

Enero/Febrero de 1993 • Volumen XVIII • Número 108

CIENCIA ^y DESARROLLO

CONACYT



ISSN 0185-0008

México (PECE) N\$10.00
Extranjero US\$6.00



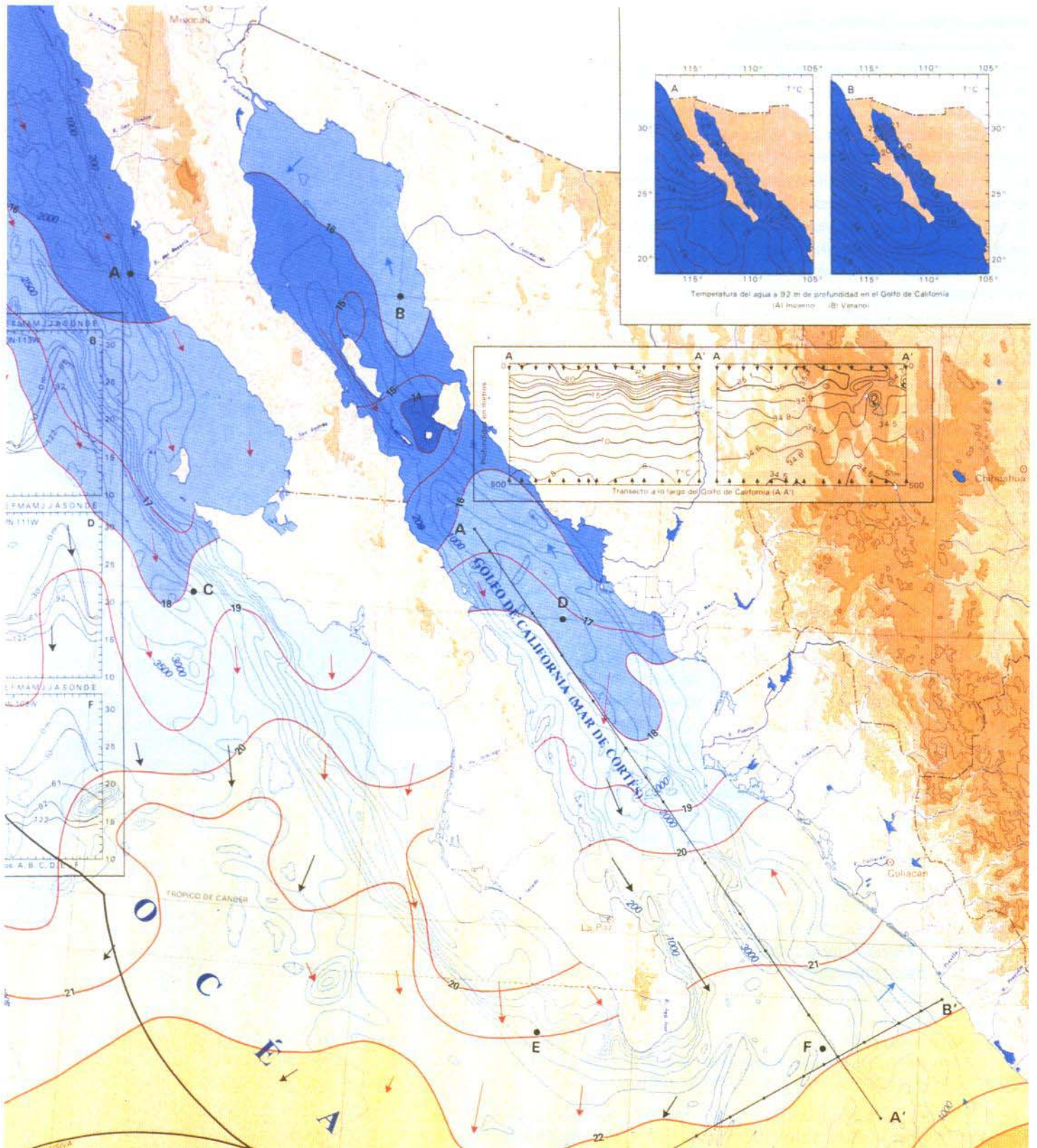
La teoría de la Gran Explosión y las revoluciones científicas

Reacción en cadena de la polimerasa

Las piedras del cielo

Biotecnología de los hongos comestibles

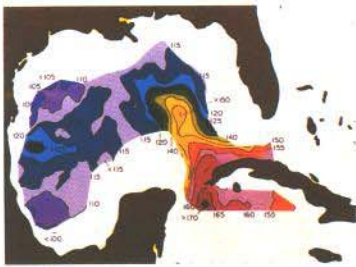
Carta oceanográfica de México



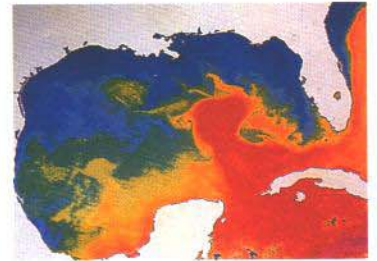
ZONA ECONÓMICA EXCLUSIVA

Oceanografía física de México

Agustín Fernández Eguiarte, Artemio Gallegos García y Jorge Zavala Hidalgo



Los programas actuales de investigación oceanográfica se caracterizan por una generación abundante de datos, producto de una instrumentación que incorpora tecnologías modernas de metrología y microprocesamiento de datos. El crecimiento es tal que la información disponible actualmente no corresponde a los avances que ha logrado la investigación oceanográfica en los últimos diez años. Es necesario integrar el conocimiento actual del espacio oceánico de manera tal que la información pueda ser proporcionada adecuadamente a los diversos usuarios en las áreas de desarrollo educativo, productivo, socioeconómico y científico



La cartografía comprende "el conjunto de estudios y operaciones científicas, artísticas y técnicas que intervienen, a partir de los resultados de observaciones directas o en la exploración de documentos, en el establecimiento de mapas, planos y otras formas de expresión, así como de su utilización".¹

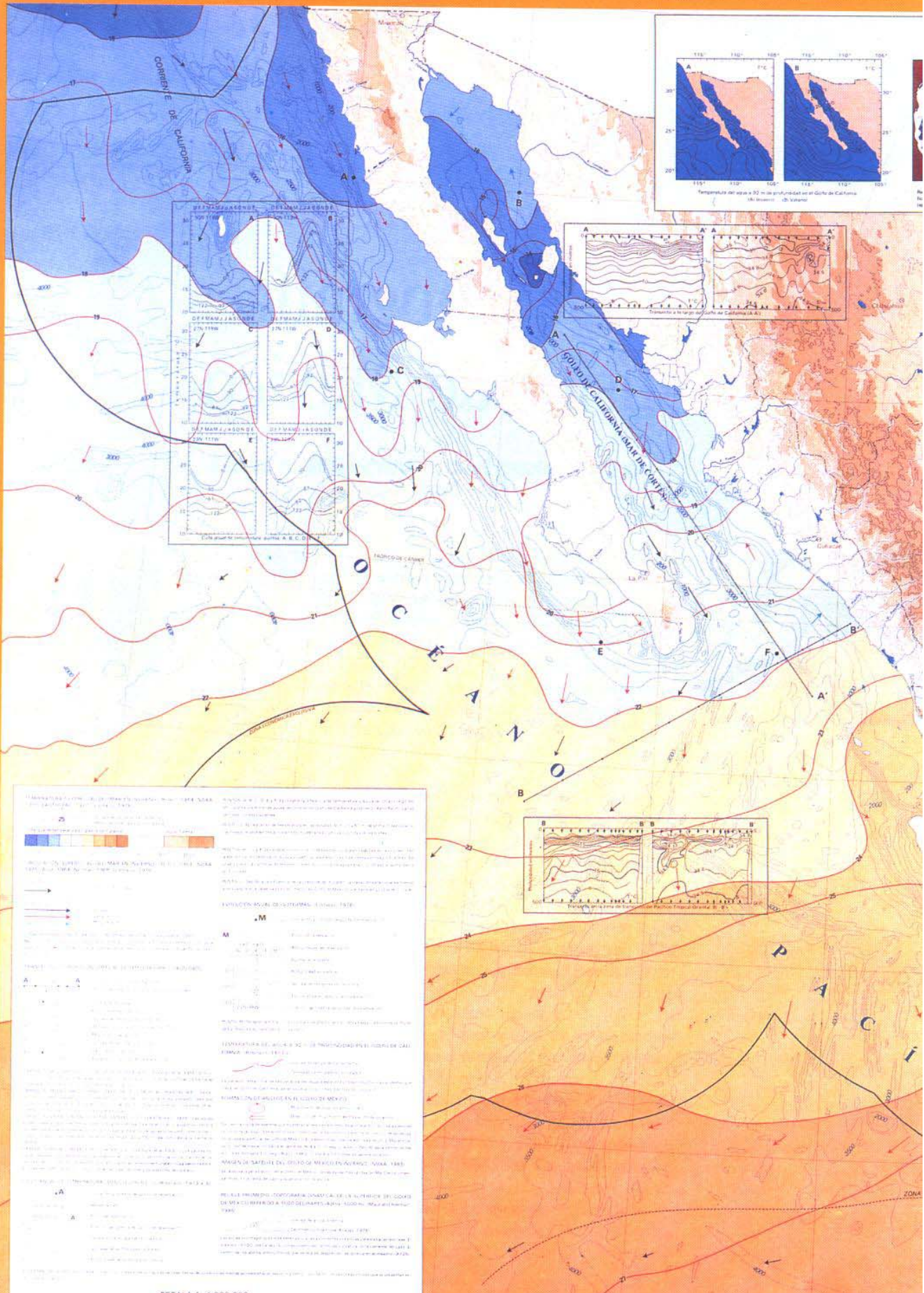
La cartografía marina pretende descubrir por medio de gráficos, con la mayor certidumbre y precisión geográfica posibles, el espacio oceánico. Utiliza principios de geodesia, técnicas de procesamiento de datos y elementos del lenguaje y diseño gráfico para mostrar en un mapa, a través de la distribución espacial y temporal de variables observables, los complicados procesos físicos, químicos, biológicos y geológicos que ocurren en el océano.

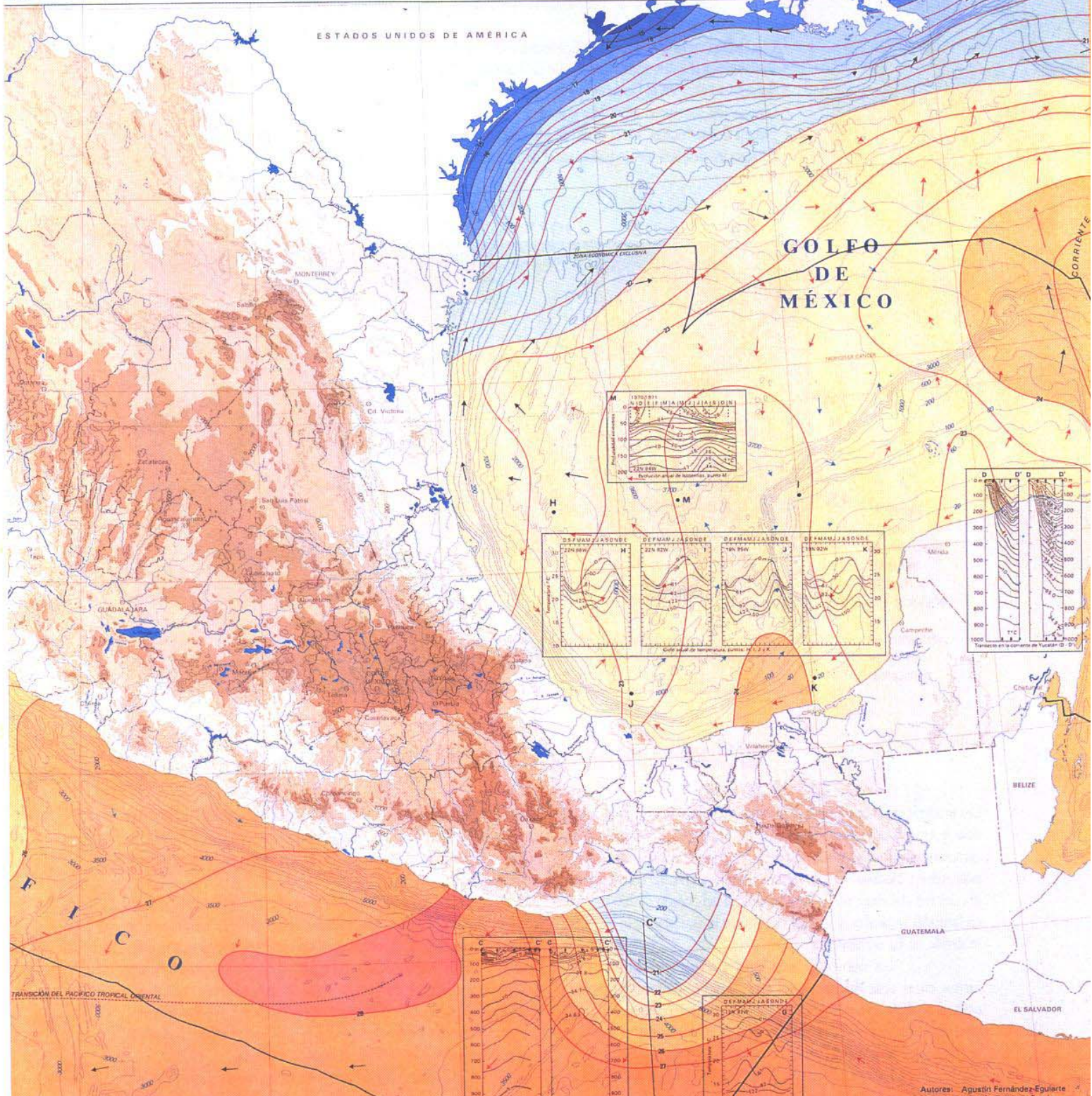
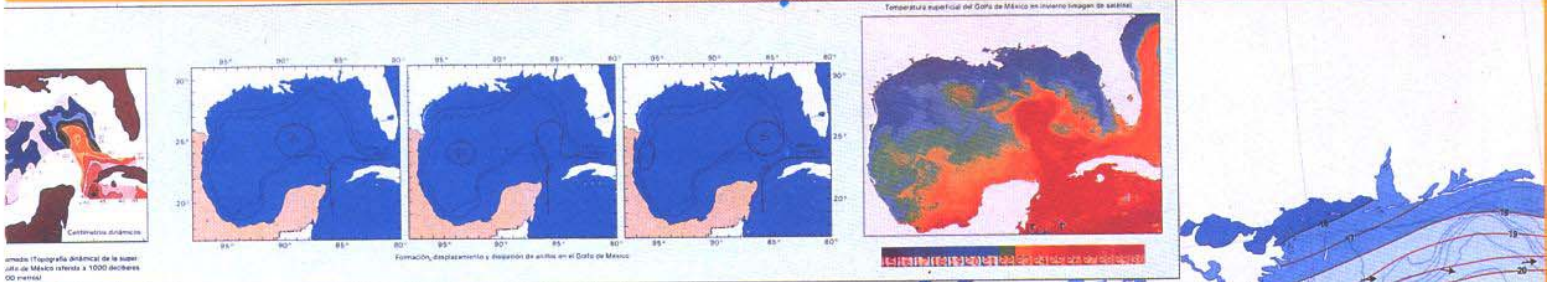
En el presente artículo se pretende ofrecer con mayor amplitud y detenimiento, en un lenguaje asequible y cotidiano, una versión interpretativa y descriptiva de parte del contenido de la carta *Oceanografía física 2, aspectos regionales*,² incluida en el *Atlas nacional de México*,¹⁴ recientemente publicado por el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). Dicha carta representa una selección de los principales fenómenos físicos que ocurren en las aguas de la Zona Económica Exclusiva de México, región que tiene una extensión 1.4 veces mayor que la superficie del territorio continental e insular de nuestro país, y que requiere de análisis detallados.

El propósito central de este documento es representar, describir y explicar algunos de los procesos oceanográficos que ocurren en dicha zona con los métodos gráficos utilizados en la elaboración de la carta, acompañados de su descripción.

Carta de Oceanografía física 2 Aspectos regionales de los mares mexicanos. Fuente: Atlas Nacional de México, publicado por el Instituto de Geografía, UNAM.

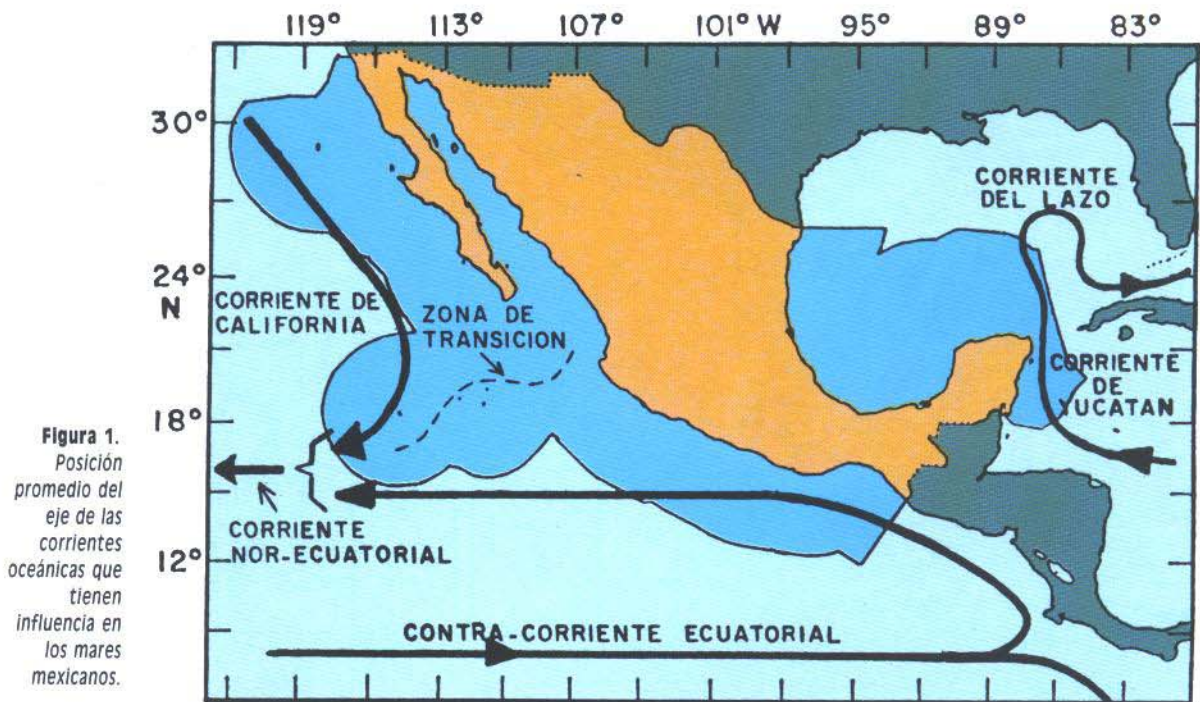
El mapa representa los principales fenómenos y características físicas correspondientes a la Zona Económica Exclusiva de México.





Los aspectos de oceanografía física regional que aquí se abordan específicamente son:

- Circulación superficial en el Pacífico mexicano.
- Variabilidad térmica anual en el Golfo de California.
- Surgencia eólica en el Golfo de Tehuantepec.
- Circulación superficial en el Mar Caribe mexicano.
- Efectos de los "nortes" en el Golfo de México.
- Formación, desplazamiento y disipación de "anillos anticiclónicos" en el Golfo de México.



Circulación superficial en el Pacífico mexicano

Los movimientos horizontales persistentes del agua de mar en la superficie y en los primeros 500 metros de profundidad se denominan *corrientes superficiales*, y son importantes porque transportan calor,¹⁵ nutrientes³ y biomasa⁴ de una región oceánica a otra. Lo común es que el calor sea absorbido por la capa superficial del océano (0-200 metros) en latitudes tropicales, y lo vaya cediendo a la atmósfera a lo largo del recorrido de las corrientes.

Los nutrientes, elementos y compuestos químicos disueltos en el agua del mar, tales como fósforo, carbono, nitrógeno, oxígeno y silicio, el equivalente de los fertilizantes en tierra, condicionan, según su disponibilidad, el desarrollo de la biomasa; ésta, a su vez, forma la base de la cadena alimenticia local.

De esta manera, las condiciones ambientales oceánicas constituidas por factores como temperatura y nutrientes controlan la

biomasa y los procesos que tienen lugar en cada región del océano (espacio oceánico). Por ello es necesario conocer con precisión la circulación oceánica regional así como sus variaciones periódicas y estacionales.

En el Pacífico mexicano ocurre la convergencia de dos grandes sistemas de corrientes superficiales: la Corriente de California y las corrientes ecuatoriales. La Corriente de California es un movimiento amplio (hasta 800 km de ancho y 500 de profundidad), lento (velocidades típicas de 20 cm/s) y persistente, de norte a sur, paralelo a la costa oeste de Canadá y Estados Unidos. El segundo es un sistema de corrientes y contracorrientes paralelas al ecuador terrestre, de las cuales sólo la Contracorriente Ecuatorial del Pacífico tiene influencia sobre el Pacífico mexicano.

Las flechas en la figura 1 muestran el cambio de dirección que la Corriente de California y la Contracorriente Ecuatorial tienen en

la región que denominamos Pacífico mexicano: la de California procede del noroeste y se desvía hacia el oeste; la Contracorriente viene del este, y al acercarse a la barrera continental de América Central se debilita y bifurca hacia el noroeste y hacia el sur. La porción que se desvía hacia el noroeste converge con la de California y ambas dan origen, fuera de los límites de la Zona Económica Exclusiva de México, a la Corriente Norecuatorial del Pacífico que transporta agua superficial hacia el este.

La zona donde convergen las corrientes de California y el ramal noroeste de la Contracorriente se llama *zona de transición*⁵ y su localización geográfica es variable; depende de la intensidad relativa de estas corrientes y de los vientos superficiales dominantes que ocurrieron durante los seis u ocho meses anteriores, sobre todo en el Pacífico norte.

En invierno, cuando la Corriente de California es más intensa, la zona de transición se localiza más al sur, y en verano, cuando la Contracorriente es más intensa, la zona de transición se desplaza hacia el norte. Esta variación ocurre anualmente y alcanza posiciones extremas a finales de dichas estaciones. Tal regularidad pone de manifiesto la influencia del calentamiento por radiación solar sobre la distribución geográfica y estacional de los vientos marinos dominantes.

En resumen, la circulación superficial en el Pacífico mexicano está básicamente dominada por el movimiento latitudinal de la zona de transición. En términos oceanográficos, no existe en esta región ningún desplazamiento horizontal con suficiente intensidad, persistencia y ubicación como para ser considerado corriente superficial.

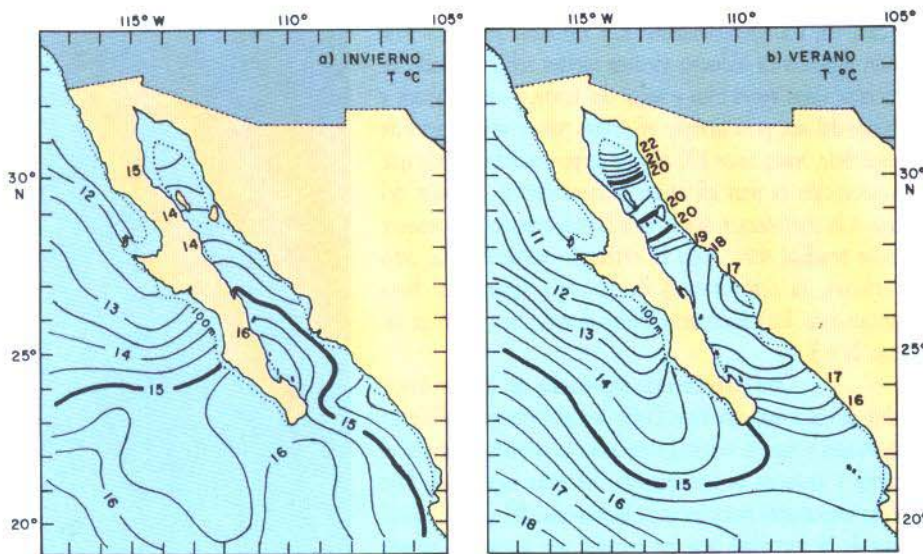


Figura 2. Temperatura promedio del agua a 92 m de profundidad en invierno (a) y en verano (b) en el Golfo de California y su zona exterior. Tomado de Fernández et al., 1992.²

Variabilidad térmica anual en el Golfo de California

El Golfo de California o Mar de Cortés es un cuerpo alargado y estrecho que contiene varias cuencas en el fondo. Su longitud es de 1 500 kilómetros por 100 de ancho en promedio. Sus cuencas son más profundas conforme se aproxima a la boca del Golfo, rebasando en este sitio los 3 000 metros de profundidad. Casi toda el agua de este mar procede de latitudes tropicales, introducida lentamente por efecto de los movimientos remanentes de la Contracorriente Ecuatorial y por el viento.

El Golfo de California es considerado una "cuenca de evaporación" debido al gran volumen de agua que pierde por este proceso, mucho mayor al que ingresa por lluvia, y por los limitados aportes de los pocos ríos que escurren en él. Tales características determinan la variación anual de temperatura de la capa superficial del agua (0-100 metros), particularmente en el tercio norte del Golfo. La

figura 2 describe la oscilación anual de temperatura entre dos situaciones extremas: la época fría (invierno) y la época caliente (verano). La diferencia de temperatura entre estas fases alcanza hasta 7 °C a profundidades de 100 metros. Comparativamente, fuera del Golfo y en estas mismas latitudes, la temperatura del Pacífico mexicano es más baja y la variación térmica anual es cuando mucho de dos grados centígrados.

Una demostración contundente de la evolución térmica anual de la capa de agua superficial se ilustra en la figura 3, en la cual se indica la temperatura a profundidades de 0, 30, 61, 92 y 122 metros de profundidad en distintas localidades (puntos A, B, C, D, E y F). Dado que el agua es uno de los líquidos con mayor capacidad calorífica,⁶ la variación térmica anual significa que el Golfo de California importa y exporta cada año enormes cantidades de energía latente en forma de calor. ¿Cómo lo hace?

Surgencia eólica en el Golfo de Tehuantepec

El Istmo de Tehuantepec es el estrecho entre el Golfo de México y el Océano Pacífico que une la Península de Yucatán con el resto de la república mexicana. Ubicado entre la Sierra Madre del Sur y la Sierra de Chiapas, forma un cañón. Desde mediados de otoño hasta fines de invierno, las masas de aire¹⁸ que se desplazan intermitentemente de la planicie norteamericana hacia el sur ("nortes") quedan atrapadas por la topografía mexicana de la costa del Golfo de México. Al atravesar el Istmo, hacen un "efecto de embudo" que produce corrientes de aire muy fuertes.

Además, siendo más frío y denso el aire proveniente del Golfo de México que el aire que se encuentra sobre el Golfo de Tehuantepec, al pasar la barrera de las montañas penetra por debajo del aire menos denso y se derrama hacia el mar.¹³

En esta forma el "norte" se desplaza sobre las aguas inmediatas del Golfo de Tehuantepec descargando con violencia su "fuerza de arrastre" y llevando mar adentro agua de la capa superficial. En compensación, el agua subyacente (10 a 80 metros de profundidad) asciende a la superficie. Tal efecto se conoce como *surgencia eólica costera*. La surgencia se detecta fácilmente porque el agua que asciende es de 3 a 6 °C más fría que la superficial (véase figura 5c).

Simultáneamente, el "norte" induce una mezcla vertical muy efectiva que contribuye también a la rápida disminución de la temperatura del agua superficial del Golfo de Tehuantepec. Esto puede confirmarse en la distribución vertical de temperatura y salinidad de la figura 5a, donde las isoterms del agua de la superficie varían desde 21 °C en la parte cercana a la costa (por donde entra con fuerza el "norte"), hasta 27 °C mar adentro, zona donde el viento pierde su poder para inducir la surgencia.

En el punto G de la figura 5d se identifica la surgencia eólica y se muestra su evolución a través de un ciclo anual de temperatura a cinco distintas profundidades. En este lugar se señala un descenso de temperatura en las isóbatas⁷ de 0, 30 y 61 m durante los meses de "nortes". En forma similar, las figuras 5a y 5b contienen la distribución vertical de temperatura

y salinidad mostrando el alcance y extensión de la surgencia en esta región. La temperatura de 20 °C del agua superficial, en el lado derecho de la gráfica 5a, señala el área donde emergen las aguas frías, mientras que del lado izquierdo el agua superficial es más cálida. Por la misma razón, en la gráfica 5b de salinidad se aprecia el ascenso de la isohalina de 34.5 partes por millar, en el lado derecho (cerca de la costa), en relación con su profundidad en el lado opuesto (mar adentro).

Un aspecto importante de la zona de surgencia es que a su capa superficial, irradiada por el Sol (capa fótica), llegan los nutrientes de aguas más profundas disueltos en mayores concentraciones. Nutrientes y radiación solar conjuntamente propician la actividad fotosintética suficiente para el desarrollo de una red trófica que puede atraer especies de importancia comercial, como sardina, anchoveta y atún.

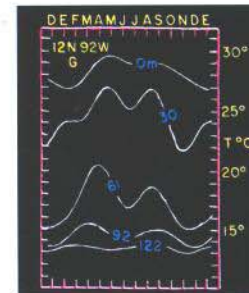
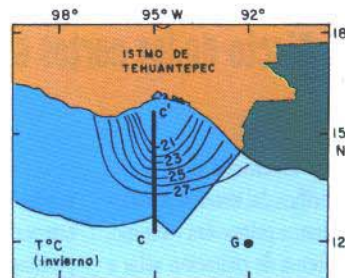
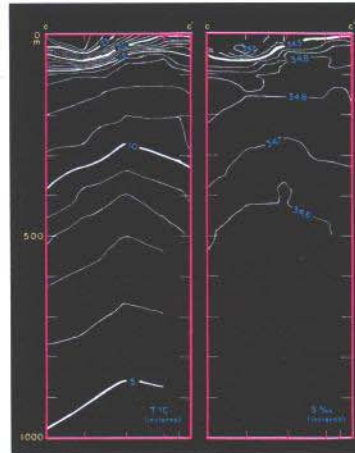


Figura 5. Distribución vertical de temperatura y salinidad en la sección c-c' localizada en el Golfo de Tehuantepec y ciclo anual de temperatura mensual promedio en cinco profundidades de una localidad adyacente al Golfo. Tomado de Fernández et al., 1992.²

Cuando termina la estación de los "nortes" desaparecen pausadamente las evidencias de la surgencia. Se reinicia el calentamiento del agua superficial y se restablece la débil y confusa circulación característica de primavera y verano.

Circulación superficial en el Mar Caribe mexicano

Los vientos alisios del norte⁸ arrastran el agua superficial del Océano Atlántico y generan corrientes que fluyen hacia el poniente integradas al sistema de corrientes del Atlántico tropical. De ellas, la Corriente Norecuatorial llega de las Antillas Menores, en donde divide su flujo en dos ramas. Una, la Corriente de las Antillas, va por el lado oriental de estas islas hasta las Bahamas, y la otra, la Corriente del Caribe, penetra el Mar Caribe por los múltiples estrechos entre las Antillas Menores.

La Corriente del Caribe cruza la cuenca caribeña de oriente a poniente, impulsada por los alisios y circula luego por los canales y sobre los bajos entre Jamaica y Honduras, para entrar a la

cuenca del Mar del Caimán. El flujo se realimenta con agua de esta cuenca y fluye con el nombre de Corriente de Yucatán (figura 1) a través del Mar Caribe mexicano, para penetrar al Golfo de México a través del Estrecho de Yucatán. La corriente alcanza aquí velocidades de hasta 3 m/s,¹⁶ lo que la hace una de las corrientes más rápidas y persistentes del océano mundial.

En el Golfo de México la Corriente de Yucatán se debilita y gira hacia el oriente, describiendo una trayectoria semicircular, similar a un lazo (Corriente del Lazo), para salir al Océano Atlántico por el Estrecho de Florida.

En la sección vertical de la figura 6 se muestra el ascenso y la concentración de isotermas e isohalinas, desde la superficie hasta más allá de 500 metros de profundidad, sobre la plataforma y el talud continental de la Península de Yucatán. Esta condición manifiesta que existe un movimiento ascendente de agua subsuperficial. En este caso la surgencia no es provocada por el viento, como en el caso de la surgencia del Golfo de Tehuantepec, sino por el paso de la intensa corriente por el Mar Caribe mexicano, que genera diferencias laterales de presión hidrostática en la columna de agua, y para conservar el equilibrio de distribución de masas (densidad) se produce un ascenso de agua subsuperficial que se conoce como *surgencia dinámica*.

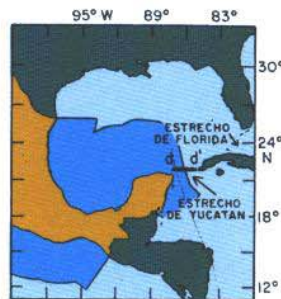
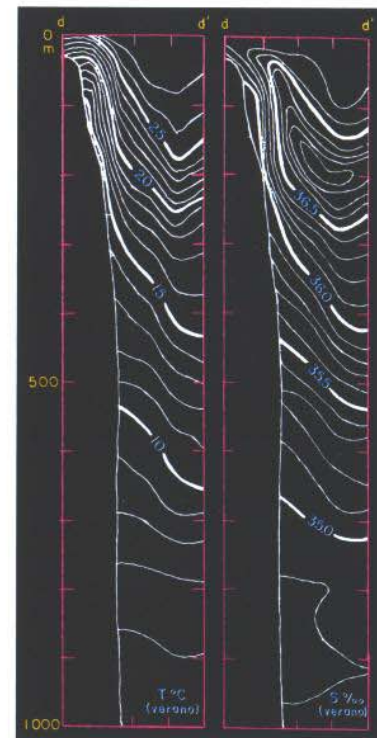


Figura 6. Distribución vertical de temperatura y salinidad en la sección d-d' en el Estrecho de Yucatán en junio de 1984. Tomado de Fernández et al., 1992.²



Efecto de los nortes en el Golfo de México

La capa de los primeros 200 metros de agua superficial del océano tropical es un inmenso almacén de energía calorífica del sistema océano-atmósfera. Ahí se acumula, particularmente durante primavera y verano, la mayor parte de la energía térmica que, en forma de radiación solar e infrarroja (de la atmósfera), llega a la superficie del mar y activa los procesos de dicho sistema. En otoño e invierno el calor almacenado se transfiere a la atmósfera baja mediante la evaporación y la radiación infrarroja (del océano), al agua subsuperficial por vía de mezcla y disipación vertical, y a otras regiones oceánicas por medio de las corrientes subsuperficiales. El proceso de transferencia calor-atmósfera y océano-océano en el Golfo de México se distingue por las condiciones atmosféricas y oceanográficas imperantes en la época de "nortes".

Cuando los "nortes" ocurren sobre el mar, el proceso se torna eficiente para evaporar agua y para mezclarla desde la superficie hasta la base de la capa superficial. En los puntos H, I, J y K de la figura 7 se representa la variación anual de temperatura mensual promedio a 0, 30, 61, 92, 122 y 150 metros de profundidad. Las gráficas muestran que durante el invierno los "nortes" extraen gran cantidad de calor del agua superficial y casi anulan, por mezcla, la estratificación térmica. Se observa también que la respuesta térmica a la transferencia vertical de calor sufre un atraso, en relación con la superficie, con la profundidad. Por ejemplo, en el punto H la máxima temperatura en la superficie ocurrió entre agosto y septiembre, en tanto que a 150 metros de profundidad la máxima no ocurrió hasta noviembre.

En contraste, el punto L de la figura 7 muestra, para el mismo ciclo anual e iguales profundidades, que la variación de la temperatura es mucho más débil tanto en la superficie como en las profundidades mostradas. Esto se debe a la afluencia constante de agua más cálida que transporta la Corriente de Yucatán.

Otro ejemplo del papel que desempeñan los "nortes" en la extracción de calor y la producción de mezcla vertical de la capa superficial del océano, se aprecia en el punto M de la figura 8, en donde se describe la "historia" de la temperatura de una columna de agua, de la superficie hasta 200 m de profundidad. Este lapso comprende de noviembre de 1970 a noviembre del año siguiente, y fue reconstruida con observaciones de seis campañas oceanográficas.

En noviembre de 1970 la capa mezclada¹⁰ alcanzó 50 m de profundidad, temperatura de 26 °C y una termoclina¹¹ fuertemente definida entre 60 y 80 metros de profundidad. En enero la temperatura disminuyó a 24.5 °C pero se conservó el espesor de la capa superficial. En la primavera de 1971 la termoclina se debilitó sustancialmente en tanto que la temperatura aumentó en los primeros 50 metros. En agosto llegó al máximo de temperatura en la superficie y la estratificación térmica se recuperó. En noviembre, apenas iniciada la temporada de "nortes", se aprecia la disminución de temperatura de la capa superficial. Este ciclo térmico anual es típico en el Golfo de México central.

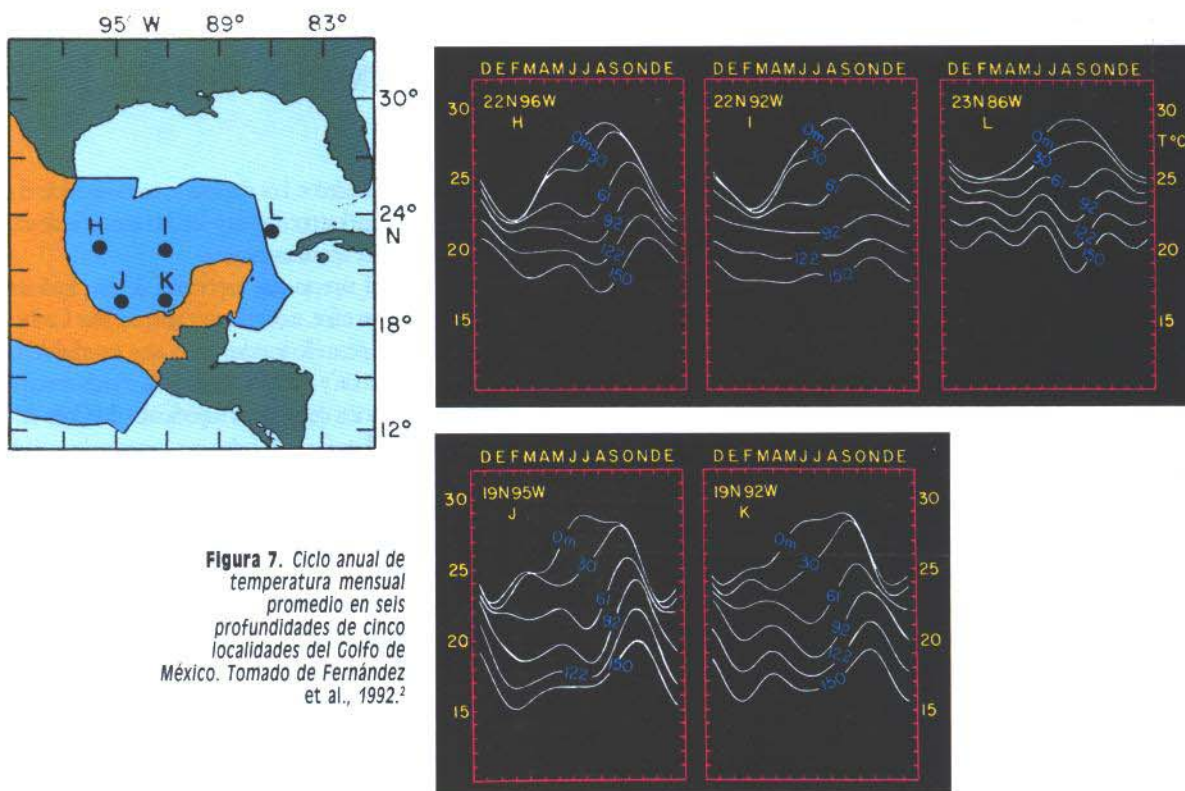


Figura 7. Ciclo anual de temperatura mensual promedio en seis profundidades de cinco localidades del Golfo de México. Tomado de Fernández et al., 1992.²

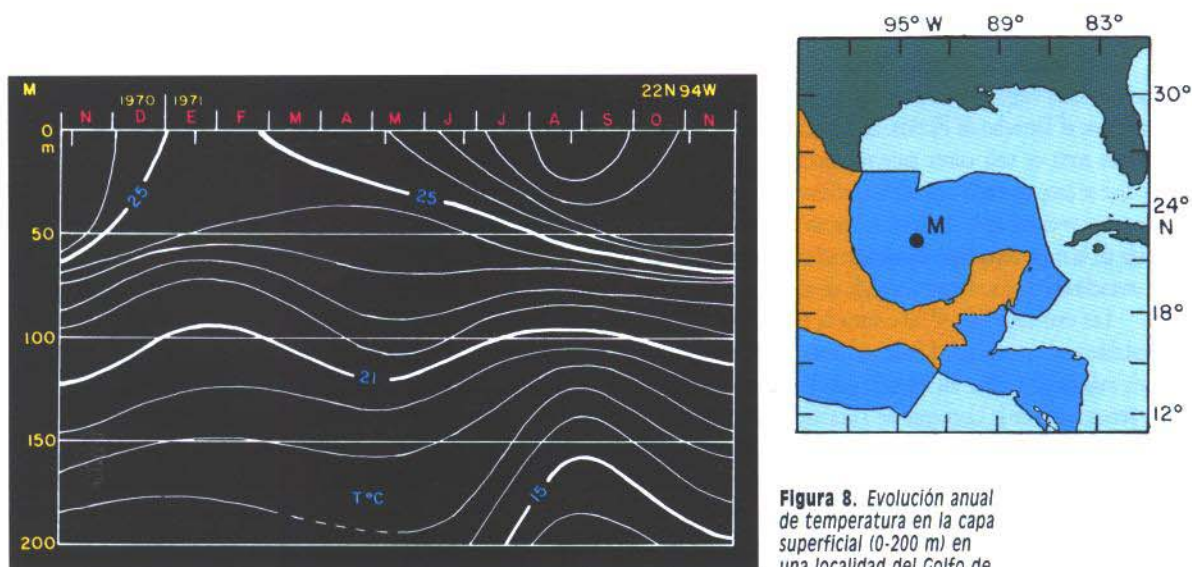
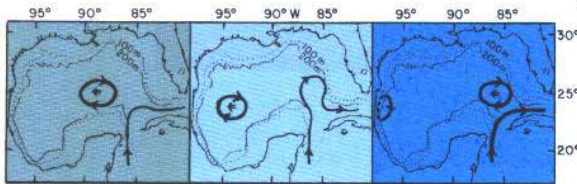


Figura 8. Evolución anual de temperatura en la capa superficial (0-200 m) en una localidad del Golfo de México. Tomado de Fernández et al., 1992.²

Formación, desplazamiento y disipación de "anillos anticiclónicos" en el Golfo de México

La Corriente de Yucatán es variable en cuanto a su intensidad y posición geográfica. Por ejemplo, durante primavera y verano suele ser relativamente rápida¹⁶ y fluir muy próxima a la costa sobre el talud de la plataforma yucateca, mientras que en las otras estaciones del año fluye más lentamente y separada del talud continental. De igual manera, su longitud, ancho, grosor y patrón de trayectoria cambian. Dichas variaciones están controladas fundamentalmente por la uniformidad, persistencia, dirección y fuerza del viento sobre el Caribe y por la estructura termohalina de las masas de agua con que se encuentra la corriente. Los cambios en estas variables no ocurren ni simultánea ni inmediatamente sobre la extensión de la corriente, sino que se propagan a lo largo de su trayectoria. Por esto es conveniente imaginar que una corriente tiene un "estado base" en el que su rapidez, posición, longitud, ancho, grosor y forma de trayectoria tienen valores, extensión y forma típicos. Así, cualquier cambio en estos atributos se habrá de ver como una "perturbación" que se propaga a lo largo de ella, desde el lugar donde ocurrió.

Figura 9. Formación, desprendimiento y disipación de anillos anticiclónicos en el Golfo de México a partir de la Corriente del Lazo. Tomado de Fernández et al., 1992.²



La Corriente de Yucatán, después de penetrar el Golfo de México, vira al oriente y luego al sur-oriente para convertirse en la Corriente del Lazo y salir por el Estrecho de Florida. La trayectoria que la corriente describe en esta zona es una curva muy pronunciada, tanto que una perturbación que se propague a lo largo de la corriente puede provocar que la trayectoria curva se cierre sobre sí misma, forme un vórtice anticiclónico, y se desprenda de la trayectoria base. Al vórtice así generado se le conoce como *anillo anticiclónico*,⁹ por su forma y sentido de giro.

Los extremos "libres", al ocurrir la separación del anillo, se unen y restablecen la continuidad de la corriente que sigue, por corto tiempo, la vía más directa entre los estrechos de Yucatán y Florida. En semanas, la penetración de la Corriente de Yucatán al Golfo crece y, en el transcurso de los meses siguientes, se forma otra vez la pronunciada trayectoria curva que dará origen al siguiente anillo anticiclónico. Este proceso, que se repite año tras año, puede llevar de once a quince meses. En la figura 9 se representa la secuencia de la formación, el desprendimiento y la traslación de los anillos anticiclónicos hacia la zona occidental del Golfo de México, que finalmente arribarán a la plataforma continental de Tamaulipas, en donde agotan su energía y se disipan.

La forma de estos sistemas es la de un domo invertido, como una depresión circular simétrica, y su diámetro típico es de 350 km¹² con alrededor de un millón de kilómetros cúbicos de agua más

cálida que la de alrededor. Los sistemas se trasladan hacia el oeste con una rapidez de tres a seis km por día y su velocidad angular es de un giro completo cada mes y medio, aproximadamente.

El aspecto más importante de este fenómeno es que los anillos transportan calor, movimiento y agua del Mar Caribe al interior del Golfo de México y con ello impiden que el agua superficial del Golfo se enfríe, debilite su circulación y aumente su salinidad, constituyendo así la principal fuente de renovación de las aguas superficiales del Golfo de México.

El geode es la forma que tomarían los océanos extendidos continuamente a través de los continentes, si se ajustaran libremente al efecto combinado de atracción de masa de la Tierra y a la fuerza centrífuga del movimiento de rotación terrestre. Por tanto es una superficie equipotencial (igual gravedad), en la cual la dirección de la gravedad es perpendicular a ella en todos sus puntos. La distancia vertical entre la superficie real del océano y el geode se llama *altura dinámica* (de la superficie real) y su valor depende del lugar y el momento en que se mida. Estas diferencias de altura se deben a las corrientes y a la distribución no uniforme de temperatura y salinidad en el océano, principalmente en los primeros mil metros de profundidad.

Si por algún medio se logra determinar el valor promedio de la altura dinámica en una serie de puntos de una región oceánica y con base en ellos se trazan líneas de igual altura dinámica, se obtiene un mapa de la topografía dinámica de esa región, correspondiente al periodo de tiempo en que se obtuvo el promedio.

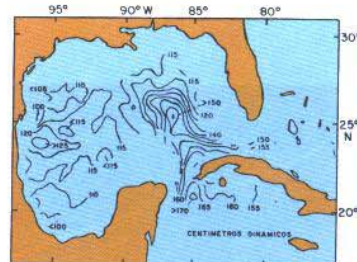


Figura 10. Relieve promedio (topografía dinámica) de la superficie del Golfo de México referido a 1000 decibares (aproximadamente 1000 m). Tomado de Fernández et al., 1992.²

En la figura 10 se presenta un mapa de topografía dinámica promedio (de varios años) de la superficie del Golfo de México, referido a 1000 decibares (aproximadamente 1000 m). Las zonas con mayor pendiente (donde más se concentran las líneas) están asociadas a corrientes que fluyen, en promedio, paralelas a las isobatas de altura dinámica y con una rapidez proporcional a la pendiente. En la misma figura 10 se aprecia cómo las isobatas señalan la Corriente del Lazo y el giro que ésta forma en el Golfo de México oriental antes de salir por el Estrecho de Florida. El valor máximo (> 150 cm dinámicos) indica la posición promedio del centro de curvatura del giro de la corriente. En la parte occidental del Golfo se identifican remanentes de viejos anillos anticiclónicos, cuya posición promedio, la de uno de los más intensos, se aprecia aún en el máximo (> 125 cm dinámicos).

Consideraciones finales

La carta "Oceanografía física 2 (aspectos regionales)", conjuntamente con las de "Batimetría e hipsometría de la Zona Económica Exclusiva de México", "Oceanografía física 1 (masas de agua y mareas)", "Biología marina 1 (macroinvertebrados)", "Biología marina 2 (flora y vertebrados)", así como las de "Geología marina" y "Oceanografía química", conforman la parte de "Oceanografía" del *Atlas nacional de México*¹⁴ y constituyen un primer intento en el desarrollo de la cartografía temática marina de nuestro país. A la vez representan un primer esfuerzo hacia la integración y descripción del conocimiento científico actual de nuestros mares.

El proceso de producción de cartografía oceánica de nuestros mares debe incrementarse y promover la elaboración de mapas que expresen con detalle los procesos y características de nuestro patrimonio, especialmente en estos tiempos en que México tiene necesidad de ampliar su capacidad de investigar, explotar, administrar y negociar con otras naciones sus mares y recursos, lo que dentro del proceso de globalización en que estamos inmersos, nos daría una ventaja competitiva adicional.

Agradecimientos

Los autores agradecen la valiosa colaboración de Andrea Raz-Guzmán Macbeth y de Alberto Sánchez Martínez en la elaboración del presente documento; de igual forma, las sugerencias del doctor Ingvor Emilsson y del maestro Raymundo Lecuanda Camacho, las cuales fueron muy útiles para darle su forma final al artículo.

Instituto de Ciencias del Mar y Limnología,
Laboratorio de Oceanografía Física,
UNAM, Ciudad Universitaria,
04510 México, D. F.

Agustín Fernández Eguarte es egresado de ingeniería topográfica y geodésica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM y realizó estudios de maestría en ciencias del mar y geografía. Desde 1977 a la fecha es miembro del Grupo de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM. Actualmente dirige los proyectos "Cartografía oceánica de los mares mexicanos" y "Sistema automatizado de captura y mapeo de datos batimétricos"; es miembro del proyecto "Climatología oceánica de las aguas mexicanas", y autor de numerosas publicaciones especializadas. Es también profesor de computación aplicada, cartografía y topografía en la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Artemio Gallegos, investigador del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM desde octubre de 1980 y profesor del Programa de Especialización, Maestría y Doctorado en Ciencias del Mar desde octubre de 1980, se tituló en la Escuela Superior de Física y Matemáticas del IPN e hizo estudios de maestría en el Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada, Baja California. Obtuvo el doctorado en oceanografía física en la Universidad A&M de Texas (College Station, Texas, Estados Unidos). Autor de numerosos trabajos publicados, actualmente dirige un programa de investigación oceanográfica en la región del Caribe.

Jorge Zavala Hidalgo es egresado de la carrera de física de la Facultad de Ciencias de la UNAM y Maestro en Ciencias del Mar, orientación oceanografía física, graduado con mención honorífica. Desde hace seis años se desempeña en el Laboratorio de Oceanografía Física del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología de la UNAM, y actualmente realiza estudios de doctorado en el Centro de Investigación Científica y Educación Superior de Ensenada (CICESE). Autor de numerosas publicaciones especializadas, es también profesor de física en la Facultad de Ingeniería de la UNAM y ayudante de profesor en oceanografía física en la maestría y doctorado en ciencias del mar de la UNAM.

Notas y referencias

- Definición adoptada por la Comisión para la Formación de Cartógrafos de la Asociación Cartográfica Internacional reunida en la UNESCO, París, abril de 1966.
- Fernández, A., A. Gallegos y J. Zavala, "Carta oceanografía física 2, aspectos regionales", Atlas nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, 1992, vol. II.
- En el océano cualquiera de los compuestos inorgánicos u orgánicos o iones que son utilizados principalmente en la nutrición de los productos primarios.
- La cantidad de materia viva por unidad de superficie o de volumen de agua expresada en unidades de peso.
- Gallegos, A., J. Barberán y A. Fernández, "Condiciones oceánicas alrededor de Isla Socorro, Archipiélago de Revillagigedo, en julio de 1981", Revista Geofísica, IPGH, núm. 28, enero-febrero de 1988, pp. 41-58.
- Todas las sustancias aumentan de temperatura cuando absorben calor. Para un mismo cambio de temperatura, entre más calor absorben mayor es su capacidad calorífica.
- Línea de contorno que conecta en un mapa puntos de igual profundidad (isóbata), temperatura (isoterma) y salinidad (isohalina).
- Son los sistemas de vientos localizados entre las latitudes de 0 y 30° en ambos hemisferios. Al norte del ecuador soplan del nororiente aproximadamente el 80% del tiempo.
- En oceanografía, remolinos de diversas dimensiones que giran en el hemisferio norte tanto en el sentido de las manecillas del reloj (giro anticiclónico), como en sentido opuesto (giro ciclónico).
- Capa de agua superficial por encima de la termoclina¹¹ cuya temperatura sufre la influencia de la del aire inmediato superior a ella.
- Gradiente vertical negativo de temperatura en alguna capa de un cuerpo de agua que es apreciablemente mayor que los gradientes por encima y por debajo de él.
- Elliot, B. A., "Anticyclonic Rings in the Gulf of Mexico", Journal of Physical Oceanography, 1982, pp. 1292-1309.
- En inglés fall wind (viento de caída).
- Atlas nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, 1992, vol. II.
- Energía que eleva la temperatura de los cuerpos.
- Velocidades de 3 m/s en el eje de la corriente de Yucatán fueron observadas al oriente de la Isla de Cozumel durante el crucero YUCA-III (abril de 1991) a bordo del buque oceanográfico Justo Sierra, de la UNAM. El equipo utilizado fue Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP), Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, Laboratorio de Oceanografía Física.
- Fernández, A., A. Gallegos y J. Zavala, "Carta oceanografía física 1, masas de agua y mareas", Atlas nacional de México, Instituto de Geografía, UNAM, 1992, vol. II.
- Cuando un cuerpo de aire reposa sobre un área grande de agua o de tierra, con radiación solar directa bien distribuida, adquiere la temperatura y características de humedad de la región de origen. Si el cuerpo de aire se homogeneiza horizontalmente, se le conoce como masa de aire. Las masas de aire desarrolladas en las regiones polares son frías y secas mientras las desarrolladas en las regiones tropicales son cálidas y húmedas.
- Maul, G. y Herman, A., "Mean Dynamic Topography of the Gulf of Mexico with Applications to Satellite Altimetry", Marine Geodesy, 9 (1) : 27-44, 1985.
- NOAA, Gulf of Mexico Coastal and Oceans Zones, Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, Estados Unidos, 1985.