



**COORDINACIÓN DE DESARROLLO
PROFESIONAL E INSTITUCIONAL**

SUBCOORDINACIÓN DE POSGRADO

T E S I S

**VALIDACIÓN DE LAS DE LAS CORRIENTES CLIMATOLÓGICAS DEL
OCÉANO PACÍFICO MEXICANO SIMULADAS POR EL MODELO
REGIONAL ROMS**

que para obtener el grado de

Maestro en

Ciencias y Tecnología del Agua

presenta

Ing. Carlos Adrián Moreno Hernández

Tutor: Dr. Efraín Mateos Farfán

Posgrado IMTA
Tesis digitales
Restricciones de Uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de video y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente de donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto será sancionado por las autoridades correspondientes.

Resumen

En el presente trabajo se modeló la dinámica del océano Pacífico Mexicano usando como herramienta un modelo regional tridimensional (ROMS), versión Roms_AGRIF, (Shchepetkin y McWilliams, 2005), que resuelve ecuaciones primitivas de momento, hidrostática y de estado. En la vertical, usa 40 niveles con coordenadas generalizadas sigma. Para la definición de la batimetría se utilizó ETOPO1. La información climatológica para forzar el modelo de temperatura y salinidad de la base de datos del Atlas de Mares Regionales (50 años de 1960 a 2009, CARS2009) y en superficie el esfuerzo del viento y flujos de calor de la base de datos COADS. Se modelaron 16 años (primeros 10 años para estabilizar el modelo), de los cuales sólo el último año es analizado y validado. Se presenta una validación cualitativa de las salidas del modelo tomando como referencia el estudio de Beier y Ripa (1999) para el Norte del Golfo de California (NGC) y el trabajo de Figueroa, et al., (2003) para el Centro y Sur del Golfo de California (CySGC). Se muestran los campos de temperatura y de velocidad a una profundidad de 10 m, para la región del Golfo de California. En el NGC, los resultados indican la presencia de remolinos anticiclónicos de noviembre a julio y remolinos ciclónicos en los meses de agosto a octubre con un diámetro del ancho del NGC, mientras que para el CySGC se observan a lo largo de esta región remolinos ciclónicos y anticiclónicos, estos giros pueden tener el diámetro del ancho del GC (~ 50 km) y tienden a alternar el sentido de rotación en todo lo largo del golfo. Existen a menudo remolinos que se encuentran acoplados, entre ellos, con dimensiones más pequeñas y otros más grandes que se alargan dependiendo del mes en que se observa, estos remolinos no están asociados a las cuencas y en octubre se pueden observar dos grandes remolinos en las regiones más profundas. Se considera que en el NGC el modelo es más estable.

Palabras clave: *Circulación del Pacífico Mexicano, validación de ROMS.*

Dedicatoria

A mis padres que quiero y amo, Ma. Idalia Hernández y Gumercindo Moreno, por todo el apoyo, amor y paciencia que me han brindado en mis proyectos académicos y de vida.

A mi hermana Brenda Moreno y cuñado por su apoyo incondicional y estar al pendiente de mi con sus consejos. Y a mi sobrino Thiago Daniel por ser uno de mis impulsos y alegrías.

A toda mi familia que siempre está al pendiente de mí y me brindan su cariño.

En general a todas esas personas que durante este proceso estuvieron dándome ánimos, consejos y su apoyo incondicional.

A Dios por haber logrado una meta más y seguir alcanzando mis sueños.

Agradecimientos

A mi asesor Efraín Mateos por su apoyo y amplio conocimiento en clases y durante el proceso de mi tesis.

A mis catedráticos y sinodales M.C. Gabriela Colorado, Dr. Sergio Santana, Dr. Martín Montero y Dr. Antonio Salinas, por su dedicación y observaciones a la tesis.

A todos los investigadores que me impartieron clases.

A mis compañeros que iniciamos la primera generación de maestría presencial y con apoyo de beca.

A mis compañeros de cubículo Jorge Ibarra, Miguel Rodríguez, Ma. Del Rosario y Lila Pérez, por sus aportaciones, conocimientos, experiencias, clases, ayuda técnica en programación y sobre todo por brindarme su amistad.

A todo el equipo administrativo de Posgrado-IMTA que se encuentra presente y quienes laboraron durante el comienzo de ésta maestría, por el apoyo, consejos y risas que hacían de este proceso un ambiente agradable.

A la Subordinación de Posgrado del IMTA por permitir el apoyo económico de la beca de manutención durante los 24 meses de la maestría y cursos que alimentaron mi conocimiento.

Al financiamiento otorgado por el Fondo Sectorial de Investigación para la Educación SEP-CONACYT, Convocatoria de Investigación Científica Básica 2010-2012, a través del proyecto 182574.

A todos, ¡Gracias!

Índice

Índice de tablas	2
Índice de figuras	3
1 Introducción	5
1.1 Hidrocinética	10
1.2 Circulación general del Pacífico Mexicano.....	12
1.3 Modelos regionales	18
1.4 Modelo ROMS	19
2 Objetivo	24
3 Hipótesis.....	24
4 Metodología	25
5 Resultados y validación	30
5.1 Región del Norte del Golfo de California	34
5.2 Región Central y Sur del Golfo de California	40
6 Conclusiones.....	48
6.1 A) Región del Norte del Golfo de California	48
6.2 B) Región Central y Sur del Golfo de California.....	49
7 Aportaciones	50
8 Trabajos a futuro	50
9 Recomendaciones	51
10 Referencias.....	52
11 Anexos	55
11.1 Códigos en Matlab de los campos de temperatura y velocidad	55

Índice de tablas

Tabla 1. Descripción de las corrientes en el Pacífico (Corrientes Nor-Ecuatorial, Sur-Ecuatorial y la Contracorriente Ecuatorial (Duque, 2001).	16
Tabla 2. Giros - Alto Golfo de California. Comparación de los giros entre las salidas del modelo del ROMS y (Beier y Ripa, 1999), el signo positivo (+) indica un giro ciclónico y el signo negativo (-) indica un giro anticiclónico respectivamente al mes que se indica.	34
Tabla 3. Promedio estacional. Giros- Alto Golfo de California, el signo positivo (+) indica un giro ciclónico y el signo negativo (-) indica un giro anticiclónico respectivamente a la estación del año que se indica.	38
Tabla 4. Promedio mensual, Giros – Centro y Sur del Golfo de California. Comparación de los giros entre las salidas del modelo del ROMS y (Figueroa, Marinone y Lavín, 2003), el signo positivo (+) indica un giro ciclónico y el signo negativo (-) indica un giro anticiclónico respectivamente al mes que se indica. En este resumen se muestran las cuencas: (PesB) cuenca Pescadero, (CarB) cuenca del Carmen y (GuyB) cuenca Guaymas.....	41

Índice de figuras

<i>Figura 1. Esquema de las principales corrientes.</i>	13
<i>Figura 2. Esquema de la Corriente Ecuatorial.</i>	15
<i>Figura 3. Reanálisis NCEP/NCAR de vientos promedio de superficie, 1979-1995. Producido por (MetEd, 2007).</i>	17
<i>Figura 4. Coordenadas curvilíneas. (ROMS, 2015)</i>	23
<i>Figura 5. Coordenadas S-Generalizadas. (ROMS, 2015)</i>	23
<i>Figura 6. Malla, región de estudio.</i>	27
<i>Figura 7. Energía cinética (se grafican 16 años).</i>	30
<i>Figura 8. Regiones de estudio en el Golfo de California, el número (I) romano indica la región del Norte del Golfo de California y el número (II) romano la región Centro y Sur del GC, las iniciales AG indican la Isla de la Guarda y la letra T la Isla Tiburón.</i>	31
<i>Figura 9. Batimetría y cortes del Golfo de California.</i>	32
<i>Figura 10. Cortes de la Región Norte del Golfo de California (corte a-a*), Invierno y Primavera.</i> 32	
<i>Figura 11. Cortes de la Región Norte del Golfo de California (corte a-a*), Verano y Otoño.</i>	33
<i>Figura 12. Temperatura a -10 metros de profundidad.</i>	33
<i>Figura 13. Campos de velocidad, giros anticiclónicos (enero, febrero, marzo y abril), promedio mensual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad, (velocidad en cm s^{-1}), las letras (AG) indican la Isla Ángel de la Guarda y la (T) Isla Tiburón.</i>	35
<i>Figura 14. Campos de velocidad, giros anticiclónicos para los meses de mayo, junio y julio. En agosto los giros comienzan a ser ciclónicos, promedio mensual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), las letras (AG) indican la Isla Ángel de la Guarda y la (T) Isla Tiburón.</i>	36
<i>Figura 15. Campos de velocidad (septiembre, octubre, noviembre y diciembre), promedio mensual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T).</i>	37
<i>Figura 16. Campos de velocidad, giros anticiclónicos (invierno y primavera), promedio estacional a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T).</i>	38

Figura 17. Campos de velocidad, giros anticiclónicos en verano y giros ciclónicos en otoño, promedio estacional a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T). 39

Figura 18. Campos de velocidad, giro anticiclónico, promedio anual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T). 39

Figura 19. Ubicación de las cuencas dentro de la región Central y Sur del Golfo de California, el número romano (II) es la región donde se apreciarán los resultados de la modelación, las iniciales (AG) indican la Isla Ángel de la Guarda y la (T) Isla Tiburón. 40

Figura 20. Promedio estacional de la temperatura a 500 metros de profundidad. 42

Figura 21. Cortes de la región (II), corte b-b invierno y primavera. 42*

Figura 22. Cortes de la región (II), corte b-b verano y otoño. 43*

Figura 23. Cortes de la región (II), corte c-c invierno, primavera, verano y otoño. 43*

Figura 24. Región (II) de Enero(a)-Abril (d) . Campos de velocidad creados en Matlab. 44

Figura 25. Región (II) de Mayo (e)-Agosto (h). 45

Figura 26. Región (II), Septiembre (i) y Octubre (j). 46

Figura 27. Región (II), Noviembre (k) y Diciembre (l). 47

Figura 28. Promedio estacional Otoño(a) y promedio Anua (b), Región (II). 47

1 Introducción

Se sabe que desde algunos años atrás, la solución numérica de las ecuaciones que describen la evolución de los fluidos Geofísicos en rotación, como son la atmósfera y el océano, se desarrollaron de forma paralela a los avances que se suscitaron en otros campos de la ingeniería. La aparición de las primeras computadoras abrió la posibilidad para realizar cómputo numérico que van más allá de las soluciones analíticas conocidas hasta entonces de algunos problemas de fluidos geofísicos muy particulares. En esa época se pensaba en que sería posible llevar a cabo el viejo sueño newtoniano de poder pronosticar los estados futuros de la atmósfera incluso del océano a partir de condiciones iniciales y de frontera conocidas. El éxito parcial de los primeros ejercicios numéricos dio pie a la creación de proyectos más ambiciosos, de construcción de modelos más completos de atmósfera y océano, e incluso de modelos que incluyen el acoplamiento entre estos dos fluidos (Martínez, 2013).

Se entiende que un modelo científico es una representación teórica de un fenómeno natural, típicamente expresado en forma matemática, que permite una mejor comprensión y estudio de su comportamiento. En el caso de la atmósfera y océano, el comportamiento está regido por las ecuaciones asociadas a la dinámica de fluidos y otros procesos físicos. En general, estas ecuaciones se expresan como ecuaciones diferenciales parciales, las cuales describen la evolución futura de las diferentes variables relevantes en función de los valores de las distintas variables en el presente. El modelo matemático consiste en estas ecuaciones junto con los valores de parámetros y condiciones de frontera. Si en un momento dado, conociéramos el estado de la atmósfera y del océano, podríamos en principio resolver las ecuaciones de los modelos matemáticos para determinar los estados futuros de éstos.

En la práctica, las ecuaciones son tan complejas que esto es imposible de hacer en forma "analítica", por lo cual es necesario resolver las ecuaciones en forma aproximada usando métodos numéricos con ayuda de computadoras. Los programas computacionales que resuelven estas ecuaciones aproximadas son comúnmente conocidos como "modelos numéricos" (Takahashi, 2015).

Otra de las tareas importantes y difíciles en la modelación es la verificación y validación del modelo en donde las salidas del modelo se utilizan para obtener conclusiones del sistema real y que para nuestro caso, es la zona de estudio en donde se realiza la modelación (región de estudio: Océano Pacífico Mexicano).

Como se verá más adelante en el presente trabajo, la validación del modelo se hará con los estudios previos que se han realizado en el Océano Pacífico Mexicano con el fin de corroborar de forma cualitativa que las salidas del modelo capturen estructuras oceánicas identificadas en los estudios previos. Cabe mencionar que la mayor parte de los estudios sobre la circulación en el Pacífico Mexicano se limitan en primer lugar a la circulación del Golfo de California y en segundo al sistema de la corriente de California, del resto existen pocos estudios. En un futuro se creó que, estudiando y comprendiendo la dinámica del océano junto con sus principales forzamientos que originan las corrientes se pueda generar energía limpia y renovable aprovechando el movimiento de las corrientes (energía hidrocínética).

El Golfo de California (GC) se caracteriza por la presencias de remolinos ciclónicos y anticiclónicos, estos remolinos son generados por distintos mecanismos, como son el esfuerzo del viento, el rotacional del esfuerzo del viento, flujos de calor, y la interacción de las corrientes producidas por estos con la batimetría y línea de costa. Los remolinos de mesoescala pueden ser ciclónicos y anticiclónicos. Una manera de estudiar estos remolinos es con ayuda de los modelos oceánicos regionales.

En un estudio numérico, sobre la circulación costera del Norte y Sur de Baja California, se diseñó una serie de experimentos numéricos empleando dos mallas con distintas características (una fina y una gruesa), siguiendo la topografía del terreno, datos del SODA (Simple Ocean Data Assimilation) y condiciones de frontera abiertas para la malla más grande, esto con el objetivo de comprender los principales mecanismos que mantienen y controlan la variabilidad de la corriente superficial de California, siendo el viento el principal responsable de la estacionalidad de las dos estructuras (Corriente Superficial de California y la Subcorriente de California), donde la Corriente Superficial de California es la más intensa ($20\text{-}30\text{ cm s}^{-1}$) y más profunda en primavera.

Se encuentra que la variabilidad intra-estacionales debida a la generación de remolinos de mesoescala es producto de inestabilidades barotrópicas y baroclínicas del sistema de la corriente de California (Mateos, Marinone, y Lavín, 2013; Mateos, Marinone y Parés-Sierra, 2009; Marinone y Mateos, 2013).

Un estudio de la dinámica de la Corriente del Sur de California, compara con la circulación media y estacional a partir de observaciones in situ de satélite las simulaciones de un modelo que resuelve ecuaciones primitivas, siguiendo la topografía de terreno y con diferentes forzamientos del viento. El modelo y los datos son combinados para reconstruir la estructura de mesoescala del océano durante un período de tres semanas. El flujo físico resultante se utiliza para conducir un modelo de ecosistema 3D para interpretar variaciones de SeaWiFS (Sea-Viewing Wide Field-of-View Sensor). Con este método se obtiene una imagen más completa y consistente de los procesos físicos y los ecosistemas de la CSC, y proporcionan la base para abordar cuestiones fundamentales sobre la dinámica y la previsibilidad del océano costero (Di Lorenzo, et al., 2004).

En el Pacífico Norte fluctuaciones dinámicas de escalas de tiempo interanuales y más largas, están dominadas por dos modos de variabilidad, 1.- la Oscilación Decenal (PDO, por sus siglas en ingles) y 2.- la Oscilación del Giro del Pacífico Norte, (Chenillat, et al., 2012). Al Sur la corriente de California se ha estudiado usando el modelo tridimensional (ROMS) con forzamientos del viento y la circulación de temporada, las salidas del modelo se comparan con datos in situ. La combinación del esfuerzo del viento y la deflexión costera del flujo hacia el polo generan vorticidad relativa positivas a principios de verano, en la literatura se conoce como Southern California Eddy (Di Lorenzo, 2003).

Por otro lado, en la región Norte, parte Central y Sur del Golfo de California estudios indican la presencia de giros ciclónicos y anticiclónicos. En el Norte del Golfo de California (región norte, dividida por la isla Tiburón y la isla Ángel de la Guarda) el patrón de la circulación se obtuvo a partir de boyas a la deriva y observaciones hidrográficas. Los patrones obtenidos, fueron analizados y explicados utilizando un modelo forzado con

ecuaciones primitivas lineales de dos capas a la frecuencia anual, esfuerzos del viento estacional y flujos de calor a través de la superficie. La circulación superficial modelada consiste en giros estacionales ciclónicos de junio a octubre mientras que los anticiclónicos son de diciembre a abril, ambos ubicados en la región central del norte del Golfo de California (Beier y Ripa, 1999).

Para identificar los remolinos en la región central y sur se seleccionaron datos de 18 cruceros tomando en cuenta la resolución vertical y horizontal, en donde se construyen mapas de anomalías de la topografía dinámica, a partir de los datos históricos hidrográficos. En el estudio de Figueroa (2003) se realizó un inventario de los remolinos dominantes en el Golfo de California, regiones centro y sur. Encontrando que al Sur del Golfo de California remolinos donde las dimensiones (30 km a 52 km de diámetro) en la horizontal y el sentido de rotación son variables. Otra característica, es que la posición de estos no están vinculados a las cuencas (Figueroa, Marinone y Lavín, 2003). Este estudio indica que en la región central y sur un giro anticiclónico es casi permanente a lo largo de la cuenca de San Pedro Mártir, calculado a partir de las alturas dinámicas y corrientes geostróficas.

En otro estudio realizado por Pegau, et al., (2003), con imágenes de satélite en un periodo de 3 años y mediciones de SST (Sea Surface Temperature, por sus siglas en ingles), se observó e identificó una serie de remolinos creyendo que existe inestabilidad baroclínica a lo largo de la costa por ondas atrapadas y los vientos locales, centrándose en el cuenca de Guaymas y sur del golfo. La presencia de estos remolinos en toda la cuenca se hacen presentes durante el verano. En agosto y septiembre al norte un giro anticiclónico y al sur un ciclónico, además de que hay una clara evidencia de un meandro anticiclónico en la boca del golfo. Estos remolinos son de 70 a 100 km de diámetro y el resultado de estos 3 años sugiere que pueden ser hasta cinco remolinos o meandros y algunos no se alcanzan a ver por la falta de clorofila.

Las observaciones de satélite de color de temperatura y de la superficie del mar muestran la existencia de una serie de remolinos anticiclónicos a lo largo del Golfo de California y para investigar la generación de estos remolinos Zamudio (2008) usa un modelo regional (HYCOM, Hybrid Coordinate Ocean Model) configurado para el golfo y es anidado dentro de un modelo global, generando una climatología y usando tres diferentes resoluciones. Los experimentos realizados aíslan los efectos del viento local y los efectos remotos del océano obteniendo como resultado que el viento local no es esencial para la generación de estos remolinos, sino que es el forzamiento remoto del océano y las velocidades de estas corrientes superficiales llegaron a medir de 25 a 30 cm s⁻¹.

Pantoja (2012) simuló con el modelo ROMS la dinámica del Pacífico Centra Mexicano en un periodo de 3 años (2003-2005) desde Cabo de Corrientes a Cabo San Lucas, y encontró que el modelo reproduce tanto la variabilidad media y estacional de la temperatura superficial del mar como los remolinos y filamentos de mesoescala observados por medio de satélite. Además, el modelo representa adecuadamente las principales corrientes de la región: la corriente de California, la corriente costera mexicana y las corrientes del Golfo de California. Estas últimas están ligadas a la intensificación de la corriente costera mexicana e interactúan de tal forma que el corte lateral entre éstas dos da lugar a la generación de remolinos en la entrada al golfo.

1.1 Hidrocinética

Debido a que la mayor parte de la superficie del planeta Tierra (70.8%: 362 millones de km^2) está cubierta por océanos y mares. Ha ocupado un enorme espacio favorable para el desarrollo de estudios y tecnologías que beneficien a los seres humanos extrayendo un gran número de recursos que no sean tan agresivos con el medio ambiente, CONABIO (2012). El movimiento en los mares es constante llevando grandes cantidades de agua a través de los océanos de del planeta Tierra. Con ayuda de dispositivos que se encuentran en etapa de desarrollo se puede extraer de las corrientes oceánicas energía utilizable.

La energía de las corrientes en el océano está siendo considerada como una fuente de energías renovables, debido a que el agua es 832 veces más densa que el aire, las corrientes oceánicas pueden generar energía hidrocinética producida por el movimiento de las corrientes en los océanos, SENER (2009). Este recurso considerado como renovable no ha sido explotado en México para la producción de energía. Es por ello que en este trabajo se intenta validar y comprender la circulación de estas corrientes en el Pacífico Mexicano.

Para tener una idea y por mencionar algunos ejemplos de la aplicación de esta energía, la Universidad de Brasilia, Brasil ha creado turbinas que benefician a comunidades aisladas y que carecen del servicio eléctrico, estas turbinas funcionan con el caudal de los ríos y la cantidad de energía generada por la turbina se relaciona con la velocidad de las aguas y con la profundidad del río (Pesquisia, 2003). También han sido probadas para diferentes finalidades en EEUU, China y Corea.

En Japón la organización New Energy and Industrial Technology Development Organization (“NEDO”) han elegido a distintas corporaciones para el estudio e innovación de turbinas generadoras de energía impulsadas por las corrientes marinas (TOSHIBA, 2014). También investigadores de Suecia en donde participa la Universidad Tecnológica de Chalmers instalaron turbinas en Irlanda del Norte en donde cubrieron 3 kilómetros cuadrados y generaron electricidad para cubrir una demanda de dos mil hogares (BBC, 2011).

En Estados Unidos y otros países están llevando a cabo experimentos con dispositivos para usar la energía por corrientes; Sin embargo, la energía de corrientes marinas está en una etapa temprana de desarrollo. Existen turbinas comerciales para el uso en ríos y en los mares, prototipos que se encuentran en prueba. Tecnologías más avanzadas se han desarrollado para su uso con las corrientes de marea en entornos cercanos a la costa.

Los ejemplos anteriores se han desarrollado en ríos y los estudios en el océano aún se encuentran en desarrollo. Con el seguimiento de estudios y trabajos en las áreas correspondientes en un futuro cercano se espera que se pueda aprovechar éste recurso en el Océano Pacífico Mexicano.

1.2 Circulación general del Pacífico Mexicano

Este capítulo describe la circulación general del pacífico mexicano y algunas estructuras oceánicas de mesoescala con las que se comparará el modelo implementado en este trabajo. La Circulación General Oceánica es el patrón persistente a gran escala y relacionada con variables tales como temperatura, salinidad, presión y densidad. La circulación de las corrientes oceánicas superficiales es forzada por el viento transportando masa y energía. Dentro de las propiedades importantes de los océanos que distingue a otros fluidos es que debido a su salinidad, el agua marina posee una alta capacidad calorífica, permitiendo la redistribución del calor absorbido y liberándolo a la atmósfera en sitios diferentes.

Dentro de la circulación de los océanos un efecto importante en el movimiento es la rotación terrestre. Uno de los efectos de la rotación es la aceleración de las partículas en movimiento por la fuerza de Coriolis. La fuerza de Coriolis ($-2\Omega \times u$), es perpendicular al movimiento y actúa a la derecha de la dirección del movimiento cuando el observador está alineado (hemisferio norte) con el vector de rotación y a la izquierda del movimiento cuando el observador está alineado en sentido contrario al vector de rotación (hemisferio sur). Debido a que la fuerza de Coriolis actúa perpendicular al movimiento no realiza trabajo (Cushman-Roisin y Beckers, 2006).

Modelar la dinámica del Pacífico Mexicano nace de la necesidad de contar con condiciones de frontera abierta con alta resolución espacial y temporal para modelar la bahía de Todos Santos, Baja California. También para encontrar las regiones con mayor potencial para la generación de energía hidrocínética en todo el litoral marítimo de los Estados Unidos Mexicanos. Para ello se parte de las corrientes climatológicas globales, con el fin de obtener las condiciones de frontera abierta en el modelo regional. Es decir, se pondrá atención principalmente en la modelación de las corrientes climatológicas en el océano Pacífico Mexicano, debido a que hay un especial interés en las corrientes persistentes.

Como ya se había mencionado, estudios previos en la zona costera de Baja California, la Bahía de Todos Santos, Golfo de California y Pacífico Central se ha analizado que en los océanos la circulación general de las corrientes es forzada por el viento, flujos de calor y condiciones de frontera abierta, (Mateos, Marinone, y Lavín, 2013; Mateos, Marinone y Parés-Sierra, 2009; Marinone y Mateos, 2013; Di Lorenzo, et al., 2004; Chenillat, et al., 2012; Di Lorenzo E., 2003; Beier y Ripa, 1999; Figueroa, Marinone y Lavín, 2003; Pegau, Boss y Martínez, 2002; Zamudio, Hogan y Metzger, 2008 y Pantoja, 2012).

En general estas corrientes superficiales generadas por el esfuerzo del viento pueden ser cálidas o frías. Las cálidas fluyen del Ecuador hacia los polos y las frías en sentido opuesto. Principales corrientes, Figura 1.

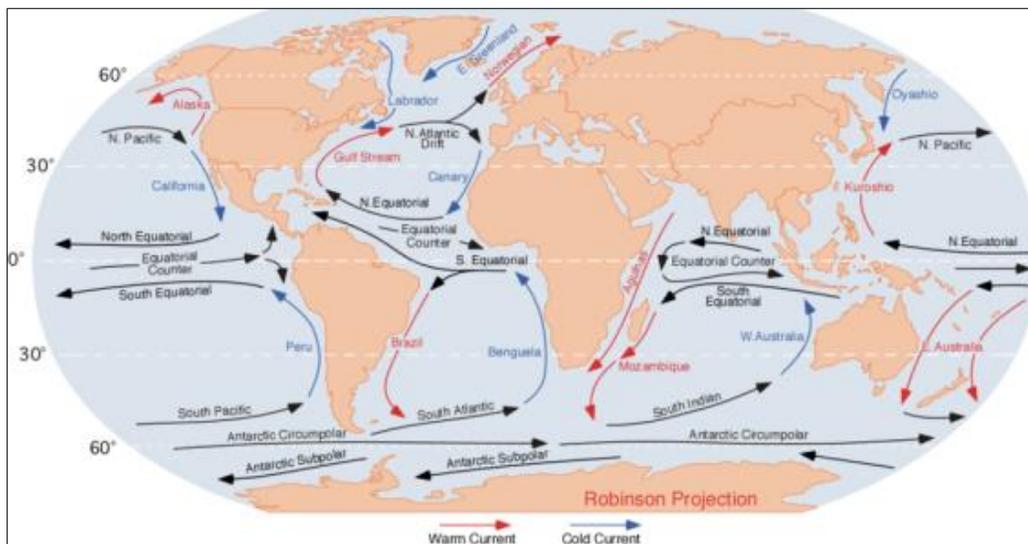


Figura 1. Esquema de las principales corrientes.

Las corrientes dominantes en las costas Mexicanas del Pacífico son Sistema de corriente de California y corriente Ecuatorial que forman parte de los giros Nor-ecuatorial y Sur-ecuatorial respectivamente. En el océano Atlántico la corriente del Golfo de México (corriente de Lazo).

El sistema de la corriente de California lo conforman 3 corrientes:

- i. Corriente de California (CC) con dirección al ecuador.
- ii. Corriente costera superficial estacional (CCS).
- iii. La contracorriente sub-superficial (CSS) que viaja al norte (Lynn y Simpson, 1987).

La Corriente de California (CC) es la parte este del giro anticiclónico del Pacífico Norte que se caracteriza por ser superficial (0-300 m). La CC transporta agua de baja temperatura, salinidad y con alto contenido de oxígeno disuelto desde regiones polares hasta la zona ecuatorial. La velocidad promedio de la CC es típicamente menor a 25 cm/s (Reid y Schawartzlose, 1962).

La CCS fluye hacia el ecuador en primavera y verano en la región de California y la parte norte de la península de Baja California y se invierte en otoño e invierno cerca de la costa (Lynn y Simpson, 1987). La CSS fluye hacia el norte con velocidad entre 4-8 cm/s durante la mayor parte del año a una profundidad de 200 m (Barton y Argote, 1980).

La Corriente Nor-Ecuatorial es una corriente marina cálida del océano Pacífico que fluye de Este a Oeste entre alrededor de los paralelos 10° norte y 20° norte. Es el lado meridional de un giro subtropical que sigue el sentido de las agujas del reloj. A pesar de su nombre, la corriente Ecuatorial del Norte no está conectada con el ecuador.

En ambos océanos, está separada de la circulación ecuatorial por la contracorriente ecuatorial (también conocida como la Contracorriente Ecuatorial), que fluye hacia el Este.

El flujo superficial hacia el Oeste en el ecuador en ambos océanos es parte de la Corriente Ecuatorial del Sur, Figura 2.

Figura 2, esquema de la corriente Ecuatorial.

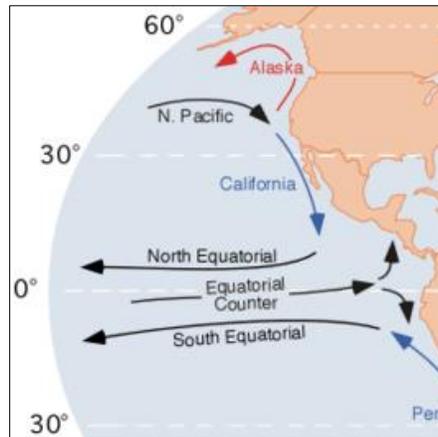


Figura 2. Esquema de la Corriente Ecuatorial.

Estas corrientes superficiales ecuatoriales, denominadas Nor-Ecuatorial y Sur-Ecuatorial respectivamente, transportan considerables volúmenes de agua caliente, provocando un descenso del nivel del mar en el lado este del Pacífico y acumulando enormes volúmenes de agua cálida en las regiones ecuatoriales y tropicales del lado oeste. Esta acumulación crece en forma paulatina, llegando un momento en que no puede continuar incrementándose por más tiempo ni desfogándose lo suficiente hacia el norte por la Corriente del Kuroshio o hacia el sur por la Corriente Australiana; debido a esta acumulación se forman corrientes submarinas y se comporta como una Onda Kelvin y una parte de estas tiende a seguir un camino de retorno, de Asia hacia América, entre las dos corrientes ecuatoriales, denominándose entonces Contracorriente Marina Ecuatorial (Ayala Mata y Ayala Ruiz, 2015).

Debido a que esta Contracorriente se desplaza en una zona de calmas ecuatoriales manifestándose únicamente en forma ocasional, los vientos débiles del oeste no encuentran obstáculos que perturben su velocidad promedio de desplazamiento (entre 15 a 20 km/h), por lo que aproximadamente tres meses después de iniciar su recorrido arriban a las costas de América Central y de la República Mexicana antes de cambiar de dirección hacia el

noroeste, hasta aproximadamente 20° de latitud norte y volver a integrarse a la Corriente Nor-Ecuatorial.

La Contracorriente Marina Ecuatorial (al igual que la zona intertropical de convergencia) no está situada exactamente en el Ecuador Geográfico, sino desplazada aproximadamente 5° de latitud hacia el norte (Ayala Mata y Ayala Ruiz, 2015).

Estas corrientes marinas transportan masas de agua de enorme volumen. La unidad de medida del flujo es el Sverdrup. En donde, 1 Sv=10⁶ m³/s (indica el flujo de 1 millón de m³/s). En la siguiente Tabla 1, se observa la descripción de las corrientes Nor-Ecuatorial, Sur-Ecuatorial y la Contracorriente Ecuatorial (Duque , 2001).

CORRIENTES DEL OCÉANO PACÍFICO	ANCHO (km)	PROFUNDIDAD (m)	VELOCIDAD (cm/s)	TRANSPORTE Sverdrups (10⁶ m³/s)
Corriente Ecuatorial del Norte o Sur	1500	1000	20	45
Contracorriente Ecuatorial	500	1000	150	60

Tabla 1. Descripción de las corrientes en el Pacífico (Corrientes Nor-Ecuatorial, Sur-Ecuatorial y la Contracorriente Ecuatorial (Duque, 2001).

En la Figura 3, se ilustra un mapa mundial de la circulación superficial promedio de la atmósfera, notando que comparte similitud con la circulación general de los océanos en la mayoría de las características. Observe especialmente los giros que forman los vientos y las aguas en todas las cuencas oceánicas del mundo. La similitud se debe a que el viento es el mecanismo impulsor fundamental de las corrientes oceánicas superficiales (MetEd, 2007).

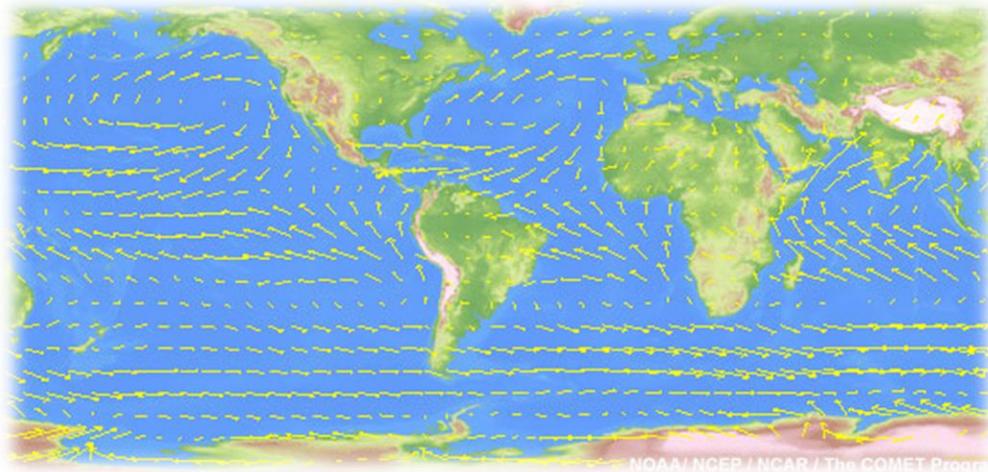


Figura 3. Reanálisis NCEP/NCAR de vientos promedio de superficie, 1979-1995. Producido por (MetEd, 2007).

Este conjunto de corrientes del Océano Pacífico Mexicano que interactúan con las costas mexicanas ya mencionadas, serán reproducidas numéricamente en el modelo ROMS (Regional Ocean Modeling System, por sus siglas en inglés).

Para las condiciones de frontera abierta puede ser extremadamente difícil hacerlo bien, ya que existen condiciones en las que hay flujo entrante y saliente a lo largo del mismo límite o incluso a diferentes profundidades en la misma ubicación horizontal (Orlanski, 1975). El estudio o tratamiento de condiciones de frontera abierta es un problema específico y distintivo asociado con la formulación de modelos regionales costeros oceánicos.

Para hacer la validación se cuenta con estudios previos, de revistas arbitradas internacionalmente, que indican el comportamiento de la circulación en la parte norte del Pacífico Mexicano y en el Golfo de California. Con las salidas del modelo se buscarán que se reproduzca las estructuras (remolinos) que presentan varios autores, según sea el caso.

1.3 Modelos regionales

Los modelos regionales son una forma de aumentar la resolución de un modelo sin que las exigencias computacionales aumenten significativamente, es limitar la solución a una región restringida (conocida como "dominio").

En los modelos regionales se requiere especificar las condiciones de frontera del dominio. Lo más común es especificar en las fronteras los valores de las diferentes variables del modelo usando resultados de un modelo global o alguna otra fuente, (CARS, 2009).

Por esto, el modelo regional se puede considerar como una herramienta que permite obtener resultados más detallados sobre la base de información de baja resolución del modelo global (como una especie de "lente de aumento"). Por lo mismo, el modelo regional hereda deficiencias del modelo global que proporciona las condiciones de frontera.

La tecnología hoy en día ha permitido que se desarrollen modelos que sean posibles de correr en computadoras con ciertas características de procesamiento y además es relativamente fácil conseguir los programas y datos necesarios de los modelos atmosféricos y oceánicos. Por ejemplo, algunos modelos oceánicos regionales populares son:

- Regional Ocean Modeling System (ROMS).
- Princeton Ocean Model (POM).

Para la modelación de este trabajo, utilizaremos el modelo ROMS (Regional Ocean Modeling System, por sus siglas en inglés), con la herramienta de anidamiento AGRIF (Adaptive Grid Refinement in Fortran) desarrollada en Fortran 90. La subrutina permite incluir las características de una malla refinada dentro del modelo numérico de diferencias finitas. El proceso de anidamiento es implementado para preservar la eficiencia del modelo ROMS sobre los cálculos simultáneos. Ambas mallas intercambian información a través de las fronteras laterales de la malla final, (Shchepetkin y McWilliams, 2005).

Es oportuno mencionar que los modelos tienen incertidumbres y se debe estar atento a los errores que arrojan estos modelos. Los modelos numéricos, por necesidad, emplean una variedad de aproximaciones que pueden no ser apropiadas para algún fenómeno de interés y son, por lo tanto, fuentes de error. Las principales fuentes de error son:

Baja resolución: Por lo cual los efectos sobre el clima de aspectos de escala local (por ej., valles interandinos, afloramiento costero) no son correctamente representados.

Parametrizaciones: Estos son métodos semi-empíricos que se basan en observaciones hechas en condiciones particulares y que podrían no ser apropiadas en otras.

Condiciones iniciales y de frontera: Los errores que existan en los datos utilizados para definir estas condiciones (por ej. datos de temperatura de mar, salinidad, densidad, etc.) afectarán negativamente los resultados finales.

1.4 Modelo ROMS

El ROMS es un modelo de superficie libre, tridimensional, que usa coordenadas S generalizadas en la vertical y coordenadas curvilíneas en la horizontal; resuelve las ecuaciones primitivas de momento con la aproximación hidrostática, las ecuaciones de temperatura, salinidad y usa una ecuación de estado que relaciona a la presión, temperatura y salinidad con la densidad. Las ecuaciones de momento con la aproximación de Boussinesq en la horizontal son:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla u - fv = -\frac{\partial \phi}{\partial x} + F_u + D_u \quad \text{Ecuación 1}$$

Y

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla v + fu = -\frac{\partial \phi}{\partial y} + F_v + D_v \quad \text{Ecuación 2}$$

Las ecuaciones de temperatura potencial $T(x,y,z,t)$ y salinidad $S(x,y,z,t)$

$$\frac{\sigma T}{\sigma t} + \vec{v} \cdot \nabla T = F_T + D_t \quad \text{Ecuación 3}$$

Y

$$\frac{\sigma S}{\sigma t} + \vec{v} \cdot \nabla S = F_S + D_S \quad \text{Ecuación 4}$$

Y la ecuación de estado

$$\rho = \rho(T, S, P) \quad \text{Ecuación 5}$$

La ecuación hidrostática es

$$\frac{\partial \phi}{\partial z} = -\frac{\rho g}{\rho_0} \quad \text{Ecuación 6}$$

Y la ecuación de continuidad

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación 7}$$

Las variables que se utilizan en las ecuaciones son:

D_u, D_v, D_c	Términos difusivos
F_u, F_v	Forzamientos
$f(x, y)$	Parámetro de Coriolis
g	Aceleración de la gravedad
$h(x, y)$	Profundidad del fondo
ν, ν_θ	Viscosidad molecular y la difusividad
K_m, K_c	Viscosidad de remolino vertical y difusividad
P	Presión Total $P \approx -\rho_0 g z$

$\phi(x, y, z, t)$	Presión dinámica $\phi \approx P/\rho_0$
$\rho_0 + \rho(x, y, z, t)$	Totales in situ de la densidad
$S(x, y, z, t)$	Salinidad
t	Tiempo
$T(x, y, z, t)$	Temperatura potencial
u, v, w	Componentes del vector de velocidad $\vec{v}(x, y, z)$
x, y, z	Coordenadas horizontales
$\zeta(x, y, z, t)$	Elevación de la superficie

Las ecuaciones de parametrización de Reynolds:

$$\overline{u'w'} = -K_M \frac{\partial u}{\partial z}; \quad \overline{v'w'} = -K_M \frac{\partial v}{\partial z}; \quad \overline{C'w'} = -K_C \frac{\partial C}{\partial z} \quad \text{Ecuación 8}$$

Las condiciones de frontera en la vertical son:

En la parte superior ($z = \zeta(x, y, t)$):

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = J_s^x(x, y, t) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$K_m \frac{\partial v}{\partial z} = J_s^y(x, y, t) \quad \text{Ecuación 10}$$

$$K_c \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{Q_c}{\rho_0 C_p} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$w = \frac{\partial \zeta}{\partial t} \quad \text{Ecuación 12}$$

Y en la parte inferior ($z = -h(x, y)$):

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = J_b^x(x, y, t) \quad \text{Ecuación 13}$$

$$K_m \frac{\partial u}{\partial z} = \mathcal{T}_b^y(x, y, t) \quad \text{Ecuación 14}$$

$$K_c \frac{\partial C}{\partial z} = 0 \quad \text{Ecuación 15}$$

$$-w + \vec{v} \cdot \nabla h = 0 \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde las variables son:

Q_c	Flujo superficial
$\mathcal{T}_s^x, \mathcal{T}_s^y$	Esfuerzos de viento en superficie
$\mathcal{T}_b^x, \mathcal{T}_b^y$	Parámetro de Coriolis

En superficie el esfuerzo del viento y flujos de calor. En el fondo, la fricción del fondo y los flujos de calor son cero. Las condiciones de frontera en la horizontal son impuestas en los campos de temperatura, salinidad y velocidad. El modelo ROMS resuelve las ecuaciones de momento usando un esquema de paso de tiempo dividido (modo externo e interno) el cual requiere un tratamiento especial y acoplamiento entre los modos barotrópicos (rápido) y baroclínicos (lento). La superficie libre y las ecuaciones de momento verticalmente integradas, son calculadas en un número finito de pasos de tiempo barotrópicos dentro de cada paso de tiempo baroclínico.

En la componente horizontal, las ecuaciones son discretizadas sobre una malla en coordenadas ortogonales curvilíneas; lo que permite aplicaciones en coordenadas cartesianas, polares y esféricas, Figura 4.

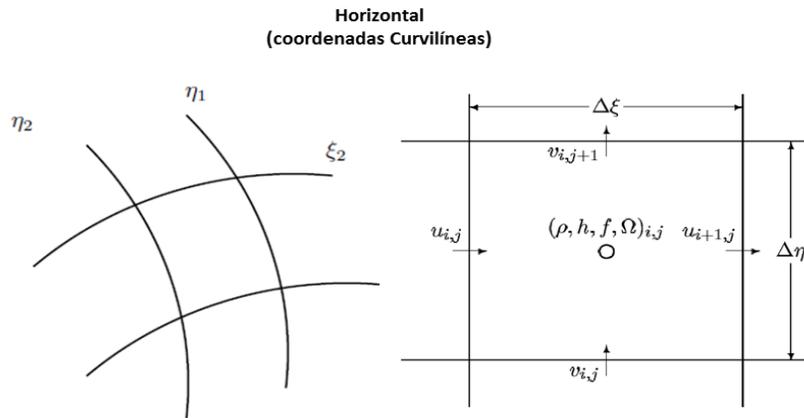


Figura 4. Coordenadas curvilíneas. (ROMS, 2015)

En la vertical, las ecuaciones son discretizadas sobre una topografía variable usando coordenadas verticales que siguen la topografía, coordenadas "S" generalizadas (Figura 5).

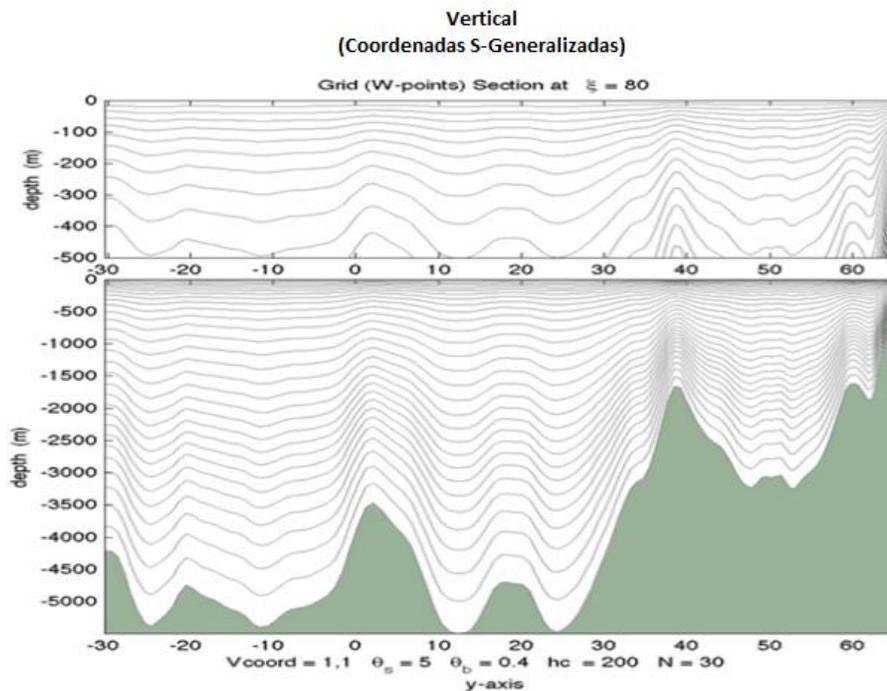


Figura 5. Coordenadas S-Generalizadas. (ROMS, 2015)

2 Objetivo

Implementar y validar el modelo oceánico ROMS para el Pacífico Mexicano.

Objetivo particular

- Implementar el modelo ROMS en modo climatológico, para el Pacífico Mexicano.
- Validar cualitativamente las simulaciones en el Golfo de California.

3 Hipótesis

Con las condiciones de frontera provenientes de un reanálisis, que incluye observaciones y modelado, el Modelo oceánico ROMS reproduce apropiadamente la climatología observada de corrientes para el Pacífico Mexicano.

4 Metodología

Durante la última década, se han desarrollado en la UCLA, Universidad de Rutgers, y el IRD un modelo oceánico numérico en 3D destinado a la simulación de las corrientes, los ecosistemas, los ciclos biogeoquímicos, y los movimientos de sedimentos en varias regiones costeras. La versión del código IRD, ROMS_AGRIF, hace uso del procedimiento de refinamiento de malla y se acompaña de una potente caja de herramientas para el pre y post-procesamiento (Romstools). Esta versión no está evolucionando más, pero ha sido ampliamente probado. Por lo tanto es el recomendado para los usuarios que buscan una versión estable y una configuración estándar en un tiempo mínimo.

Para llevar a cabo la instalación existen tres versiones del modelo ROMS:

1. Rutgers University, USA : <http://www.myroms.org>
2. UCLA University: http://ww.atmos.ucla.edu.cesr.ROMS_page.html
3. IRD/INRIA version llamada 'ROMS_AGRIF': (Institut de Recherche pour le Developpement), autores: (Penven, et al., 2007).

El ROMS_AGRIF es modelo de circulación del océano que ha sido especialmente diseñado para simulaciones precisas de los sistemas regionales. Para llevar a cabo la modelación es necesario contar con la malla, la topografía del fondo del océano, forzamientos y condiciones de frontera.

El directorio donde se encuentra las herramientas ha sido diseñado para Matlab para versiones de 2006 a 2012, se requiere de al menos 2 Gb de espacio en disco. Se trabaja en estaciones Linux y podría ser utilizado en cualquier plataforma siempre y cuando proporcione librerías NetCDF. En el Roomstool ya se cuenta con las librerías y conjunto de datos globales.

Todos los archivos se encuentran comprimidos y se descarga del sitio web utilizando un usuario y una contraseña para iniciar con la descarga, link: (<http://www.romsagrif.org/>).

Se descomprime todos los directorios que contiene el ROMS_AGRIF creando diferentes directorios con programas y bases de datos.

Se configuran los archivos (códigos) de extensión “.mat” y ejecutables para leer todas las librerías de Romstools, generar las condiciones iniciales y forzamientos, indicar paso de tiempo, definir las variables que tomará en cuenta el modelo, etc.

El modelo es instalado en Turing el cual es un Clúster del IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del agua) que se encuentra ubicado en la Subcoordinación de Hidrometeorología, está compuesto por 1 nodo maestro con ocho núcleos de 128 GB de memoria RAM, 5 nodos esclavos con 64 cores y una configuración de memoria RAM de 252 GB cada uno. Además cuenta con un arreglo de discos tipo NAS (Newtword Attached Storage) con 60 TB de capacidad.

Una vez que la instalación se ha realizado con éxito se inicia sesión en Matlab en el directorio /Roms_tools/Run y se ejecuta el archivo *start.m* secuencia de comandos para establecer las rutas de Matlab. Posteriormente se abre el archivo *romstools_param.m* para comenzar con el procedimiento del preprocesamiento, este archivo contiene los parámetros necesarios para la generación de archivos de entrada del ROMS. Es necesario respetar el orden de los pasos de preprocesamiento: *make_grid*, *make_forcing* y *make_clim*.

En la primera sección del pre-procesamiento se genera la malla con la cual se va a modelar y que para nuestro caso, la malla fue generada de manera independiente a las herramientas del Romstool usando un código de Matlab “seagrid” del ROMS definiendo el dominio de estudio, mismo que fue descargado de la carpeta de Matlab, se agrega la librería “mexnc” en el archivo startup que viene en la carpeta de Matlab, es decir, se genera de manera independiente ya que se realizó un tratamiento a la malla (se edita la máscara, suavizado de la malla, etc.). También se debe de tener dentro de una carpeta los archivos de ETOPO1_Ice_g_gmt4.grd, modelo en relieve mundial de la superficie terrestre que integra

la topografía de la tierra y la batimetría del océano (NOAA, 2013) y la carpeta de GSHHG (Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database, por sus siglas en ingles) que contiene los archivos de línea de costa (NOAA-GSHHG, 2015). Una vez que se extrae la línea de costa con las coordenadas del dominio (Pacífico Mexicano) y la batimetría, en Matlab se inicia el comando “seagrid” donde crea la malla interpolando con la batimetría y la línea de costa en donde también realiza la máscara para diferenciar el océano con tierra Figura 6.

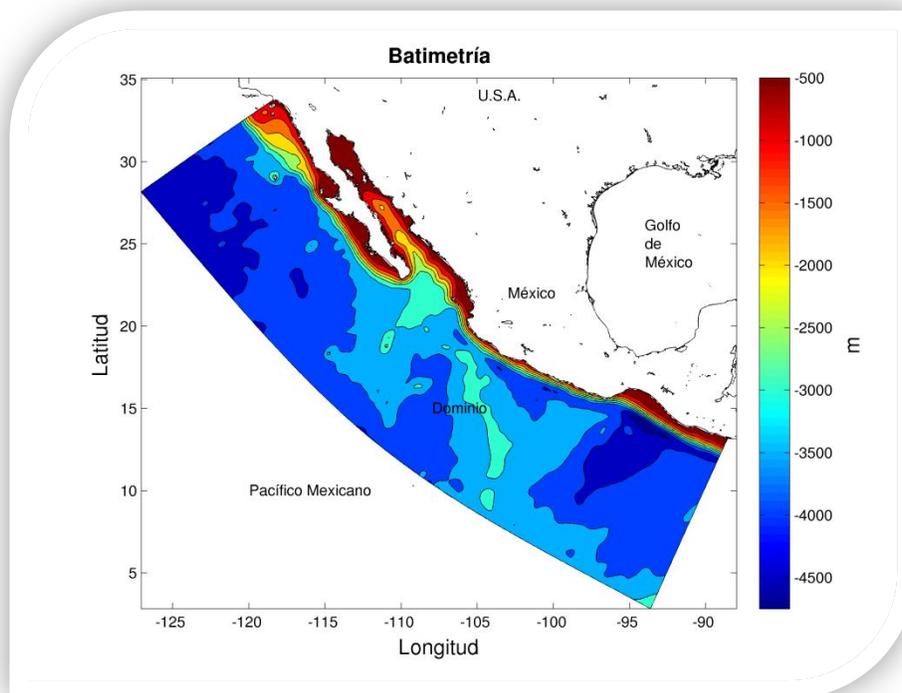


Figura 6. Malla, región de estudio.

Posteriormente se recorta la malla tomando únicamente la zona del Pacífico Mexicano dando como resultado una resolución de la malla de 12.5 kilómetros aproximadamente, un ancho de 1,200 kilómetros y largo de 5,400 kilómetros. Teniendo generada la malla, se cambia el directorio y se agrega el nombre del archivo “grd” con el cual se trabajará. En esta misma sección se definen 40 niveles, profundidad mínima de 100 m y una profundidad máxima de 6,000 m. La malla está dentro de las coordenadas en la latitud 0° y 35°N, en la longitud 125°E y 80°O.

Se trabajará con un algoritmo adaptativo en el interior. Debido a la naturaleza esencialmente hiperbólica de las ecuaciones primitivas hidrostáticas incompresibles, se requieren datos externos sólo para los flujos de frontera hacia el interior. Los flujos hacia el exterior se tratan con un nuevo algoritmo para la radiación de dos dimensiones. Se presta atención a la estimación de la velocidad de fase de la radiación, esencial para la detección de la dirección de los flujos de contorno.

Existen tres tipos de condiciones de contorno abierto.

- Condiciones de radiación.
- Métodos característicos.
- Esquemas de relajación.

La comprobación de las condiciones de frontera abierta se realiza generalmente por fenómenos aislados de la aproximación aguas poco profundas, (Marchesiello, McWilliams y Shchepetkin, 2001).

Se sabe que la imposición condiciones de frontera abierta a las ecuaciones primitivas es un problema mal planteado. En términos prácticos, esto significa que aunque exista una solución al problema planteado, tal solución puede ser demasiado sensible a las condiciones de frontera especificadas. Es decir, pequeños cambios en el las condiciones de frontera abierta puede provocar grandes cambios en la solución interior. El hecho es que la mayoría de los problemas en oceanografía física se definen dentro de los dominios espaciales que son tan grandes que no es factible para calcular soluciones numéricas sobre toda la región. En tales casos, es común practicar para encerrar la región de interés con límites artificiales para calcular la solución numérica en este subdominio. Para este procedimiento tenga éxito, las condiciones impuesta en el límite de cómputo debe ser compatibles, al menos en un sentido aproximado, con esto se busca la solución física.

Una de las condiciones de frontera abierta (OBC, Open Boundary Conditions) más popular es la condición de radiación originalmente sugerida por (Sommerfeld, 1949). Su atractivo es que muchos problemas en geofísica dinámica de fluidos son hiperbólicos por naturaleza.

Su aspecto más controvertido es la elección del valor de la velocidad de fase. La elección común en los estudios costeros ha sido la velocidad superficial de la onda de agua no dispersiva (Flather, 1976), donde extendieron este esquema para incluir los valores prescritos en las fronteras abiertas. (Orlanski, 1975) Sugiere la evaluación de la velocidad de fase utilizando valores interiores (Palma y Matano, 1998).

Para las condiciones iniciales utiliza la base de datos del CSIRO (Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation, por sus siglas en inglés), CARS2009 Atlas of Regional Seas. Este atlas contiene las propiedades del océano, está compuesto por bases de datos que proveen campos climatológicos y por temporada estacional. CARS2009 está compuesto por una malla de 1/2 grado e incluye datos de campos de temperatura y salinidad. CARS (2009) No proporciona información para cualquier año, los datos obtenidos en CARS2009 son resultado de un promediado e interpolación de todos los datos del perfil oceanográfico disponibles, la mayoría de los últimos 50 años (de 1960 a 2009), Dunn (2009).

En el siguiente capítulo se describen los resultados obtenidos de la modelación, así mismo, se menciona con que artículos o estructuras se comparan dicha modelación, ya que en cualquier trabajo o estudio de modelación, es importante la validación porque nos ayudan a entender el comportamiento de un proceso físico donde muchas veces las partes individuales del modelo parecen representar la realidad, pero cuando se consideran distintas variables en conjunto puede hacerlo más complicado y es necesario realizar gráficos que muestren dicho comportamiento.

5 Resultados y validación

Una vez configurado los archivos del ROMS_AGRIF, se utilizó un tiempo de cómputo de 11 días, utilizando el Clúster (Turing) nodo 4. De acuerdo a la configuración del modelo, al ser ejecutado obtenemos archivos de salida con las características en la información de contenido, en el nombre y tipo de archivo. Para analizar los resultados gráficamente fue necesario hacer la conversión de coordenadas “S” a coordenadas z, en la vertical. Los archivos “roms_avg.nc” y los archivos “roms_his.nc” que contienen las variables de temperatura, salinidad son visualizados en Matlab. El archivo “.out” se utilizó para generar el gráfico de la energía cinética, energía potencial y energía total (software Python).

A partir de las salidas del modelo, se calcula el promedio anual, mensual y estacional del último año (16), tomando en cuenta que los primeros 10 años se ocupan para la estabilización del modelo (Penven, et al., 2007; Chenillat, et al., 2012). Se analiza el año 16 de dicha modelación. En la Figura 7 se grafica la energía cinética en todo el volumen con la finalidad de observar que el modelo es estable a partir del año 10, notando que no existen perturbaciones.

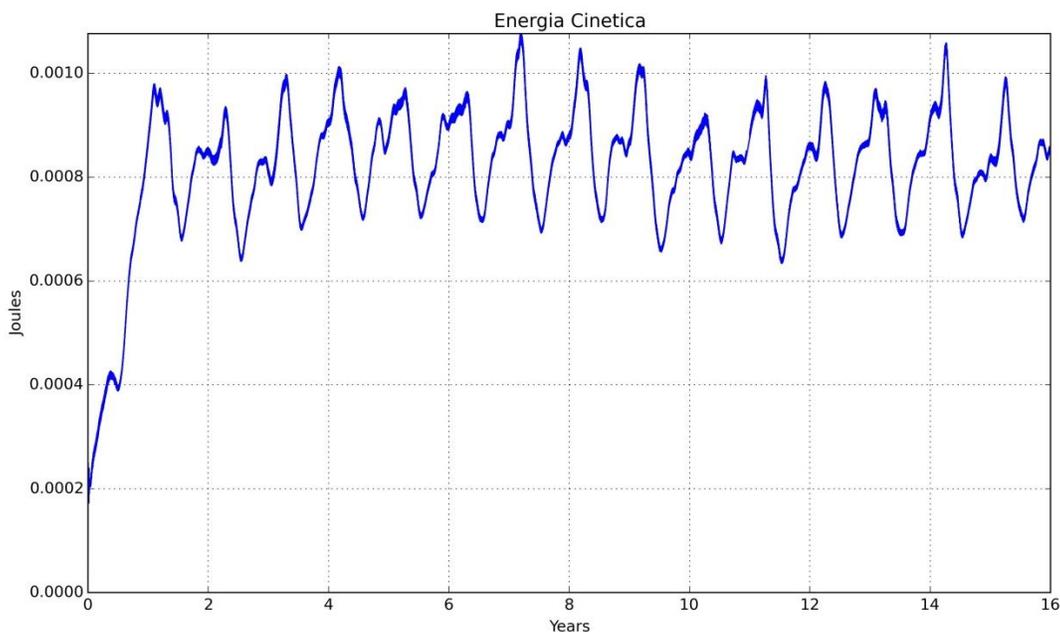


Figura 7. Energía cinética (se grafican 16 años).

Los resultados obtenidos por el modelo fueron procesados y comparados con artículos que hacen referencia a la región del Golfo de California (GC), como primera parte. En la literatura se identificó que existen estructuras (giros ciclónicos y anticiclónicos) en el Norte, Centro y Sur del Golfo de California comportándose de distintas maneras dependiendo el mes o la estación del año. Por ello, en la Figura 8 se muestran las regiones de estudio de la literatura así como de los resultados obtenidos de la modelación. Debido a que los giros se comportan de distinta manera en esa región del GC, se dividió en dos regiones; el recuadro marcado con el número romano (I) indica la región del Norte del Golfo de California y el recuadro con el número (II) la región Centro y Sur, marcando como una división las Islas Ángel de la Guarda y la Isla Tiburón (AG y T respectivamente).

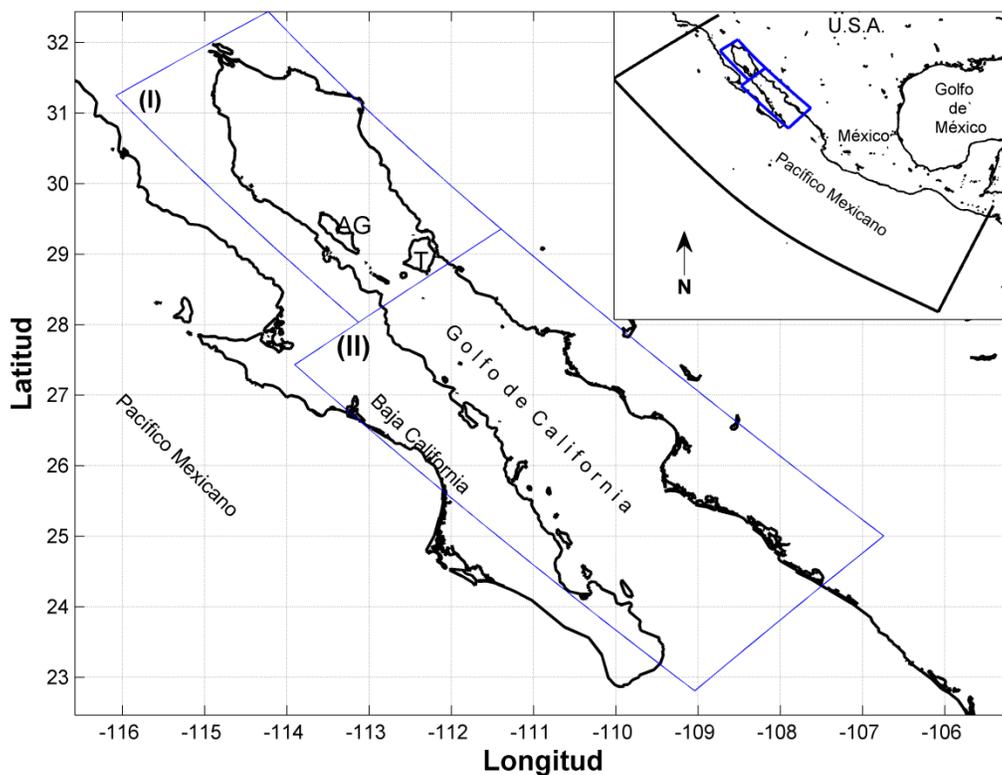


Figura 8. Regiones de estudio en el Golfo de California, el número (I) romano indica la región del Norte del Golfo de California y el número (II) romano la región Centro y Sur del GC, las iniciales AG indican la Isla de la Guarda y la letra T la Isla Tiburón.

En la Figura 9 se muestra la batimetría del Golfo de California generando tres cortes; el primero al Norte del CG (corte a-a*), el segundo al Centro del GC (corte b-b*) y el tercero al Sur del golfo (corte c-c*). En la Figura 10, en las estaciones de invierno y primavera se observa que existe una capa de mezcla hasta los 80 m de profundidad y en la Figura 11 para las estaciones de verano y otoño predomina más la estratificación.

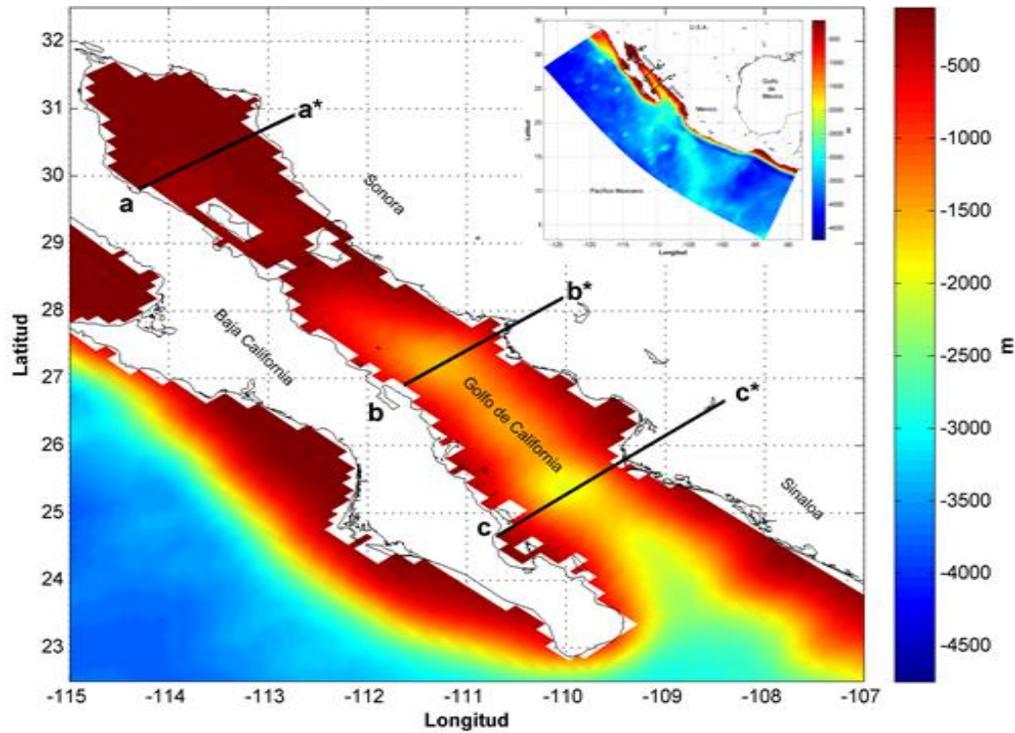


Figura 9. Batimetría y cortes del Golfo de California.

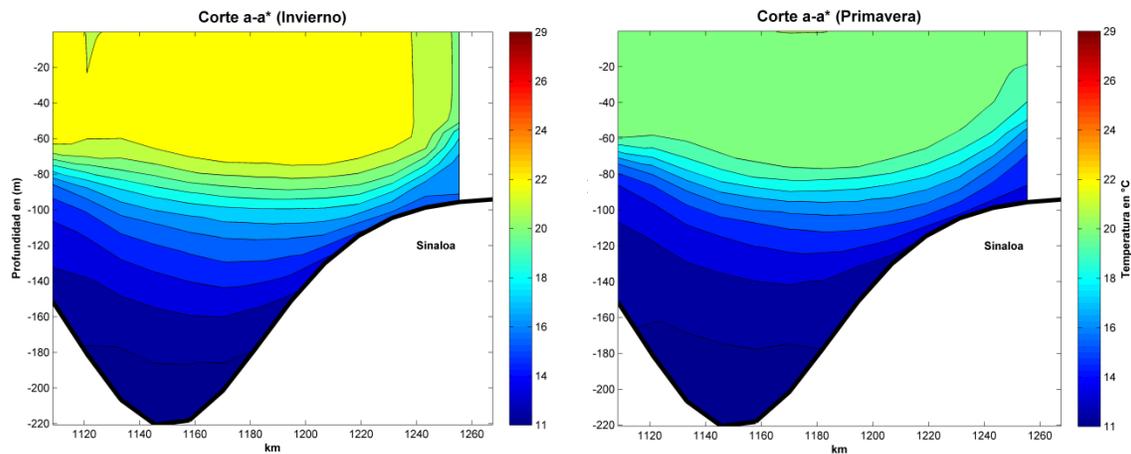


Figura 10. Cortes de la Región Norte del Golfo de California (corte a-a*), Invierno y Primavera.

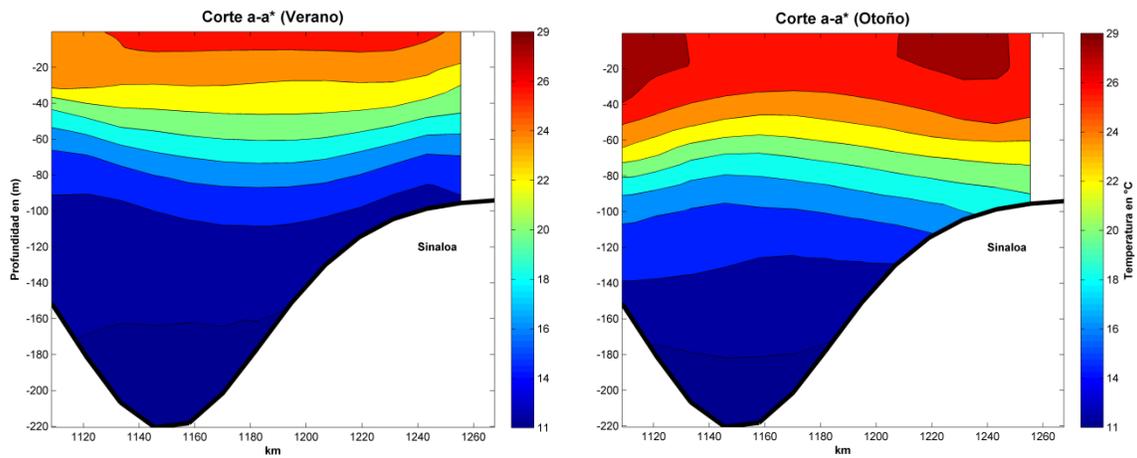


Figura 11. Cortes de la Región Norte del Golfo de California (corte a-a*), Verano y Otoño.

En la Figura 12, para la región del GC, se grafica la temperatura a 10 metros de profundidad, observando que las estaciones de invierno y primavera la temperatura del mar es menos cálida que en verano y otoño.

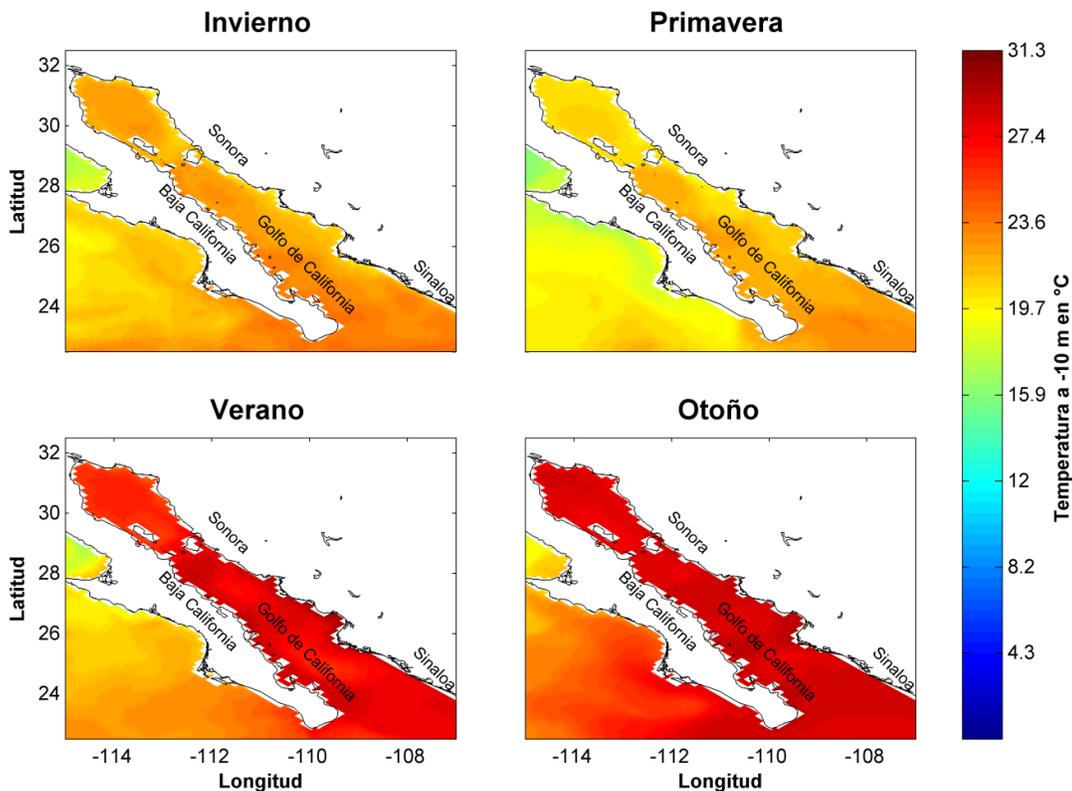


Figura 12. Temperatura a -10 metros de profundidad.

5.1 Región del Norte del Golfo de California

Para la región del Norte del Golfo de California se realizaron promedios mensuales, estacionales y anuales para analizar las salidas del modelo [$\bar{T} = \frac{1}{360} \sum_{i=1}^{360} T_i(x, y, t)$]. Donde 360 es un año climático, T es la variable de las componentes $u, v, Zeta$ y $temperatura$, el símbolo i son los días del año climático. Estos resultados son comparados con el estudio de (Beier y Ripa, 1999), en donde reporta que la circulación superficial modelada consiste en un giro ciclónico de junio a octubre y un giro anticiclónico de diciembre a abril ambos ubicados en la región central del Norte del Golfo de California incluyendo la Isla Ángel de la Guarda (AG). En la Tabla 2 se puede apreciar la comparación de los resultados obtenidos con el reporte de Beier (1999), mostrando una similitud en casi todos los casos excepto en junio y julio en el modelo ROMS. Con los campos vectoriales podemos observar la dirección de un fluido en una región describiendo el movimiento y la magnitud de este mismo, Figura 13, Figura 14 y Figura 15.

Promedio mensual (Giros en el alto GC)			
Artículo: Beier, E., & Ripa, P. (1999). Seasonal Gyres in the Northern Gulf of California. J.Phys Oceanogr. 29(2), 305-311.			
No	MES	REPORTADO (+ O -)	MODELO (+ O -)
1	Enero	-	-
2	Febrero	-	-
3	Marzo	-	-
4	Abril	-	-
5	Mayo	-	-
6	Junio	+	-
7	Julio	+	-
8	Agosto	+	+
9	Septiembre	+	+
10	Octubre	+	+
11	Noviembre	-	-
12	Diciembre	-	-

Tabla 2. Giros - Alto Golfo de California. Comparación de los giros entre las salidas del modelo del ROMS y (Beier y Ripa, 1999), el signo positivo (+) indica un giro ciclónico y el signo negativo (-) indica un giro anticiclónico respectivamente al mes que se indica.

En la Figura 13, superior izquierda, inciso (a), corresponde al mes de enero, (b) para febrero, (c) para marzo y (d) para abril se puede apreciar claramente giros anticiclónicos ubicados en la región central del Norte del Golfo de California incluyendo la Isla de Ángel de la Guarda.

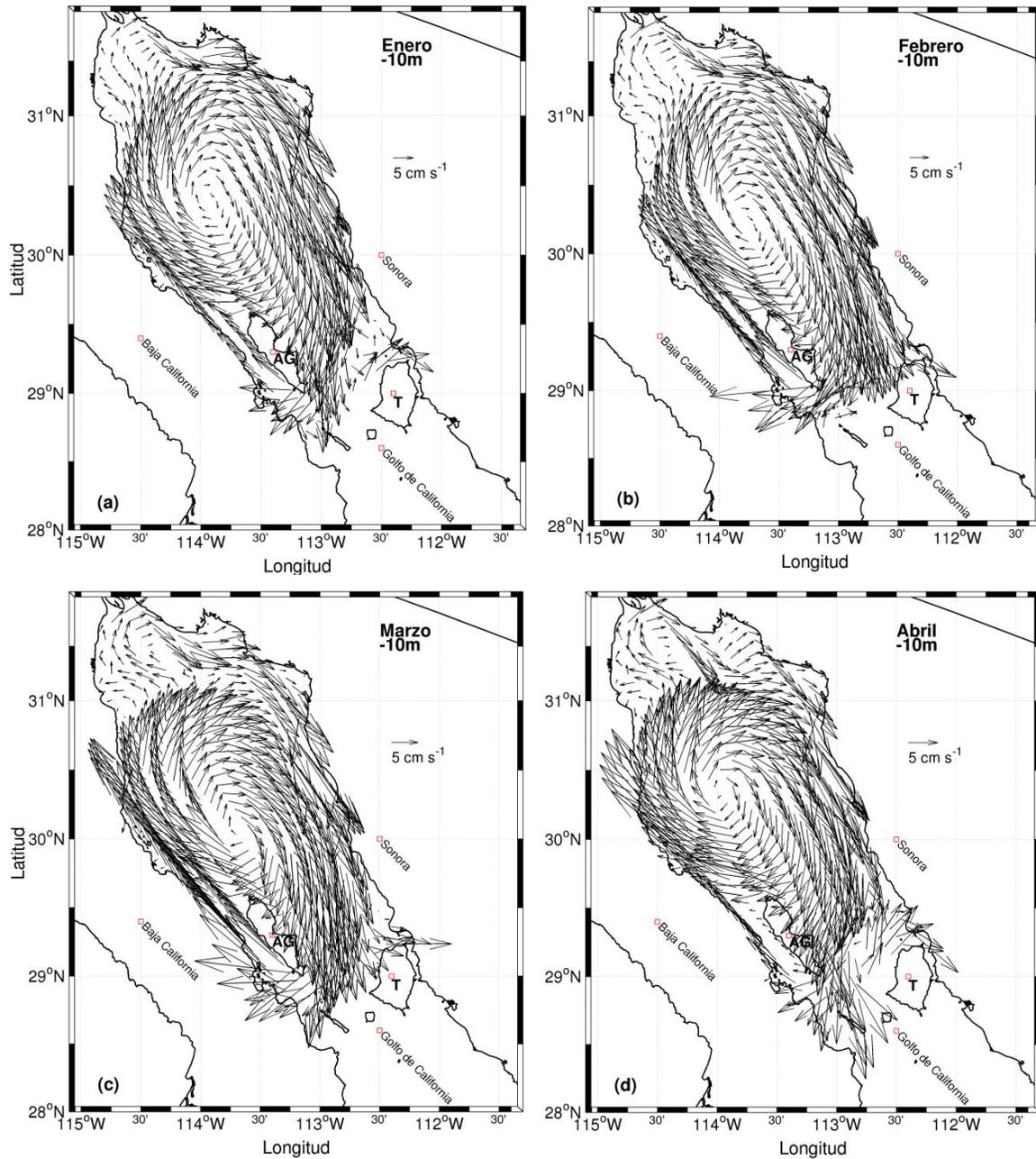


Figura 13. Campos de velocidad, giros anticiclónicos (enero, febrero, marzo y abril), promedio mensual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad, (velocidad en cm s^{-1}), las letras (AG) indican la Isla Ángel de la Guarda y la (T) Isla Tiburón.

Para los meses de mayo (e), junio (f) y julio (g) de la Figura 14 continúa claramente la presencia de giros anticiclónicos, pero para el mes de agosto (h), Figura 14, comienza a formarse giros ciclónicos en la región del Norte del Golfo de California.

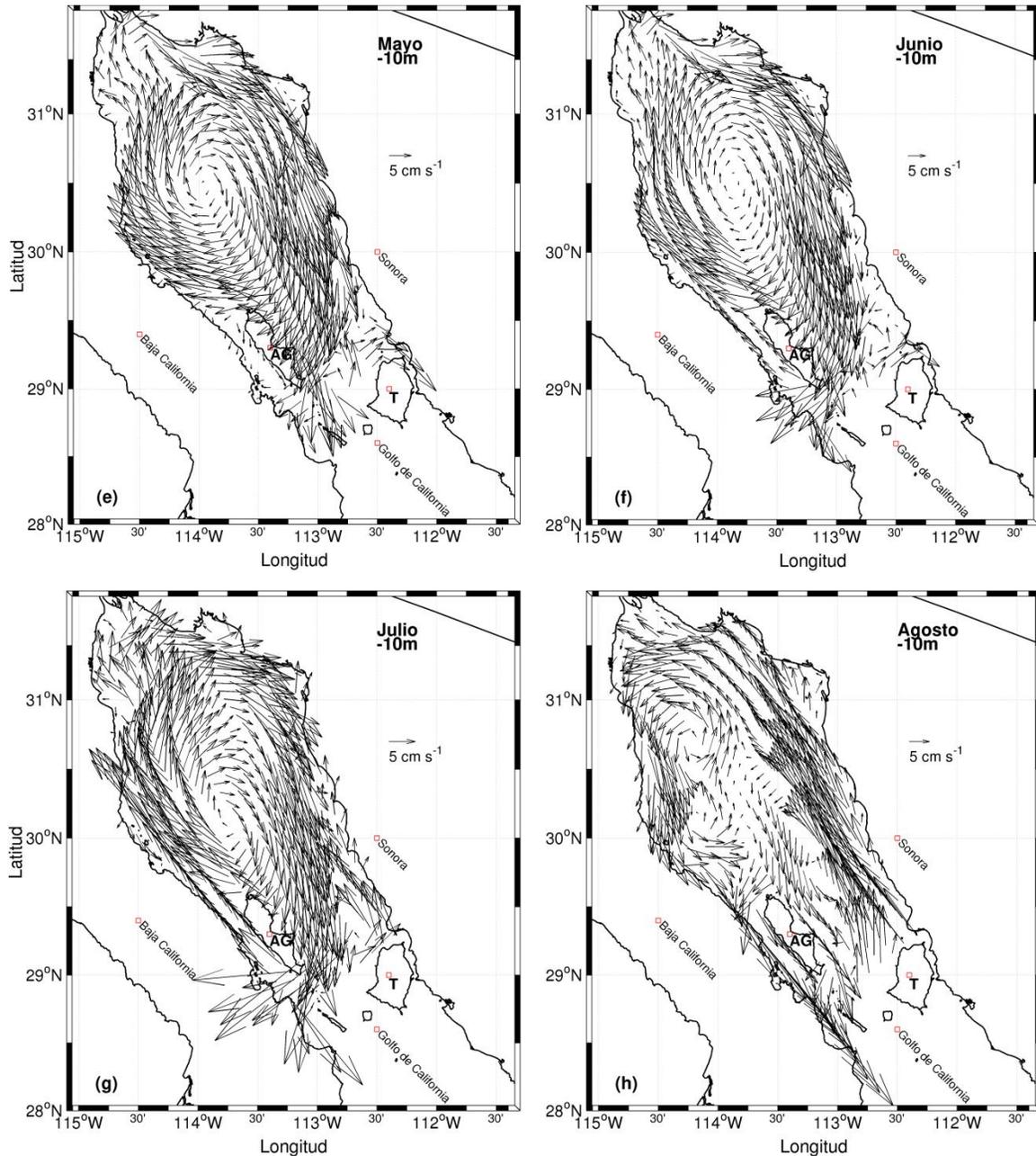


Figura 14. Campos de velocidad, giros anticiclónicos para los meses de mayo, junio y julio. En agosto los giros comienzan a ser ciclónicos, promedio mensual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), las letras (AG) indican la Isla Ángel de la Guarda y la (T) Isla Tiburón.

En la Figura 15 en el mes de septiembre (i) y octubre (j) se observan giros ciclónicos que salen por el canal de la isla de Ángel de la Guarda. Pero para los meses de noviembre (k) y diciembre (l) estos giros se convierten en giros anticiclónicos.

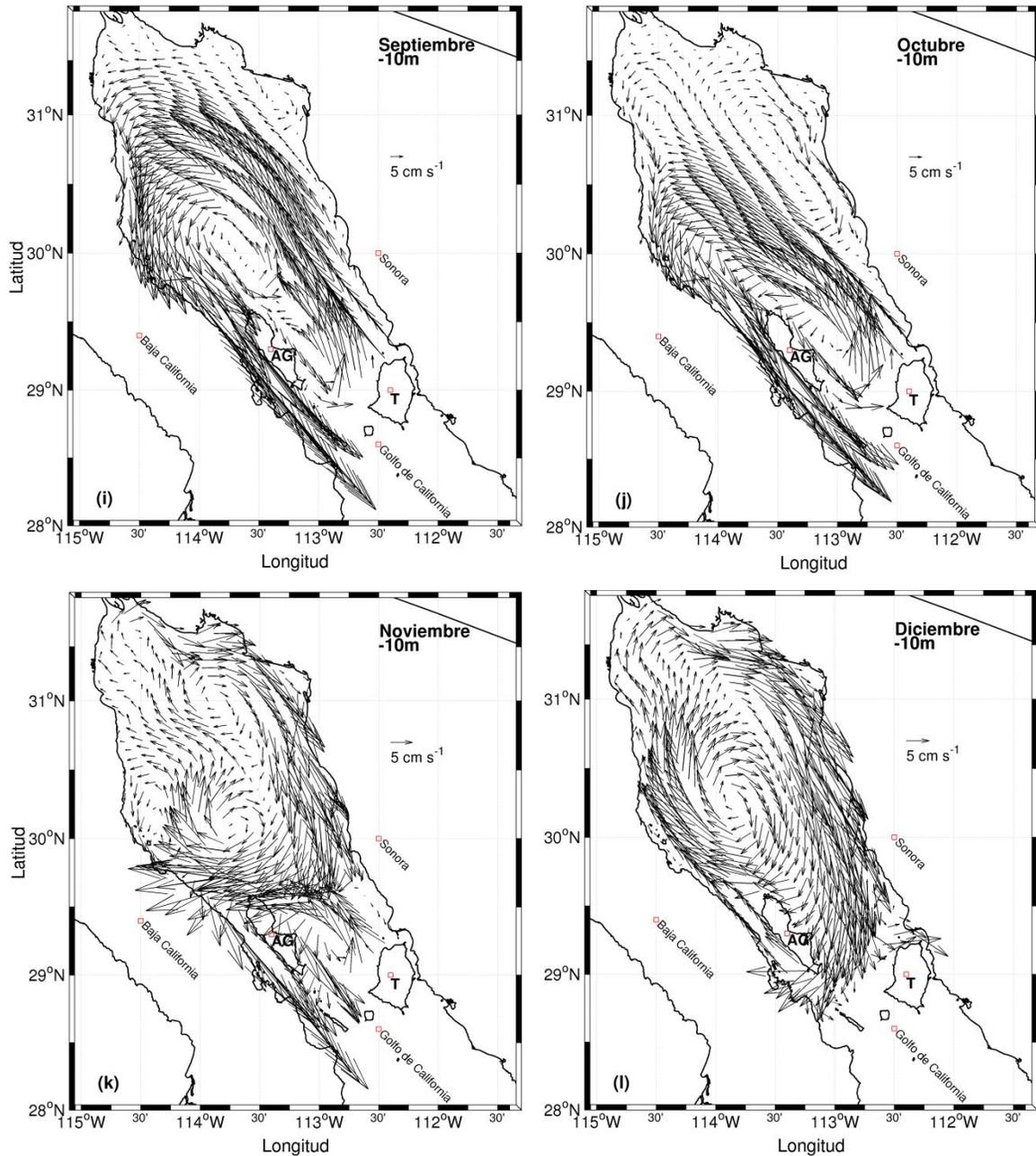


Figura 15. Campos de velocidad (septiembre, octubre, noviembre y diciembre), promedio mensual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T).

En la Tabla 3, Figura 16, se muestra un promedio estacional observando giros anticiclónicos que predominan en invierno (a) y primavera (b). En verano (c) Figura 17, sigue la presencia del giro anticiclónico pero comienza a separarse para entrar en transición con otoño.

GIROS ESTACIONALES - ALTO GOLFO DE CALIFORNIA	
DICIEMBRE	Invierno
ENERO	
FEBRERO	
MARZO	Primavera
ABRIL	
MAYO	
JUNIO	Verano
JULIO	
AGOSTO	
SEPTIEMBRE	Otoño
OCTUBRE	
NOVIEMBRE	

Tabla 3. Promedio estacional. Giros- Alto Golfo de California, el signo positivo (+) indica un giro ciclónico y el signo negativo (-) indica un giro anticiclónico respectivamente a la estación del año que se indica.

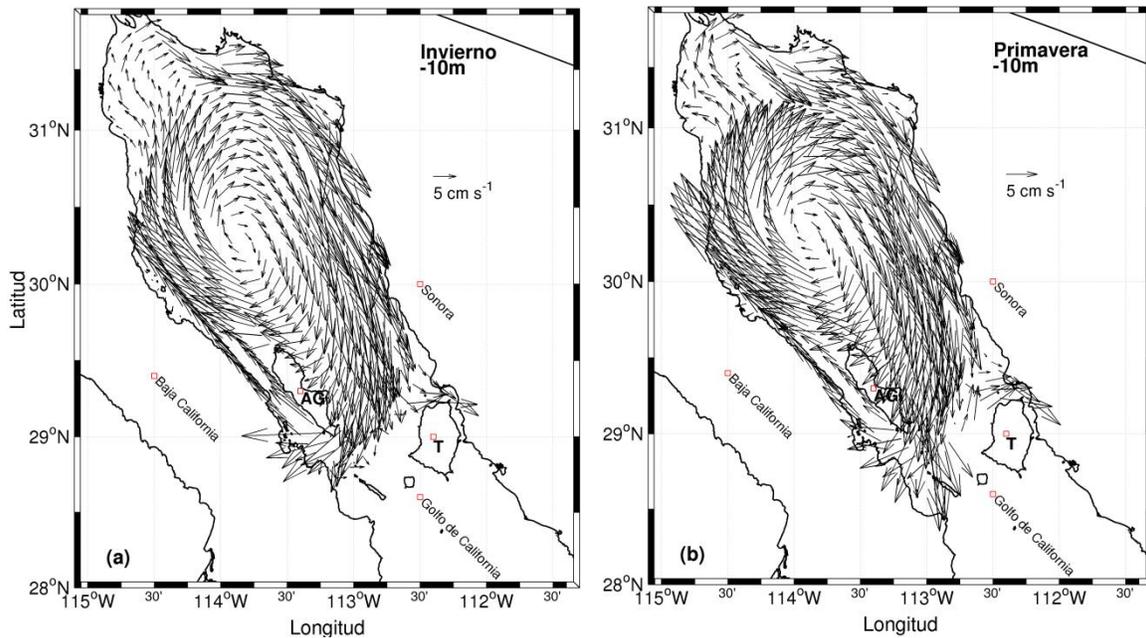


Figura 16. Campos de velocidad, giros anticiclónicos (invierno y primavera), promedio estacional a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T).

En otoño (d) Figura 17, es donde se observa un giro ciclónico abarcando los meses septiembre (con mayor presencia), octubre y noviembre. El promedio anual se puede ver en la Figura 18.

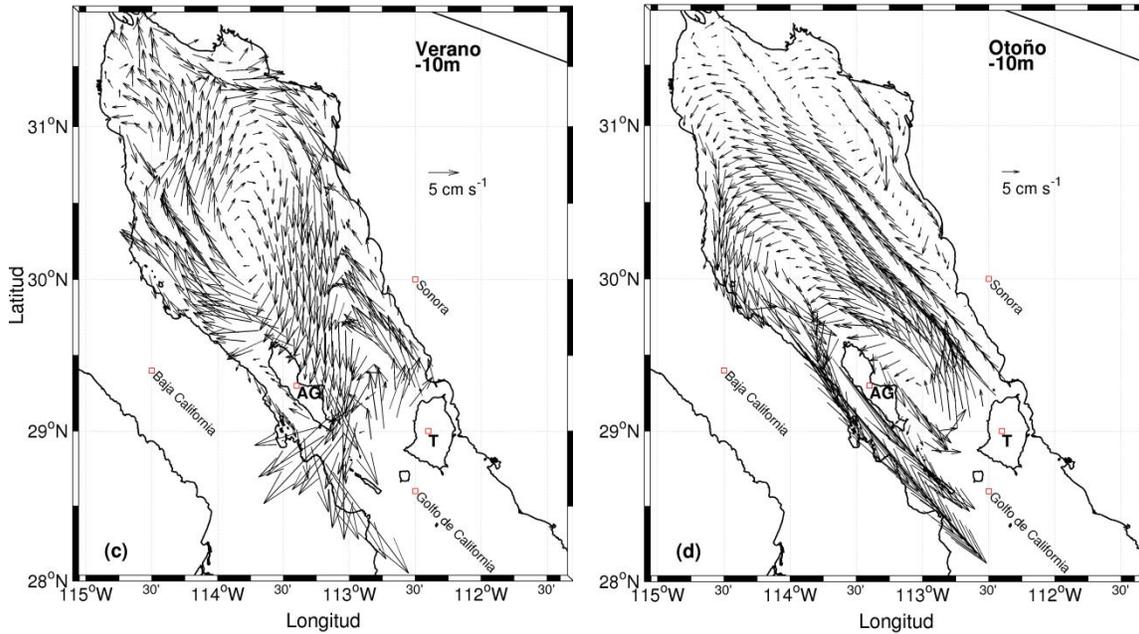


Figura 17. Campos de velocidad, giros anticiclónicos en verano y giros ciclónicos en otoño, promedio estacional a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T).

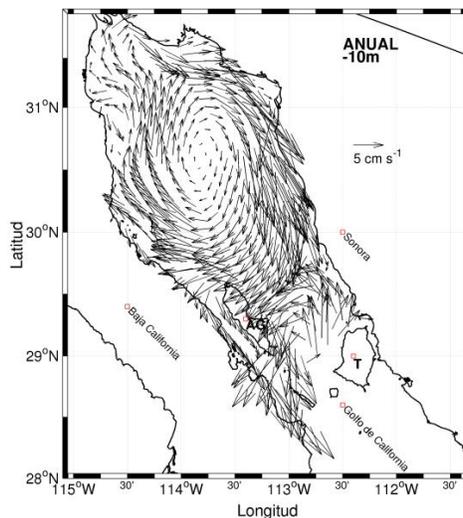


Figura 18. Campos de velocidad, giro anticiclónico, promedio anual a una profundidad de 10 metros. La flecha indica la dirección y magnitud de la velocidad (velocidad en cm s^{-1}), Isla Ángel de la Guarda (AG) e Isla Tiburón (T).

5.2 Región Central y Sur del Golfo de California

Para la región Central y Sur del GC se usa la marca con el número romano (II), Figura 13 o Figura 19. (Figuroa, Marinone y Lavín, 2003) Son la referencia para hacer la comparación de sus resultados de los giros contra los obtenidos en la modelación. De hecho este artículo cuenta con un resumen de los giros que se presentan durante todo el año. En la Tabla 4 se hace nuevamente el resumen de estos giros encontrados. En el artículo ya mencionado las referencias de donde se localizan los giros está ubicada por cuencas. En general estos giros son ubicados en la región Centro y Sur del GC. Para poder referirse e identificar las estructuras en ésta región, la Figura 19 muestra las cuencas ubicadas al centro y sur del GC, y para darle seguimiento a los resultados del artículo de Figuroa, et al., (2003) y a los resultados de la modelación tenemos que: (SPeB) se refiere a la cuenca de San Pedro Mártir, (CarB) cuenca del Carmen, (GuyB) cuenca Guaymas, (FarB) cuenca Farallón, (MtzB) cuenca Mazatlán y (PesB) cuenca Pescadero.

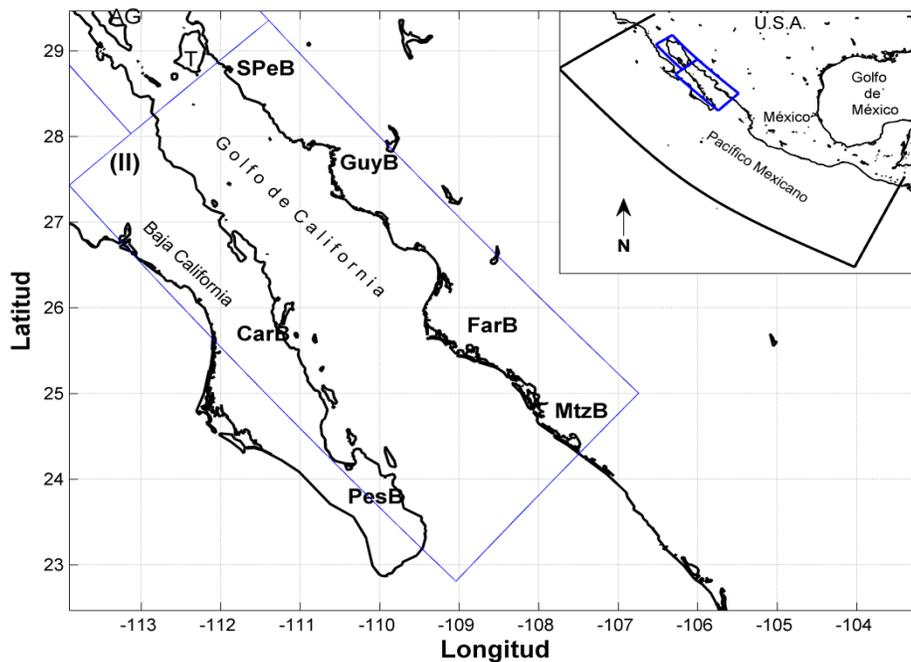


Figura 19. Ubicación de las cuencas dentro de la región Central y Sur del Golfo de California, el número romano (II) es la región donde se apreciarán los resultados de la modelación, las iniciales (AG) indican la Isla Ángel de la Guarda y la (T) Isla Tiburón.

En búsqueda para demostrar que existen estos giros, un resumen en forma esquemática describe los giros observados por Figueroa (2003) y resultado de la modelación. Se trata de entender que los resultados de cada autor son diferentes debido a que eligen distintos datos y dependiendo el enfoque del estudio, estos resultados pueden coincidir o diferir. En esta tabla se pretende dar un panorama de qué giros están presentes en el año incluso la intensidad de los mismos. En los espacios donde no existe un símbolo (+ o -) es porque no se encontró la presencia clara de un giro ciclónico o anticiclónico y en los espacios en blanco de los resultados de lo reportado por el autor significa que no lo muestra en su esquema.

GIROS – CENTRO Y SUR DEL GOLFO DE CALIFORNIA									
<u>Artículo: Figueroa, J. M., Marinone, S. G., & Lavín, M. F. (2003). A description of geostrophic gyres in the Southern Gulf of California. Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics, 237-255.</u>									
No	MES	REPORTADO (+ O -)				MODELO (+ O -)			
		PesB	FarB	CarB	GuyB	PesB	FarB	CarB	GuyB
1	Enero	-	+, -	-, +	+, -	-	-	-	-
2	Febrero	-, +	-	-	-	-	-	-	-
3	Marzo	-, +	+	-	-	-	-	-	-
4	Abril	-	-	+	+	-	-	-	-
5	Mayo					-	-	-	+
6	Junio					-	+	-	+
7	Julio					-	+	+	+
8	Agosto	+	+	+	+	+	+	+	+
9	Septiembre					+	+	+	+
10	Octubre	+, -	-, +	-, +	-	+	+	+	-
11	Noviembre	-	-	-, +		-	+	+	-
12	Diciembre					-	+	+	-

Tabla 4. Promedio mensual, Giros – Centro y Sur del Golfo de California. Comparación de los giros entre las salidas del modelo del ROMS y (Figueroa, Marinone y Lavín, 2003), el signo positivo (+) indica un giro ciclónico y el signo negativo (-) indica un giro anticiclónico respectivamente al mes que se indica. En este resumen se muestran las cuencas: (PesB) cuenca Pescadero, (CarB) cuenca del Carmen y (GuyB) cuenca Guaymas.

Para el caso de la región (II) también se graficó el promedio estacional de la temperatura a 500 metros de profundidad. Podemos observar en la Figura 20 y Figura 21 que en la región (II) la temperatura del agua del océano se encuentra entre 7.7 y 8 grados, en donde también a simple vista podemos deducir que es la región más profunda.

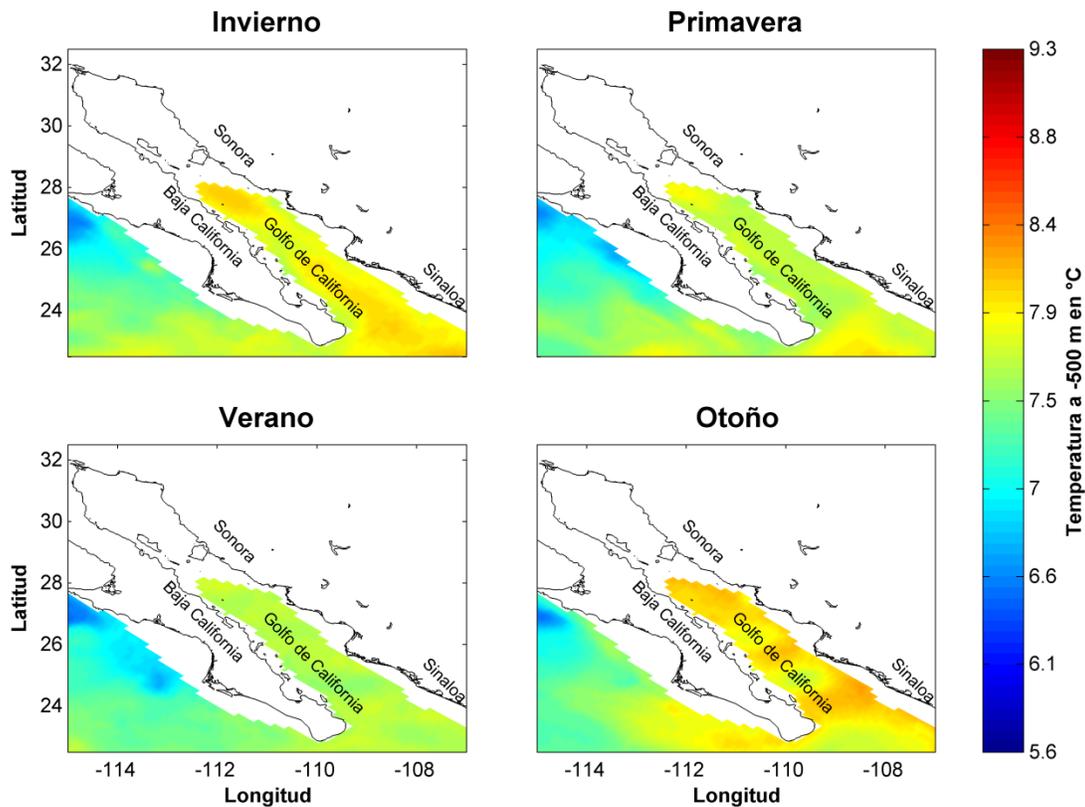


Figura 20. Promedio estacional de la temperatura a 500 metros de profundidad.

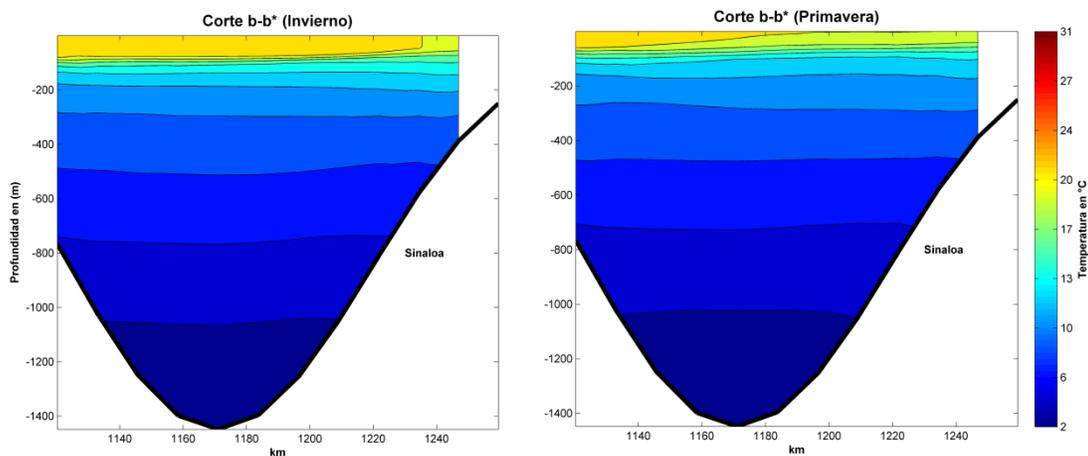


Figura 21. Cortes de la región (II), corte b-b* invierno y primavera.

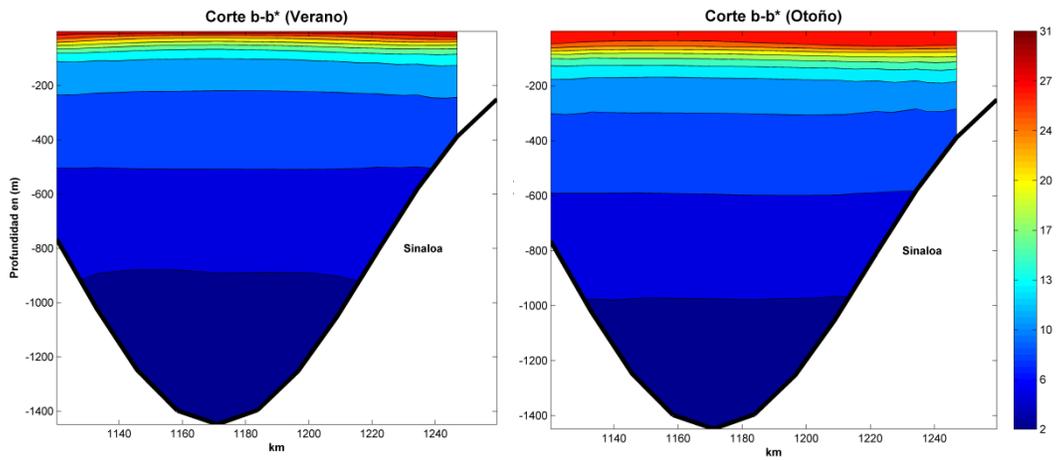


Figura 22. Cortes de la región (II), corte b-b* verano y otoño.

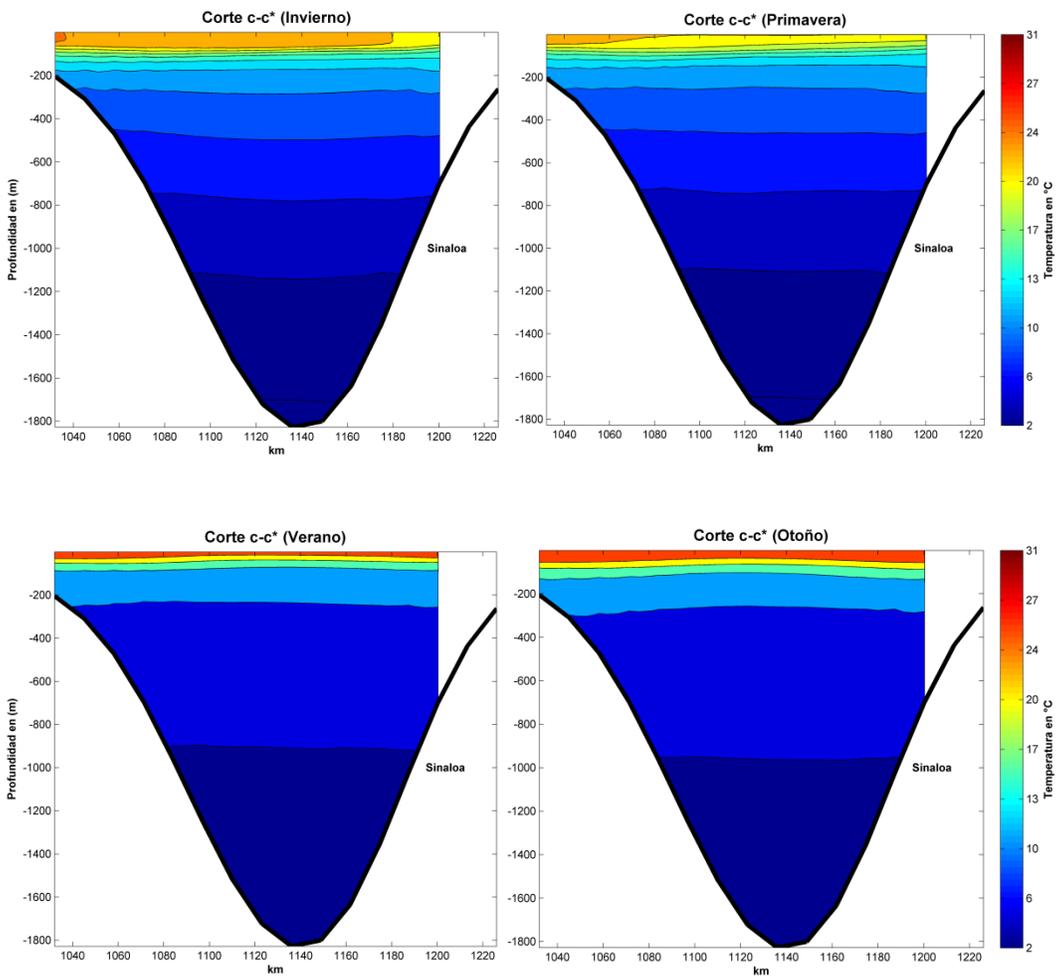


Figura 23. Cortes de la región (II), corte c-c* invierno, primavera, verano y otoño.

Estos giros son reproducidos a una profundidad de 10 metros (Figuroa, Marinone y Lavín, 2003). En la modelación de este trabajo se observa que el sentido de rotación de los giros es variable en esa región y que su posición no está vinculada a la cuenca y que además en la vertical alcanzan 500 metros y probablemente hasta 1000 metros. Para tener mayor claridad de las estructuras, en la Figura 24 observamos los meses de enero-abril con giros anticiclónicos un poco alargados abarcando de la cuenca de SPeB hasta la cuenca de CarB, a partir de la cuenca de PesB el flujo comienza a salir para formar otro giro ciclónico hacia el Pacífico Mexicano.

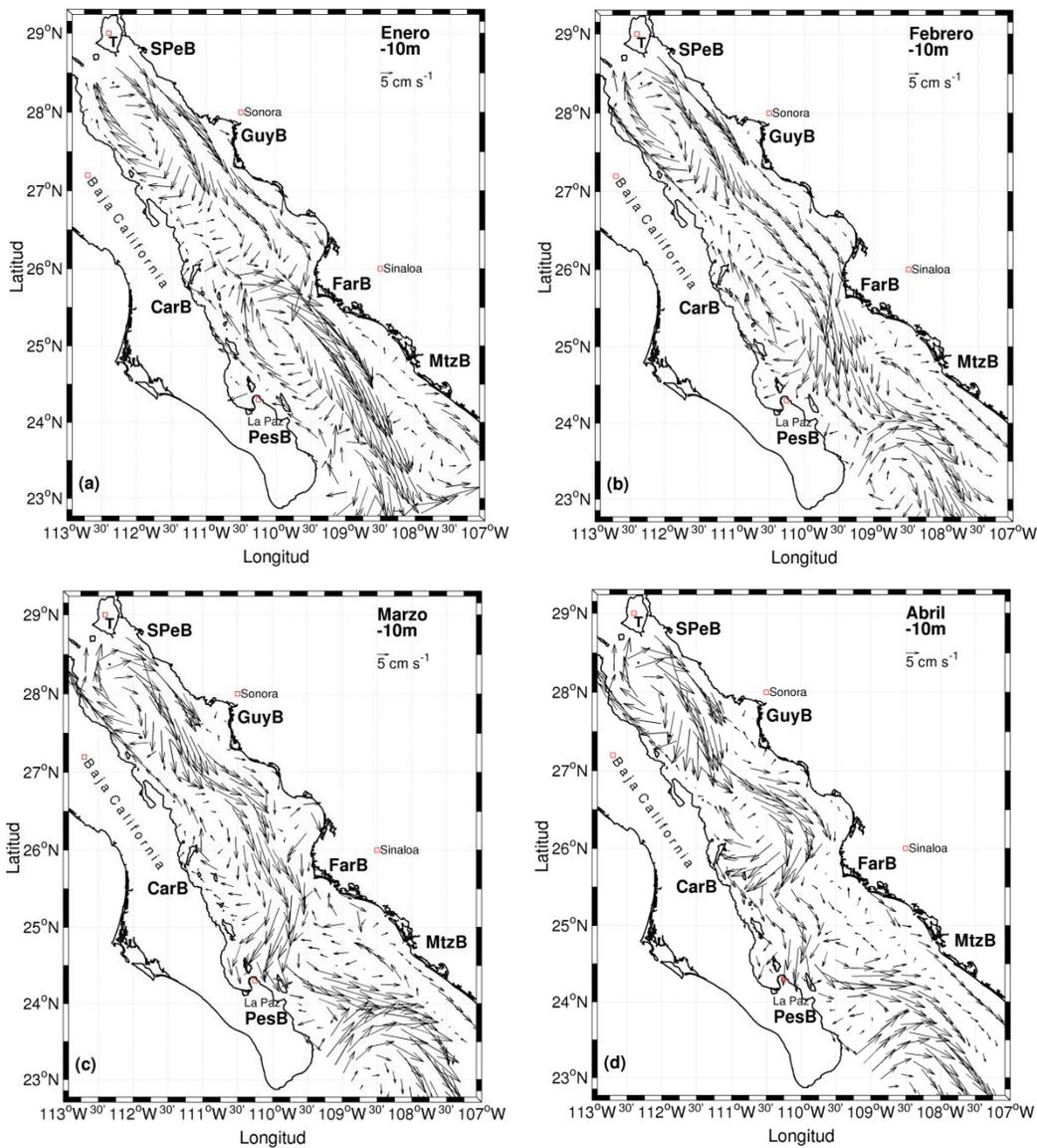


Figura 24. Región (II) de Enero (a)-Abril (d). Campos de velocidad creados en Matlab.

En la Figura 25, en los meses de mayo y junio el comportamiento de estos giros tiende a ser el mismo con giros más marcados y un flujo saliente pegado a la costa de la cuenca PesB en la Paz Baja California. En julio los giros comienzan a invertirse desde la cuenca de PesB hasta la cuenca de GuyB con menor intensidad. Para el mes de agosto giros ciclónicos alargados se pueden observar incluso coincidiendo con lo reportado por Figueroa, también se observa un flujo entrante al GC que entra por el lado de la cuenca de MtzB.

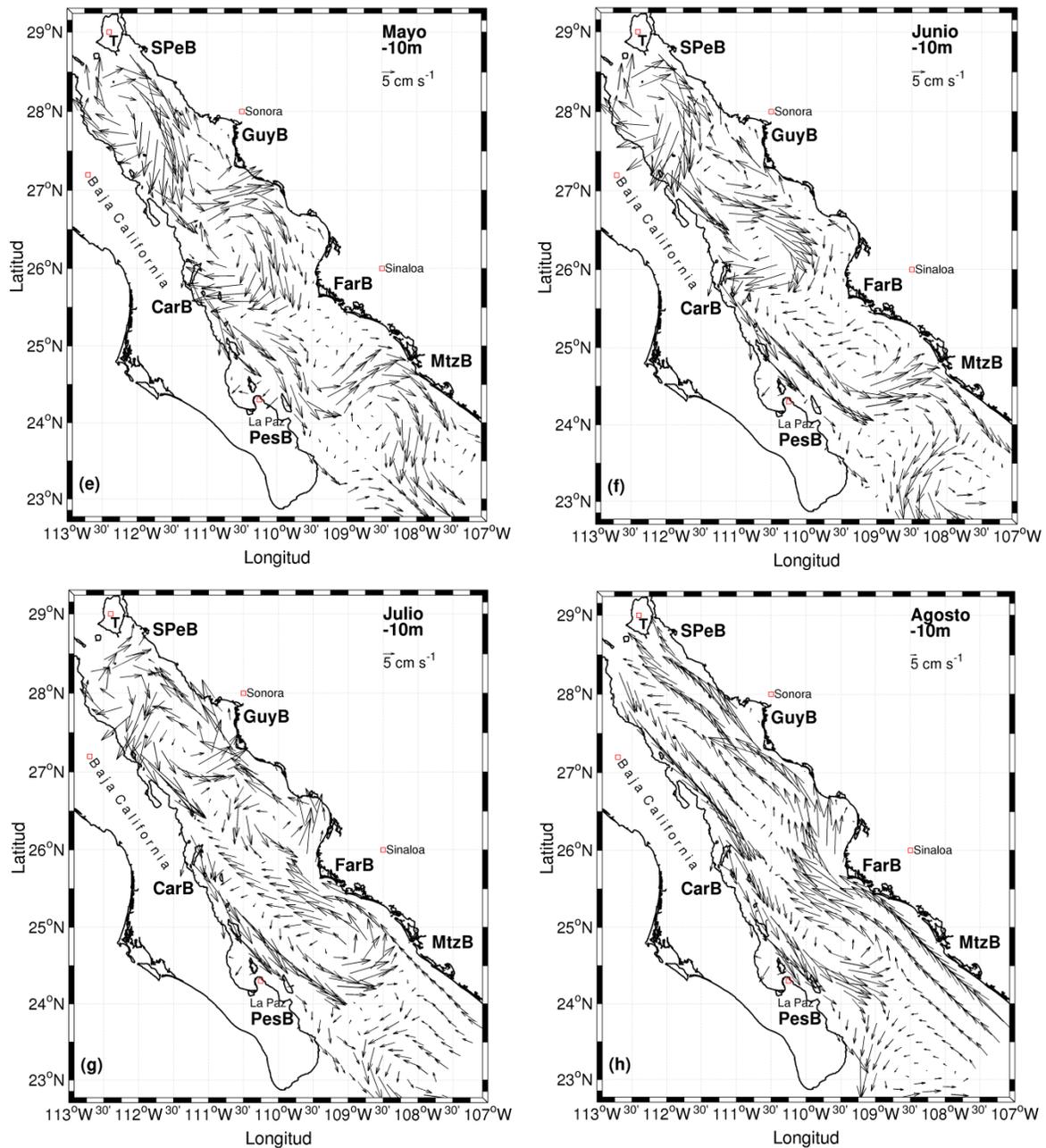


Figura 25. Región (II) de Mayo (e)-Agosto (h).

En el mes de septiembre, Figura 26, se observan dos giros principalmente que son los que le dan circulación al agua del GC, el primero tiene una forma más alargada en la cuenca del CarB y de la cuenca GuyB hacia la Isla Tiburón los giros se aprecian menos notando que el flujo viaja en paralelo a la costa hasta llegar a la cuenca PesB para formarse el otro giro, ambos giros son ciclónicos. En octubre la presencia de tres giros ciclónicos se hacen notar desde la cuenca de SPeB hasta la cuenca PesB, pero un pequeño giro anticiclónico es presente en la cuenca de GuyB.

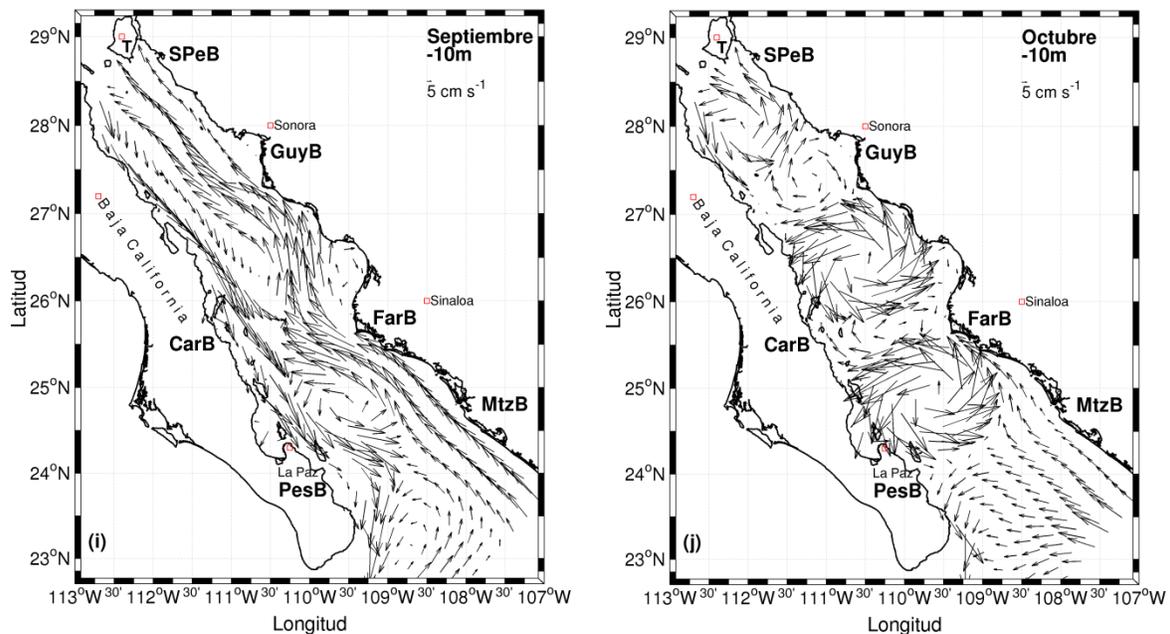


Figura 26. Región (II), Septiembre (i) y Octubre (j).

En el mes de noviembre (k), Figura 27, nuevamente existe la presencia de giros ciclónicos y anticiclónicos que están presentes en todo lo largo de la región central y sur del GC, estos giros tienen un diámetro del ancho del golfo (~ 50 km), notando que los dos giros con mayor intensidad y más grandes están en una región más profunda. Octubre y noviembre tiene una similitud en los giros ciclónicos principalmente en esos dos giros. En el mes de diciembre (l) de la misma Figura 27, los dos giros que se hacían presentes en la cuenca de SPeB (giro ciclónico) y GuyB (giro anticiclónico) se convierten en un giro anticiclónico alargado hasta encontrarse con el giro ciclónico que predomina en esa región (cuenca del

CarB y Cuenca FarB) para posteriormente hacer un especie de abanico y formar un giro anticiclónico que termina hasta la península de Baja California Sur.

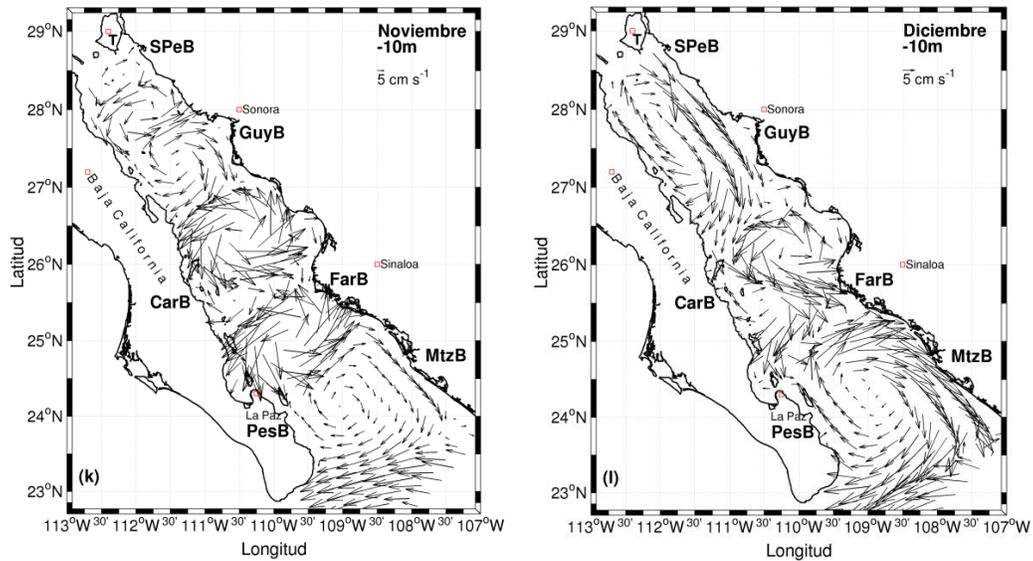


Figura 27. Región (II), Noviembre (k) y Diciembre (l).

Para los promedios estacionales, los resultados muestra que en la estación de Otoño (a). Figura 28 los giros que más predominan son tres giros ciclónicos como en la región (I) del Norte del GC. Y en el promedio anual en la SpeB un giro anticiclónico y dos giros ciclónicos a lo largo del GC se hacen presentes. Estos giros se pueden apreciar claramente a 500 metros de profundidad en las regiones más profundas.

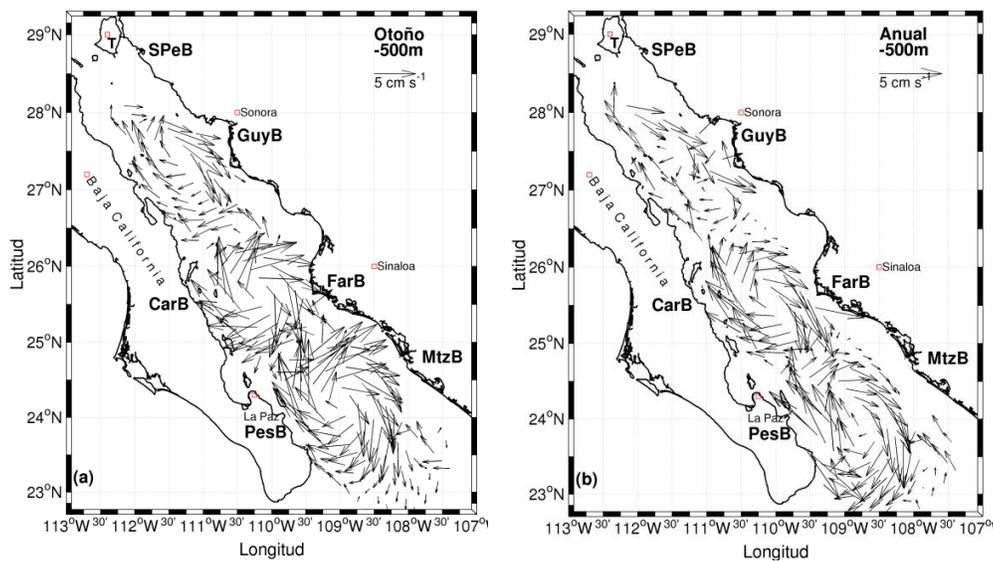


Figura 28. Promedio estacional Otoño(a) y promedio Anua (b), Región (II).

6 Conclusiones

Cualitativamente, se observa que las salidas del modelo reproducen las estructuras reportadas en estudios previos, para el Golfo de California. A continuación se detallará las estructuras encontradas de acuerdo a la zonificación del Golfo de California empleada en este trabajo.

6.1 A) Región del Norte del Golfo de California

De acuerdo a los resultados obtenidos en el modelo ROMS la circulación en el norte del Golfo de California se encuentra un giro anticiclónico para los meses de noviembre a julio difiriendo un poco con el estudio de (Beier y Ripa, 1999) en los meses de junio y julio (Tabla 2), ya que dicho estudio indica giros ciclónicos en los meses de junio y julio respectivamente. Y en el promedio estacional también se detecta un giro anticiclónico durante los meses de septiembre, octubre y noviembre. Para el mismo caso de la región Norte del Golfo de California hace presencia el giro ciclónico en los meses de agosto, septiembre y octubre, siendo septiembre el mes en donde se puede apreciar más coincidiendo con lo reportado en el artículo de (Beier y Ripa, 1999). El diámetro de estos remolinos es casi del ancho de la región norte del GC.

6.2 B) Región Central y Sur del Golfo de California

En esta región los resultados por el modelo mostraron giros ciclónicos y anticiclónicos a lo largo de la región (II), estos giros pueden tener el diámetro del ancho del GC (~ 50 km) y tienden a alternar el sentido de rotación a lo largo del golfo. Existen a menudo giros acoplados con dimensiones más pequeñas y otros que se alargan dependiendo del mes en que se observa, de acuerdo a lo reportado por Figueroa (2003), estos giros parece que no son asociados por las características batimétricas, estos giros se pueden encontrar por encima de los umbrales de las cuencas o a lo largo de las mismas. Si es claramente que los mejores giros que se aprecian se pueden ver en la región con mayor profundidad y estos pueden alcanzar profundidades de hasta 1000 metros.

7 Aportaciones

A partir de los datos obtenidos del modelo oceánico se pueden generar las condiciones de frontera abierta para la bahía de Todos Santos, Baja California. También, pueden utilizarse como base para la generación de un Atlas con información sobre el potencial de aprovechamiento energético por corrientes.

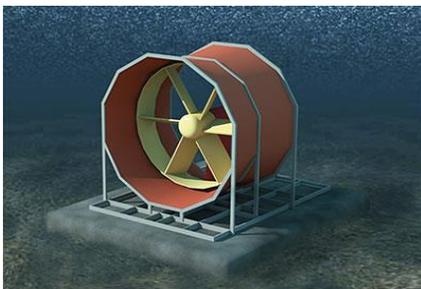
Configuración estable del modelo, pre-procesamiento de datos para la región del Pacífico Mexicano y Golfo de California.

8 Trabajos a futuro

Validación de la circulación del istmo de Tehuantepec y zona centro del pacifico mexicano.

Identificación de las zonas más energéticas.

Identificar las zonas más energéticas para la generación de energía Hidrocinética usando dispositivos como turbinas que serán movidas por la circulación de las corrientes.



Prototipo de turbina.
<http://www.hydroquebec.com/themes/developpement-durable/images/hydrolienne-axe-horizontal.jpg>



Turbina Hidrocinética comercial, potencia 35 KW, río Mississippi, E.U.A.
http://hgenergy.com/assets/screenshot_780.jpg



Turbina Garlov en Corea del Sur.
https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Gorlov_Helical_Turbines_in_Korea_Installation_General_View.png

9 Recomendaciones

Una vez obtenido estos resultados en esta tesis, se considera importante investigar más acerca de los estudios que se están realizando en el Pacífico Mexicano sobre aspectos relacionados a las corrientes marinas, además se propone:

- Validar cuantitativamente el Golfo de California.
- Validar la Corriente de California de manera cualitativa y cuantitativa.
- Validar la corriente que fluye del ecuador, considerando el Pacífico Central y Pacífico Sur dentro de los mares mexicanos que comprende nuestro territorio.

10 Referencias

- Ayala Mata, R., & Ayala Ruiz, I. (s.f.). *Divulgameteo*. Recuperado el 24 de Julio de 2015, de La Contra Corriente Marina Ecuatorial:
<http://www.divulgameteo.es/fotos/meteoroteca/Contracorriente-marina-ecuatorial.pdf>
- Barton, E. D., & Argote, M. L. (1980). Hydrographic variability in an upwelling area off northern Baja California in June 1976. *Journal of Marine Research*, 48(4), 631-649.
- BBC. (11 de Marzo de 2011). *BBC mundo*. Recuperado el 07 de Diciembre de 2015, de
http://www.bbc.com/mundo/noticias/2011/03/110309_turbinas_cometas_mar_mes.shtml
- Beier, E., & Ripa, P. (1999). Seasonal Gyres in the Northern Gulf of California. *J. Phys. Oceanogr.*, 29(2), 305-311.
- CARS. (2009). *CSIRO*. Obtenido de CSIRO ATLAS OF REGIONAL SEAS (CARS):
<http://www.marine.csiro.au/~dunn/cars2009/>
- Chenillat, F., Rivière, P., Capet, X., Di Lorenzo, E., & Blanke, B. (2012). North Pacific Gyre Oscillation modulates seasonal timing and ecosystem functioning in the California Current upwelling system. *Geophysical Research Letters*, 39, L01606, doi:10.1029/2011GL049966.
- CONABIO. (2012). *Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad*. Recuperado el 26 de Febrero de 2015, de Biodiversidad Mexicana:
<http://www.biodiversidad.gob.mx/pais/mares/>
- Cushman-Roisin, B., & Beckers, J. (2006). *Introduction to Geophysical Fluid Dynamics. Physical and Numerical Aspects*. Academic Press.
- Di Lorenzo, E. (2003). Seasonal dynamics of the surface circulation in the Southern California Current System. *Deep-Sea Research II*, 50, 2371-2388.
- Di Lorenzo, E., Miller, A. J., Neilson, D. J., Cornuelle, B. D., & Moisan, J. R. (2004). Modeling observed California Current mesoscale eddies and the ecosystem response. *International Journal of Remote Sensing*, 25(7-8), 1307-1312.
- Dunn, J. (2009). *CSIRO ATLAS OF REGIONAL SEAS (CARS)*. Recuperado el 13 de mayo de 2016, de
<http://www.marine.csiro.au/~dunn/cars2009/>
- Duque Correa, A. M. (2001). *Escuela de Ingeniería de Antioquia*. Recuperado el 23 de Julio de 2015, de Corriente de Humboldt:
<http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/interesantes/humboldt/humboldt.htm>

- Figueroa, J. M., Marinone, S. G., & Lavín, M. F. (2003). A description of geostrophic gyres in the Southern Gulf of California. *Nonlinear Processes in Geophysical Fluid Dynamics*, 237-255.
- Flather, R. A. (1976). A tidal model of the northwest European continental shelf. *6*, 141-164.
- Lynn, R. J., & Simpson, J. J. (1987). The California Current system: The seasonal variability of its physical characteristics. *Journal of Geophysical Research*, 92(C12), 12947-12966.
- Marchesiello, P., McWilliams, J., & Shchepetkin, A. (2001). Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. *Ocean Modelling*, 3(1-2), 1-20
[http://dx.doi.org/10.1016/s1463-5003\(00\)00013-5](http://dx.doi.org/10.1016/s1463-5003(00)00013-5).
- Marinone, S. G., & Mateos, E. (2013). Circulation in the deep canyon at the entrance to Todos Santos Bay, México, Is there a deep net outflow? *Continental Shelf Research*, 69, 17-20.
- Martínez, B. (2013). *Facultad de Ciencias de la UNAM*. Recuperado el 24 de Noviembre de 2015, de
<http://tierra.fciencias.unam.mx/talleres/atmosfericas/Taller%20Introduccion%20a%20la%20modelacion%20numerica%20de%20procesos%20atmosfericos%20y%20oceanicos%20MARTINEZ.pdf>
- Mateos, E., Marinone, S. G., & Parés-Sierra, A. (2009). Towards the numerical simulation of the summer circulation in Todos Santos Bay, Ensenada, B.C. Mexico. *Ocean Modelling*, 27, 107-112.
- Mateos, E., Marinone, S. G., & Lavín, S. G. (2013). Numerical modeling of the coastal circulation off northern Baja California and southern California. *Continental Shelf Research*, 50-66.
- MetEd, C. (2007). *COMET MetEd*. Recuperado el 03 de enero de 2016, de
<http://www.meted.ucar.edu/>
- NOAA. (2013). *National Centers For Environmental Information*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2015, de
https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/relief/ETOPO1/data/ice_surface/grid_registered/netcdf/
- NOAA-GSHHG. (2015). *A Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database*. Recuperado el 03 de Diciembre de 2015, de
<https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html>
- Orlanski, I. (1975). A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. *Journal Of Computational Physics*, [http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991\(76\)90023-1](http://dx.doi.org/10.1016/0021-9991(76)90023-1), 21(3), 251-269.

- Palma, E., & Matano, R. (1998). On the implementation of passive open boundary conditions for a general circulation model: The barotropic mode. *Journal Geophys Research*, 103(C1), 1319 <http://dx.doi.org/10.1029/97jc02721>.
- Pantoja, D. (2012). Numerical modeling of seasonal and mesoscale hydrography and circulation in the Mexican Central Pacific. *Ciencias Marinas*, 38(2), 363–379.
- Pegau, W. S., Boss, E., & Martínez, A. (2002). Ocean color observations of eddies during the summer in the Gulf of California. *Geophysical Research Letters*, 29(9), 6-1-6-3.
- Penven, P., Marchesiello, P., Debreu, L., & Lefevre, J. (2007). CROCO. Obtenido de Software tools for pre- and post-processing of oceanic regional simulations. *Environ. Model. Softw.*, 23, 660-662.: <http://www.romsagrif.org>
- Pesquisia, R. (2003). *Pesquisia FAPESP*. Recuperado el 22 de Enero de 2015, de <http://revistapesquisa.fapesp.br/es/2003/11/01/con-la-fuerza-de-la-corriente-2/>
- Reid, J. L., & Schawartzlose, R. A. (1962). Direct measurements of the Davidson Current off central California. *Journal of Geophysical Research*, 67(7), 2491-2497.
- ROMS, W. (2015). *My ROMS*. Recuperado el 24 de Julia de 2015, de https://www.myroms.org/wiki/index.php/Documentation_Portal
- SENER. (2009). *Secretaría de Energía*. Recuperado el 05 de Marzo de 2015, de Energías Renovables para el Desarrollo Sustentable de México.: http://www.sener.gob.mx/res/0/ER_para_Desarrollo_Sustentable_Mx_2009.pdf
- Shchepetkin, A., & McWilliams, J. (2005). The Regional Oceanic Modeling System (ROMS): A split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Modelling*, 9(4), 347-404.
- Sommerfeld, A. (1949). *Partial differential equations in physics*. New York: Academic Press.
- Takahashi Guevara, K. (2015). *Instituto Geofísico del Perú*. Recuperado el 01 de Julio de 2015, de <http://www.met.igp.gob.pe/modelos/modelos.html>
- TOSHIBA. (Diciembre de 2014). Recuperado el Diciembre de 2015, de http://www.toshiba.co.jp/about/press/2014_12/pr2501.htm
- Zamudio, L., Hogan, P., & Metzger, J. (2008). Summer generation of the Southern Gulf of California eddy train. *Journal of Geophysical Research*, 113, doi:10.1029/2007JC004467.

11 Anexos

11.1 Códigos en Matlab de los campos de temperatura y velocidad

Temperatura superficial

```

% Variable Temperatura
% Modificar la Z segun sea el caso (linea 51) o la estacion del año
clc
clear all
close all
% start

avg_file = './DJF_winter_roms_avg_pac_Y16.nc';
avg_file2 = './MAM_spring_roms_avg_pac_Y16.nc';
avg_file3 = './JJA_summer_roms_avg_pac_Y16.nc';
avg_file4 = './SON_fall_roms_avg_pac_Y16.nc';

load('zlevs_win_Y16.mat') %
load('zlevs_spr_Y16.mat')
load('zlevs_sum_Y16.mat') %
load('zlevs_fall_Y16.mat')
load('./lcost_grd3.mat')

%Lectura de variables
lon_rho=nc_read(avg_file, 'lon_rho');
lat_rho=nc_read(avg_file, 'lat_rho');
mask_rho=nc_read(avg_file, 'mask_rho');
mask_rho(mask_rho==0)=nan;

% h=nc_read(avg_file, 'h');
% zeta=nc_read(avg_file, 'zeta');
temp=nc_read(avg_file, 'temp');
temp2 =nc_read(avg_file2, 'temp');
temp3=nc_read(avg_file3, 'temp');
temp4=nc_read(avg_file4, 'temp');

%Calcula profundidad
% N= 40;
% theta_s = 6.0;
% theta_b = 0.0;
% hc      = 10.;

```

```

%
% z_fall = zlevs(h,zeta(:,:),theta_s,theta_b,hc,N,'r',1);
% z_perm_fall =permute(z_fall,[2,3,1]);
% save('zlevs_fall_Y16.mat', 'z_fall', 'z_perm_fall')

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Winter
[Im Jm Km] = size(z_perm_win);
f = NaN([Im Jm]);

for j=1:Jm,
    for i=1:Im,
        Zwrk = reshape(z_perm_win(i,j,:),1,Km);
        Vwrk = reshape(temp(i,j,:),1,Km);
        f(i,j) = interp1(Zwrk,Vwrk,-500,'linear');
    end
end
f(f==0) = NaN;

% Spring
[Im Jm Km] = size(z_perm_spr);
f2 = NaN([Im Jm]);

for j=1:Jm,
    for i=1:Im,
        Zwrk = reshape(z_perm_spr(i,j,:),1,Km);
        Vwrk = reshape(temp2(i,j,:),1,Km);
        f2(i,j) = interp1(Zwrk,Vwrk,-500,'linear');
    end
end
f2(f2==0) = NaN;

% Summer
[Im Jm Km] = size(z_perm_sum);
f3 = NaN([Im Jm]);

for j=1:Jm,
    for i=1:Im,
        Zwrk = reshape(z_perm_sum(i,j,:),1,Km);
        Vwrk = reshape(temp3(i,j,:),1,Km);
        f3(i,j) = interp1(Zwrk,Vwrk,-500,'linear');
    end
end
f3(f3==0) = NaN;

```

```

% Fall
[Im Jm Km] = size(z_perm_fall);
f4 = NaN([Im Jm]);

for j=1:Jm,
    for i=1:Im,
        Zwrk = reshape(z_perm_fall(i,j,:),1,Km);
        Vwrk = reshape(temp4(i,j,:),1,Km);
        f4(i,j) = interp1(Zwrk,Vwrk,-500,'linear');
    end
end
f4(f4==0) = NaN;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
hmax = max([max(f(:)) max(f2(:)) max(f3(:)) max(f4(:))]);
hmin = min([min(f(:)) min(f2(:)) min(f3(:)) min(f4(:))]);

% winter
fig = figure('Position',[100 100 660 520]);
% subplot(2,2,1)
subplot('Position',[0.1 0.55 0.34 0.35])
pcolor(lon_rho, lat_rho, f(:,:).*mask_rho), shading interp%, colorbar
%set(get(colorbar,'ylabel'),'string','Temperatura a 200 m en °C',
'FontSize',10,'FontWeight','bold');
hold on
plot(lon, lat, 'k')
title('Invierno','FontSize',14,'FontWeight','bold')
% xlabel('Longitud','FontWeight','bold')
ylabel('Latitud','FontWeight','bold')
% % gmex = {'Golfo',' de','México'};
% % pmex = {'Pacífico Mexicano'};
% % mex = {'México'};
% % text(-125, 33, 'a'),'FontSize',13,'FontWeight','bold')
% % text(-120, 10, pmex,'FontSize',10')
% % text(-94, 25, gmex,'FontSize',10')
% % text(-104, 22, mex,'FontSize',10')
% % text(-105, 34, 'U.S.A.','FontSize',8')
%
text(-113, 28, 'Baja California','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-112, 30, 'Sonora','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-107.8,25.5, 'Sinaloa','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-111,27, 'Golfo de California','FontSize',8, 'rotation',-45);
hold off
colormap('jet')
caxis([hmin hmax]) %de manera individual

```

```

set(gca,'xtick',[]);
axis([-115 -107 22.5 32.5]) % recorta

% spring
% figure
% subplot(2,2,2)
subplot('Position',[0.5 0.55 0.34 0.35])
pcolor(lon_rho, lat_rho, f2(:,:).*mask_rho), shading interp%, colorbar
%set(get(colorbar,'ylabel'),'string','Temperatura a 200 m en °C',
'FontSize',10,'FontWeight','bold');
hold on
plot(lon, lat, 'k')
title('Primavera','FontSize',14,'FontWeight','bold')
% xlabel('Longitud','FontWeight','bold')
% ylabel('Latitud','FontWeight','bold')
% % gmex = {'Golfo',' de','México'};
% % pmex = {'Pacífico Mexicano'};
% % mex = {'México'};
% % text(-125, 33, 'b'),'FontSize',13,'FontWeight','bold')
% % text(-120, 10, pmex,'FontSize',8')
% % text(-94, 25, gmex,'FontSize',8')
% % text(-104, 22, mex,'FontSize',8')
% % text(-105, 34, 'U.S.A.','FontSize',8')
%
text(-113, 28, 'Baja California','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-112, 30, 'Sonora','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-107.8,25.5, 'Sinaloa','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-111,27, 'Golfo de California','FontSize',8, 'rotation',-45);
hold off
colormap('jet')
caxis([hmin hmax]) %de manera individual
set(gca,'xtick',[]);
set(gca,'ytick',[]);
axis([-115 -107 22.5 32.5]) % recorta

% summer
% figure
% subplot(2,2,3)
subplot('Position',[0.1 0.1 0.34 0.35])
pcolor(lon_rho, lat_rho, f3(:,:).*mask_rho), shading interp%, colorbar
%set(get(colorbar,'ylabel'),'string','Temperatura a 200 m en °C',
'FontSize',10,'FontWeight','bold');
hold on
plot(lon, lat, 'k')
title('Verano','FontSize',14,'FontWeight','bold')

```

```

xlabel('Longitud','FontWeight','bold')
ylabel('Latitud','FontWeight','bold')
% % gmex = {'Golfo',' de','México'};
% % pmex = {'Pacífico Mexicano'};
% % mex = {'México'};
% % text(-125, 33, 'c'),'FontSize',13,'FontWeight','bold')
% % text(-120, 10, pmex,'FontSize',8')
% % text(-94, 25, gmex,'FontSize',8')
% % text(-104, 22, mex,'FontSize',8')
% % text(-105, 34, 'U.S.A.','FontSize',8')
%
text(-113, 28, 'Baja California','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-112, 30, 'Sonora','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-107.8,25.5, 'Sinaloa','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-111,27, 'Golfo de California','FontSize',8, 'rotation',-45);
hold off
colormap('jet')
caxis([hmin hmax]) %de manera individual
axis([-115 -107 22.5 32.5]) % recorta

% Fall
% figure
% subplot(2,2,4)
subplot('Position',[0.5 0.1 0.34 0.35])
pcolor(lon_rho, lat_rho, f4(:,:).*mask_rho), shading interp%, colorbar
%set(get(colorbar,'ylabel'),'string','Temperatura a 200 m en °C',
'FontSize',10,'FontWeight','bold');
hold on
plot(lon, lat, 'k')
title('Otoño','FontSize',14,'FontWeight','bold')
xlabel('Longitud','FontWeight','bold')
% ylabel('Latitud','FontWeight','bold')
% % gmex = {'Golfo',' de','México'};
% % pmex = {'Pacífico Mexicano'};
% % mex = {'México'};
% % text(-125, 33, 'd'),'FontSize',13,'FontWeight','bold')
% % text(-120, 10, pmex,'FontSize',8')
% % text(-94, 25, gmex,'FontSize',8')
% % text(-104, 22, mex,'FontSize',8')
% % text(-105, 34, 'U.S.A.','FontSize',8')
%
text(-113, 28, 'Baja California','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-112, 30, 'Sonora','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-107.8,25.5, 'Sinaloa','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-111,27, 'Golfo de California','FontSize',8, 'rotation',-45);

```

```

hold off
colormap('jet')
caxis([hmin hmax]) %de manera individual
set(gca,'ytick',[]);
axis([-115 -107 22.5 32.5]) % recorta

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
p=[0.88  0.1  0.035  0.80];

%cbr=colorbar;
%set(cbr,'position',p);
%set(cbr,'ylim',[min(f(:)) max(f3(:))])
%set(cbr,'ytick',linspace(min(f(:)),max(f3(:)),9));
%kk3 = round(linspace(hmin,hmax,9)*10)/10;
%set(cbr,'yticklabel',kk3);
%   set(get(cbr,'ylabel'),'string','Temperatura a 10 m en °C',
'FontSize',10,'FontWeight','bold');

AxesH = axes('CLim', [hmin, hmax]);
axis off

kk3 = round(linspace(hmin,hmax,9)*10)/10;

cbh = colorbar('peer', AxesH, 'v', ...
    'YTickLabel',kk3, ...
    'YTick', linspace(hmin,hmax,9));
set(cbh,'position',p);
set(get(cbh,'ylabel'),'string','Temperatura a -500 m en °C', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');

%print(fig, '-dpng', '-r500','season_temp_cut-500m')

```

Cortes de temperatura (corte a; para el Norte del Golfo de California, corte b; para el Centro del Golfo de California y corte c; para el Sur del Golfo de California).

```

% Cortes
clc
clear all
close all
% start

% avg_file = './DJF_winter_roms_avg_pac_Y16.nc';
% avg_file = './MAM_spring_roms_avg_pac_Y16.nc';
% avg_file = './JJA_summer_roms_avg_pac_Y16.nc';
% avg_file = './SON_fall_roms_avg_pac_Y16.nc';
grd_file='roms_grd_pacific_mex3_suv.nc'; % malla
%load
load('zlevs_win_Y16.mat') %
load('zlevs_spr_Y16.mat')
load('zlevs_sum_Y16.mat') %
load('zlevs_fall_Y16.mat')
load('lcost_grd3.mat'); %linea de costa

%Lectura de variables
lon_rho=nc_read(avg_file, 'lon_rho');
lat_rho=nc_read(avg_file, 'lat_rho');
mask_rho=nc_read(avg_file, 'mask_rho');
mask_rho(mask_rho==0)=nan;

h=nc_read(avg_file, 'h');
% zeta=nc_read(avg_file, 'zeta');
pm=nc_read(avg_file, 'pm');
pm = 1./pm;
pms = cumsum(pm);
temp=nc_read(avg_file, 'temp'); % de acuerdo a la estacion

%Calcula profundidad
% N= 40;
% theta_s = 6.0;
% theta_b = 0.0;
% hc = 10.;
%
% z = zlevs(h,zeta(:,1),theta_s,theta_b,hc,N,'r',2);
% z2=permute(z,[2,3,1]);
pointa = [84 380];
pointb = [83 330];
pointc = [75 301];

```

```

resta = 3;
restb = 6;
restc = 10;
% Corte
% hc = h(83:end,340);
% hc = hc.*mask_rho(83:end,340);

%% %a
% zc = squeeze(z_perm_win(pointa(1):end-resta,pointa(2,:))); % z_
% pms = pms(pointa(1):end-resta,pointa(2));
% pms = repmat(pms, [1, 40]);
% mask = mask_rho(pointa(1):end-resta,pointa(2));
% mask = repmat(mask, [1, 40]);
% temp = squeeze(temp(pointa(1):end-resta,pointa(2,:)));
%% %b
zc = squeeze(z_perm_fall(pointb(1):end-restb,pointb(2,:))); % z_
pms = pms(pointb(1):end-restb,pointb(2));
pms = repmat(pms, [1, 40]);
mask = mask_rho(pointb(1):end-restb,pointb(2));
mask = repmat(mask, [1, 40]);
temp = squeeze(temp(pointb(1):end-restb,pointb(2,:)));
%% %c
% zc = squeeze(z_perm_fall(pointc(1):end-restc,pointc(2,:))); % z_
% pms = pms(pointc(1):end-restc,pointc(2));
% pms = repmat(pms, [1, 40]);
% mask = mask_rho(pointc(1):end-restc,pointc(2));
% mask = repmat(mask, [1, 40]);
% temp = squeeze(temp(pointc(1):end-restc,pointc(2,:)));
%%
% Grafica cortes #1
fig=figure (1);
pcolor(lon_rho, lat_rho, -h.*mask_rho), shading interp
hold on
plot(lon, lat, 'k')
title('Cortes','FontSize',14,'FontWeight','bold')
xlabel('Longitud','FontWeight','bold')
ylabel('Latitud','FontWeight','bold')
gmex = {'Golfo',' de','México'};
pmex = {'Pacífico Mexicano'};
mex = {'México'};
text(-120, 10, pmex,'FontSize',10')
text(-94, 25, gmex,'FontSize',10')
text(-104, 22, mex,'FontSize',10')
text(-105, 34, 'U.S.A.','FontSize',10')

```

```

%text(-113.5, 28, 'Baja California','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-112, 30, 'Sonora','FontSize',8, 'rotation',-45);
text(-107.8,25.5, 'Sinaloa','FontSize',8, 'rotation',-45);
%text(-111,27, 'Golfo de California','FontSize',8, 'rotation',-45);

% corte a
plot(lon_rho(pointa(1):end-resta,pointa(2)), lat_rho(pointa(1):end-resta,pointa(2)), 'k',
'linewidth',2)
text(-114.5, 29.6, 'a','FontSize',13,'FontWeight','bold')
text(-112.7, 31, 'a*','FontSize',13,'FontWeight','bold')
% corte b
plot(lon_rho(pointb(1):end-restb,pointb(2)), lat_rho(pointb(1):end-restb,pointb(2)), 'k',
'linewidth',2)
text(-112, 26.5, 'b','FontSize',13,'FontWeight','bold')
text(-110, 28.3, 'b*','FontSize',13,'FontWeight','bold')
% corte c
plot(lon_rho(pointc(1):end-restc,pointc(2)), lat_rho(pointc(1):end-restc,pointc(2)), 'k',
'linewidth',2)
text(-110.9, 24.8, 'c','FontSize',13,'FontWeight','bold')
text(-108.3, 26.8, 'c*','FontSize',13,'FontWeight','bold')
hold off
colormap('jet')
colorbar()
set(get(colorbar,'ylabel'),'string','m', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');
axis([-115 -107 22.5 32.5]) % recorta
grid on
% print(fig, '-dpng', '-r500','cortes_abc')

%% Grafica corte #2
%
% % corte a-a*
% fig=figure (2);
% contourf(pms./1000, zc, temp.*mask)% , shading interp
% hold on
% plot(pms(:,1)./1000, zc(:,1), 'k', 'linewidth',4)
% title('Corte a-a* (Otoño)','FontSize',14,'FontWeight','bold')
% xlabel('km','FontWeight','bold')
% ylabel('Profundidad en (m)','FontWeight','bold')
% text(1240,-120, 'Sinaloa', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');
% hold off
% colormap('jet')
% % colorbar
% % set(get(colorbar,'ylabel'),'string','Temperatura en °C',
'FontSize',10,'FontWeight','bold');
%
```

```

% % % % % misma barra-----
% max(max(temp.*mask))
% min(min(temp.*mask))
% hmin= 11.4715;
% hmax= 28.6065;
% caxis([hmin hmax])
%
% kk3 = round(linspace(hmin,hmax,9));
% cbh = colorbar('YTickLabel',kk3,'YTick', linspace(hmin,hmax,9));
% set(get(cbh,'ylabel'),'string','Temperatura en °C', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');
%
% % print(fig, '-dpng', '-r500','corte_Otoño_contourf_a')

%%
% corte b-b*
fig=figure (3);
contourf(pms./1000, zc, temp.*mask, 10)% , shading interp
hold on
plot(pms(:,1)./1000, zc(:,1), 'k', 'linewidth',4)
title('Corte b-b* (Otoño)', 'FontSize',14,'FontWeight','bold')
xlabel('km', 'FontWeight','bold')
ylabel('Profundidad en (m)', 'FontWeight','bold')
text(1230,-800, 'Sinaloa', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');
hold off
colormap('jet')
% colorbar
% set(get(colorbar,'ylabel'),'string','Temperatura en °C', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');

% % % % % misma barra-----
max(max(temp.*mask))
min(min(temp.*mask))
hmin= 2.4552;
hmax=30.6944;
caxis([hmin hmax])

kk3 = round(linspace(hmin,hmax,9));
cbh = colorbar('YTickLabel',kk3,'YTick', linspace(hmin,hmax,9));
set(get(cbh,'ylabel'),'string','Temperatura en °C', 'FontSize',10,'FontWeight','bold');

% print(fig, '-dpng', '-r500','4corte_Otoño_contourf_b')
%%
% % corte c-c*
% fig=figure (4);
% contourf(pms./1000, zc, temp.*mask)% , shading interp
% hold on

```

```

% % [c, he] = contour(pms./1000, zc, temp.*mask, 20, 'color', [0.1 0.1 0.1]);
% % set(he,'linewidth',0.01);
% plot(pms(:,1)./1000, zc(:,1), 'k', 'linewidth',4)
% title('Corte c-c* (Invierno)', 'FontSize',14, 'FontWeight', 'bold')
% xlabel('km', 'FontWeight', 'bold')
% ylabel('Profundidad en (m)', 'FontWeight', 'bold')
% text(1195,-1000, 'Sinaloa', 'FontSize',10, 'FontWeight', 'bold');
% hold off
% colormap('jet')
% % colorbar
% % % set(get(colorbar,'ylabel'),'string', 'Temperatura en °C',
'FontSize',10, 'FontWeight', 'bold');
%
% % % % % misma barra-----
% max(max(temp.*mask))
% min(min(temp.*mask))
% hmin= 2.4552;
% hmax=30.6944;
% caxis([hmin hmax])
%
% kk3 = round(linspace(hmin,hmax,9));
% cbh = colorbar('YTickLabel',kk3,'YTick', linspace(hmin,hmax,9));
% set(get(cbh,'ylabel'),'string', 'Temperatura en °C', 'FontSize',10, 'FontWeight', 'bold');
%
% print(fig, '-dpng', '-r500', '1corte_Invierno_contourf_c')

```

Campos de velocidad

% Campos de velocidad para el Norte del Golfo de California

```

clear all
%close all
start
path1= '/disco2/Roms_agrif_Carlos/promclim';
path2='/disco2/Roms_agrif_Carlos';
prof=-10;
npts=[0 0 0 0];
skp=1;

% file1= 'monmean_roms_avg_pac_Y16_mon10.nc'; %MENSUALES
% file1= 'roms_avg_pac_Y16_anual.nc'; %ANUAL
% file1='DJF_winter_roms_avg_pac_Y16.nc';
% file1='MAM_spring_roms_avg_pac_Y16.nc';
% file1='JJA_summer_roms_avg_pac_Y16.nc';
file1='SON_fall_roms_avg_pac_Y16.nc';

```

```

filegrd='roms_grd_pacific_mex3_suv.nc';
fineg=[path2, '/', filegrd];
his=[path1, '/', file1];
[lat,lon,mask]=read_latlonmask(fineg,'r');
nc=netcdf(fineg);
angle=nc {'angle'} (:);
close(nc);
mask(mask==0)=NaN;

u=get_hslice(his,fineg,'u',1,prof,'u');
v=get_hslice(his,fineg,'v',1,prof,'v');
[u,v,lon,lat,mask]=uv_vec2rho(u,v,lon,lat,angle,mask,skp,npts);
u=u(360:408,81:99);
v=v(360:408,81:99);
lon=lon(360:408,81:99);
lat=lat(360:408,81:99);
mask=mask(360:408,81:99);
u=u.*mask;
v=v.*mask;
%Hacu=u(345:408,81:99);er mapa y gráfica
ax(1)=-115.1; % min(lon(:));
ax(2)=-111.30;% 60;% max(lon(:));
ax(3)=28;% min(lat(:));
ax(4)=31.78;% max(lat(:));
% axes('position',[.05 .08 .8 .8]);
fig=figure;
m_proj('mercator','lon',ax(1:2),'lat',ax(3:4));
load todomexico2;
m_plot(todomexico(:,1),todomexico(:,2),'k','linewidth',.9)
hold on
u=u(:);
v=v(:);
lon=lon(:);
lat=lat(:);
buenos=find(isnan(u)==0);
u=u(buenos);
v=v(buenos);
lon=lon(buenos);
lat=lat(buenos);
mag=0.05;
h=m_quiver([-112.4;lon],[30.7;lat],[mag;u],[0;v],5,'k');
m_text(-112.4,30.6,'5 cm s^{-1}')
m_grid('xtick',10,'tickdir','in','yaxislocation','left','fontsize',11,'box','fancy')
%texts

```

```

%title('(a)', 'fontsize', 14, 'fontweight', 'bold') %
xlabel('Longitud', 'fontsize', 12')
ylabel('Latitud', 'fontsize', 12')
m_text(-112.5, 31.5, 'Otoño', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'bold') %
m_text(-112.5, 31.4, ([int2str(prof), 'm']), 'fontsize', 12, 'fontweight', 'bold')
m_line(-112.4, 29, 'marker', 'square', 'markersize', 4, 'color', 'r');
m_text(-112.4, 29, 'T', 'fontweight', 'bold', 'vertical', 'top')
m_line(-113.4, 29.3, 'marker', 'square', 'markersize', 4, 'color', 'r');
m_text(-113.4, 29.25, 'AG', 'fontweight', 'bold')
m_line(-114.5, 29.4, 'marker', 'square', 'markersize', 4, 'color', 'r');
m_text(-114.5, 29.4, 'Baja California', 'fontsize', 8, 'rotation', -45);
m_line(-112.5, 30, 'marker', 'square', 'markersize', 4, 'color', 'r');
m_text(-112.5, 30, 'Sonora', 'fontsize', 8, 'rotation', -45);
m_line(-112.5, 28.6, 'marker', 'square', 'markersize', 4, 'color', 'r');
m_text(-112.5, 28.6, 'Golfo de California', 'fontsize', 8, 'rotation', -45);

m_text(-114.9, 28.2, '(d)', 'fontsize', 12, 'fontweight', 'bold'); %

% print(fig, '-dpng', '-r500', 'OtoñoG_cp_Z-10m') %

%h=m_quiver_cst(lon,lat,u,v,0,'k');
%h=m_quiver_fix(lon,lat,u,v,scale,x0,y0,u_unit,units,...
%             fontsize);
% [z]=get_depths(his,fineg,1,'r');

%h=add_speed_vec(his,fineg,1,level,skp,npts,scale,x0,y0,u_unit,units,fontsize)

% Campos de velocidad para el Centro y Sur del Golfo de California
clear all
close all
start
path1= '/disco2/Roms_agrif_Carlos/promclim';
path2= '/disco2/Roms_agrif_Carlos';
prof=-10;
npts=[0 0 0 0];
skp=1;

file1= 'monmean_roms_avg_pac_Y16_mon10.nc'; % MENSUALES
% file1= 'roms_avg_pac_Y16_anual.nc'; % ANUAL
% file1= 'DJF_winter_roms_avg_pac_Y16.nc';
% file1= 'MAM_spring_roms_avg_pac_Y16.nc';
% file1= 'JJA_summer_roms_avg_pac_Y16.nc';
% file1= 'SON_fall_roms_avg_pac_Y16.nc';
Mes='Octubre';

```

```

letra='(j)';

filegrd='roms_grd_pacific_mex3_suv.nc';
fineg=[path2,'/',filegrd];
his=[path1,'/',file1];
[lat,lon,mask]=read_latlonmask(fineg,'r');
nc=netcdf(fineg);
angle=nc{'angle'}(:);
close(nc);
mask(mask==0)=NaN;

u=get_hslice(his,fineg,'u',1,prof,'u');
v=get_hslice(his,fineg,'v',1,prof,'v');
[u,v,lon,lat,mask]=uv_vec2rho(u,v,lon,lat,angle,mask,skp,npts);
u=u(260:353,75:99);
v=v(260:353,75:99);
lon=lon(260:353,75:99);
lat=lat(260:353,75:99);
mask=mask(260:353,75:99);
u=u.*mask;
v=v.*mask;
% ver GC, dimensiones de la malla
ax(1)=-113; % min(lon(:));
ax(2)=-107;% 60;% max(lon(:));
ax(3)=22.7;% mmin(lat(:));
ax(4)=29.3;% max(lat(:));
% axes('position',[.05 .08 .8 .8]);
fig=figure;
m_proj('mercator','lon',ax(1:2),'lat',ax(3:4));
load todomexico2;
m_plot(todomexico(:,1),todomexico(:,2),'k','linewidth',.9)
hold on
u=u(1:2:end, 1:2:end); %
u=u(:);
v=v(1:2:end, 1:2:end); %
v=v(:);
lon=lon(1:2:end, 1:2:end); %
lon=lon(:);
lat=lat(1:2:end, 1:2:end); %
lat=lat(:);
buenos=find(isnan(u)==0);
u=u(buenos);
v=v(buenos);
lon=lon(buenos);
lat=lat(buenos);

```

```

mag=0.05;
h=m_quiver([-108.5;lon],[28.5;lat],[mag;u],[0;v],2,'k');
m_text(-108.5,28.4,'5 cm s-1')
m_grid('xtick',10,'tickdir','in','yaxislocation','left','fontsize',11,'box','fancy')
%texts
%title('(a)','fontsize',14,'fontweight','bold') %
xlabel('Longitud','fontsize',12')
ylabel('Latitud','fontsize',12')
m_text(-108.5,29,Mes,'fontsize',12,'fontweight','bold') %
m_text(-108.5,28.8,([int2str(prof),'m']),'fontsize',12,'fontweight','bold')
m_line(-112.4,29,'marker','square','markersize',4,'color','r');
m_text(-112.4,29,'T','fontweight','bold','vertical','top')
m_line(-112.7,27.2,'marker','square','markersize',4,'color','r');
m_text(-112.7,27.2,'B a j a C a l i f o r n i a ','fontsize',9,'rotation',-55);
m_line(-110.25,24.3,'marker','square','markersize',4,'color','r');
m_text(-110.45,24.01,' La Paz','fontsize',8');
m_line(-110.5,28,'marker','square','markersize',4,'color','r');
m_text(-110.5,28,' Sonora','fontsize',8'); %,'rotation',-45);
m_line(-108.5,26,'marker','square','markersize',4,'color','r');
m_text(-108.5,26,' Sinaloa','fontsize',8'); %,'rotation',-45);

m_text(-111.8, 28.8, 'SPeB','FontSize',12,'FontWeight','bold')
m_text(-110.5, 27.7, 'GuyB','FontSize',12,'FontWeight','bold')
m_text(-111.8, 25.5, 'CarB','FontSize',12,'FontWeight','bold')
m_text(-110.4, 23.8, 'PesB','FontSize',12,'FontWeight','bold')
m_text(-109.2, 25.8, 'FarB','FontSize',12,'FontWeight','bold')
m_text(-107.8, 24.8, 'MtzB','FontSize',12,'FontWeight','bold')

m_text(-112.9,23.2,letra,'fontsize',12,'fontweight','bold'); %

% print(fig, '-dpng', '-r500',[Mes,'_CySGC_Z',int2str(prof),'m']) %

```