y oxígeno disuelto de 14 ml^{-1} . El remolino subsuperficial se propagó hacia el oeste. El remolino cálido subsuperficial puede transportar agua de relativamente alta salinidad de origen bajacaliforniano hasta el giro subtropical del Pacífico Norte.

En la parte más sureña de la Corriente de California, a escala estacional la variabilidad de la capa superior del océano está regulada no sólo por el intercambio de propiedades con la atmósfera sino también por los patrones de circulación, remolinos y mezcla, en cambio, a escala interanual los procesos de escala grande, por ejemplo ENSO, modulan su variabilidad. Esto último resulta de particular importancia para el estudio de fenómenos globales, por ejemplo el calentamiento de la tierra, ya que indica que la capa superior del área de estudio registrará las alteraciones que experimenten las masas de agua subártica (cerca del polo) y ecuatorial (cerca del ecuador) por el incremento de la temperatura.

Palabras clave: capa de mezcla, remolino subsuperficial, parte sur de la Corriente de California.