

## **La Importancia de los Estudios Regionales de Circulación Oceánica en el Golfo de México\***

*The importance of Regional Circulation Studies in the Gulf of Mexico*

**Víctor M. V. Vidal Lorandi y Francisco V. Vidal Lorandi\*\***

---

### **RESUMEN**

---

El Golfo de México tiene una preponderante importancia económica, ecológica, oceanográfica y estratégica. El Golfo constituye también un excelente laboratorio físico dentro del cual se pueden investigar diversos fenómenos oceanográficos de gran escala. Dada su localización geográfica el acceso al Golfo de México por oceanógrafos mexicanos es prácticamente ilimitado. Esto ha conducido al desarrollo de programas de investigación independientes, interdisciplinarios e interinstitucionales. Particularmente sobresalientes resultan aquellas investigaciones oceanográficas asociadas al desprendimiento y migración de vórtices, provenientes de la Corriente del Lazo, que colisionan contra el talud occidental del Golfo. El resultado de estos estudios de circulación de meso-escala ha arrojado contribuciones importantes sobre los procesos físico-oceanográficos que determinan la circulación general y el intercambio de masas de agua dentro del Golfo. La translación de estos giros, su tiempo de residencia, y su interacción con el talud y la plataforma continental del Golfo son determinantes en la distribución de las propiedades físico-químicas de las masas de agua, del campo de circulación, y del transporte que controla su intercambio. Debido a la ubicación estratégica del Golfo y a la soberanía que México tiene sobre gran parte de este cuerpo de agua, la nación tiene una impostergable responsabilidad sobre su jurisdicción y, en consecuencia, la obligación de conducir programas de investigación y de desarrollo que conlleven al avance del conocimiento científico y tecnológico de las ciencias oceanográficas para el beneficio del país.

**Palabras clave:** Importancia del Golfo de México, circulación de meso-escala, vorticidad, distribución de masas de agua, estudios de relevancia oceanográfica.

---

### **ABSTRACT**

---

The Gulf of Mexico engenders a preponderant economic, ecological, oceanographic, and strategic importance. It constitutes an excellent physical laboratory within which major oceanographic processes can be studied and extrapolated to other parts of the world's oceans. Given its geographical location the Gulf is readily accessible to Mexican oceanographers and other scientists. Major research efforts, some of them carried out jointly, have been conducted by Mexico and other countries during the last three decades. These studies have yielded important discoveries into the nature of physical oceanographic processes which control the general circulation and water-mass exchanges within the Gulf. Study topics have included coastal processes, tides, the Loop Current and associated rings, and the effects of tropical storms, among others. In-situ measurements coupled with satellite observations have provided much needed information for the modelling of the Gulf's hydrodynamic processes, like coastal phenomena, tropical storms and oceanic eddies. Although numerical modelling of circulation phenomena in the Gulf has achieved good results there is still much to be done. In particular it is important to evaluate which information needs to be included in the numerical models, how that is

\* Enviado para el Volumen No. 47 de la RSMHN, dedicado al Dr. Eucario López-Ochoterena.

\*\* Instituto Politécnico Nacional. Cuernavaca, Morelos, C.P. 62490, México.

to be achieved, and what additional knowledge will be required for future modelling enhancements, which hopefully will yield a nowcast/forecast capability for the Gulf's dominating physical processes. Given the Gulf's geographical location, Mexico has been blessed with a preponderant part of its jurisdiction, hence the responsibility to conduct relevant scientific studies for the advancement of the oceanographic sciences.

**Key words:** Importance of the Gulf of Mexico, meso-scale circulation, vorticity, water-mass exchange and distribution, future relevant oceanographic studies.

## Introducción

El Golfo de México constituye un excelente laboratorio físico dentro del cual se pueden estudiar y extrapolar diversos procesos oceanográficos de gran escala. El área total del Golfo de México es de  $1.5 \times 10^6 \text{ km}^2$  y contiene un volumen de agua de  $2.3 \times 10^6 \text{ km}^3$ . Si consideramos una profundidad promedio de 1500 metros, el Golfo de México representa el 60% del Mar Mediterráneo Europeo. La dimensión este-oeste del Golfo es de 1600 km, esta dimensión representa el 30% del Atlántico a latitudes similares. La región occidental del Golfo tiene una extensión norte-sur de 1300 km, mientras que sus regiones central y oriental promedian 900 km. La región central del Golfo, donde se localiza la Fosa de Sigsbee, tiene una profundidad promedio de 3000 m (figura 1).

México tiene aproximadamente 11,500 km de litoral y más de  $2 \times 10^6 \text{ km}^2$  de Zona Económica Exclusiva. El Golfo de México, con una superficie de  $1.6 \times 10^6 \text{ km}^2$ , representa un recurso natural de enorme importancia económica, ecológica y estratégica. La Zona Económica Exclusiva mexicana en el Golfo de México es del orden de  $0.9 \times 10^6 \text{ km}^2$  y representa aproximadamente el 55% de la superficie total ( $1.6 \times 10^6 \text{ km}^2$ ) del Golfo. Su contribución económica está fincada en la extracción, el procesamiento y la distribución de hidrocarburos, en su dinámica actividad pesquera, en sus desarrollos agropecuarios y turísticos, en los intensos movimientos de sus complejos portuarios y en el tránsito marítimo requerido por las actividades industriales y comerciales. En síntesis, el Golfo de México es una unidad oceanográfica altamente productiva que constituye casi el 30% del litoral mexicano.

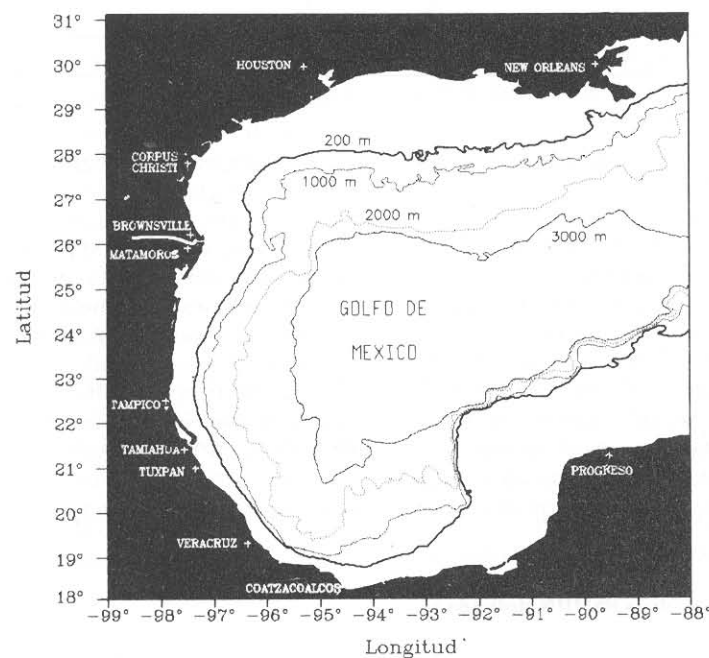


Figura 1. Morfología del Golfo de México.

## La Importancia Económica del Golfo

En el Golfo de México se ubican unas de las mayores provincias petroleras en producción en el mundo: East Texas, Gulf Coast y Delta del Mississippi, en Estados Unidos; Reforma-Tabasco y Sonda de Campeche, en México (Botello *et al.*, 1992). Las reservas estimadas para cinco áreas de la región central del Golfo: el margen del Río Grande, el Plegamiento del Perdido, los Escarpes de Sigsbee y de Campeche, y la Cuenca Abisal del Golfo, se estiman en más de  $100 \times 10^9$  barriles de petróleo crudo (Valderrama, 1997). Más del 96% del petróleo crudo y 80% de la producción nacional de gas se originan en el Golfo de México y su planicie costera. La zona marina de Campeche aporta el 80% de la producción petrolera de México y el 90 % de las instalaciones para el procesamiento del petróleo crudo y del gas natural se localizan en las costas del Golfo de México (Botello *et al.*, 1992). La Megacuenca Petrolífera del Golfo de México es la tercera en importancia en el mundo, sólo superada por la provincia del Golfo Pérsico y la Cuenca de Siberia Occidental (Valderrama, 1997).

La contribución económica de la industria pesquera mexicana es del orden de  $\$500 \times 10^6$  de dólares anuales y da ocupación a  $\sim 2.5 \times 10^5$  trabajadores. En el Golfo de México la pesquería más importante es la del camarón. Esta representa aproximadamente el 50 % del volumen total nacional. En el mar territorial y en las costas mexicanas del Golfo se explota también la pesca de especies de escama (mojarra, huachinango, pargo, mero y sierra), crustáceos (camarón y jaiba) y moluscos (ostión, principalmente). En la Sonda de Campeche se localizan más de la mitad de los peces demersales, 30% del camarón, el 40% de los moluscos y el 20% de los túnidos existentes en las aguas costeras de México (Botello *et al.*, 1992).

Más de 20 puertos pesqueros se localizan a lo largo del litoral mexicano del Golfo, entre éstos sobresalen por su importancia: Tampico, Tamiahua, Tecolutla, Veracruz, Alvarado, Sánchez Magallanes, Frontera, Ciudad del Carmen, Lerma y Yucaltepén. En conjunto, estos puertos contribuyen a la captura del 35% de la producción pesquera nacional (Botello *et al.*, 1992; Sepesca, 1988). Si consideramos que la producción pesquera anual mexicana es del orden de  $1.5 \times 10^6$  toneladas métricas, que reditúan

al país alrededor de  $\$500 \times 10^6$  dólares (Jiménez-Morales, 1991), entonces, la contribución pesquera mexicana anual del Golfo de México es del orden de  $5.25 \times 10^5$  ton, equivalentes a un ingreso anual de aproximadamente  $\$175 \times 10^6$  dólares.

No obstante las condiciones climáticas adversas, como son las frecuentes tormentas tropicales y los ciclones que azotan al Golfo de México y que lo convierten en una zona de alto riesgo para la navegación comercial, el movimiento portuario y el tránsito marítimo en el Golfo es intenso. Los puertos del Golfo mueven casi el 75% del tonelaje de embarque de importaciones/exportaciones mexicanas, y de los cinco puertos industriales del país, tres están localizados en Golfo de México.

La carga y descarga de hidrocarburos tiene una participación preponderante. Los grandes complejos portuarios de Galveston, Houston, Nueva Orleans, Corpus Christi y Brownsville en el litoral estadounidense, y los puertos mexicanos de Veracruz, Tampico-Madero, Coatzacoalcos-Minatitlán, Cayo Arcas y Dos Bocas, movilizan petróleo crudo, gas natural, ácidos, álcalis, glicoles, nitratos, fenoles, etileno, propileno y materias primas, como el azufre y el fósforo (Botello *et al.*, 1992). El intenso movimiento entre estos puertos y los de la costa del Pacífico de ambos países y los de Europa y el sudeste asiático hacen del Golfo de México una zona estratégica indispensable para la navegación.

## Importancia Ecológica

Botello *et al.* (1992) reportan que la actividad biológica del Golfo está determinada por sus altas temperaturas superficiales ( $T > 20^\circ\text{C}$ ), su favorable luminosidad para la flora y fauna marinas, su alta productividad fitoplanctónica ( $250\text{-}500 \text{ mg cm}^{-3} \text{ día}^{-1}$ ) y su abundancia de zooplancton ( $50\text{-}200 \text{ mg m}^{-3}$ ), que mantienen a una de las pesquerías comerciales más importantes del Atlántico tropical. El Golfo de México provee importantes hábitats que mantienen una gran biodiversidad ecológica. Estos hábitats incluyen pantanos costeros, pastos marinos, bosques de manglar, lagunas costeras, estuarios y bocas estuarinas que comunican con el mar a las aguas costeras protegidas. Es al través de estas bocanas que fluyen las descargas estuarinas que invaden a la plataforma continental del Golfo.

El litoral del Golfo de México constituye una de las zonas estuarinas más importantes de la Tierra. Aproximadamente el 62% de la descarga fluvial del país vierte en el Golfo de México y el 70% de los ríos, estuarios, lagunas y pantanos costeros tropicales asociados están localizados en esta región del país. Thayer y Ustach (1980) reportan que los 207 estuarios identificados en el litoral estadounidense del Golfo constituyen la mayor extensión de estos hábitat que posee ese país, exceptuando Alaska.

Contreras (1988) reporta que México posee 23 grandes sistemas lagunares-estuarinos dentro de su litoral del Golfo. Tamaulipas cuenta con el 41% de esta superficie, Veracruz contribuye con el 19%, Tabasco con el 3% y Campeche con el 37% (Botello *et al.*, 1992). Yañez-Arancibia (1986) reporta que los ecosistemas lagunares-estuarinos son de los más productivos y ecológicamente complejos que existen. La productividad primaria neta de los manglares es del orden de  $2.4 \text{ kg (peso seco) m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ , superior a la de las selvas tropicales, las

marismas y los estuarios. Flores-Verdugo (1989) estima la productividad primaria de los arrecifes coralinos en  $1.5 \text{ kg (peso seco) m}^{-2} \text{ año}^{-1}$ .

Los sistemas estuarinos que bordean el Golfo de México están interconectados con cuatro de los más productivos ecosistemas tropicales conocidos: las lagunas costeras, los manglares, los pastos marinos y los arrecifes coralinos. La productividad de estos ecosistemas está ligada a esta interacción. El flujo de nutrientes disueltos de los manglares hacia los pastos marinos favorece la productividad primaria de estos últimos. Las praderas de pastos marinos y los manglares favorecen la productividad secundaria de los arrecifes coralinos, al proveerlos de lugares alternativos de alimentación (Botello *et al.*, 1992). Las zonas pantanosas del litoral del Golfo son absolutamente necesarias para el sostenimiento de las pesquerías de la zona costera y de la plataforma continental del área. Los pantanos de los Everglades (Florida), del Delta del Río Mississippi (Louisiana) y de Tabasco y Campeche, tienen una estrecha relación con los bancos camaroneiros del Golfo.

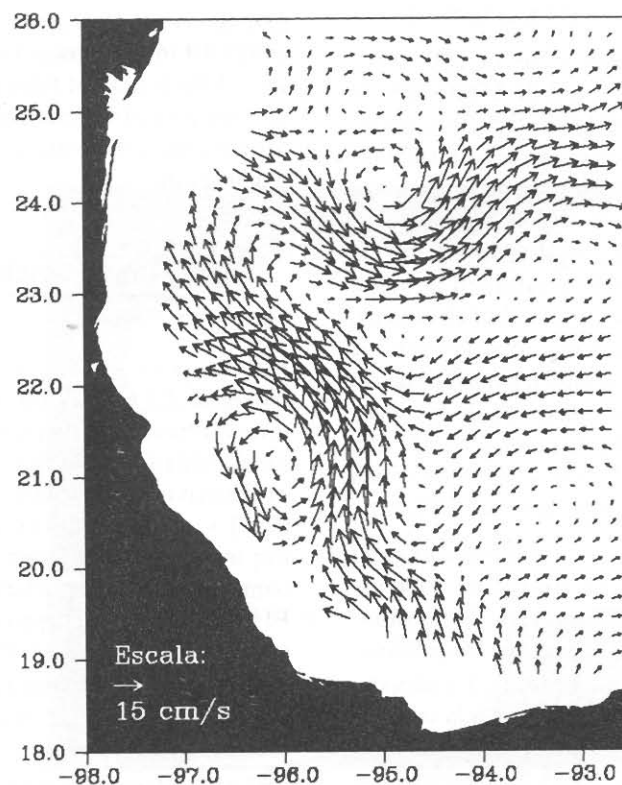


Figura 2. Corriente de frontera occidental en el Golfo de México durante marzo de 1985. Circulación baroclina de la superficie del mar referida a 500 metros de profundidad.

### La importancia oceanográfica del Golfo

Si la interacción entre los ecosistemas litorales del Golfo de México es importante para su funcionamiento y productividad, la interacción entre estos ecosistemas costeros y el campo de circulación sobre la plataforma continental y la región oceánica del Golfo es preponderante. Las investigaciones más recientes (Vidal *et al.*, 1990, 1992, 1994a y b) sobre la oceanografía del Golfo de México indican que los remolinos anticiclónicos (vórtices que giran en el sentido de las manecillas del reloj, en el hemisferio norte), que se desprenden de la Corriente del Lazo y migran hacia el interior del Golfo, constituyen el mecanismo primordial mediante el cual ingresan, se dispersan y diluyen las masas de agua del Golfo (figura 2). La translación de estos giros ( $\sim 6 \text{ km día}^{-1}$ ), su tiempo de residencia ( $\sim$ de 9 a 12 meses) y su colisión contra el talud occidental del Golfo de México, son determinantes en la distribución de las propiedades fisicoquímicas de las masas de agua, del campo de circulación y del transporte que controla el intercambio de las masas de agua de la plataforma continental y de la región oceánica del Golfo de México (Vidal *et al.*, 1988, 1990, 1992, 1994b y c).

Por ejemplo, la colisión de uno de estos giros contra el talud occidental del Golfo de México, al este de la Laguna de Tamiahua durante enero de 1984, originó una zona de divergencia de  $5 \times 10^4 \text{ km}^2$ , corrientes de chorro paralelas al talud con intensidades de 32 a  $85 \text{ cm s}^{-1}$ , y la formación de remolinos ciclónicos adyacentes al anticiclón (Vidal *et al.*, 1988, 1992 y 1994c). Durante estas colisiones los giros anticiclónicos se subdividen, como se muestra en la figura 3, y pierden aproximadamente una tercera parte ( $2 \times 10^4 \text{ km}^3$ ) de su volumen total ( $6 \times 10^4 \text{ km}^3$ ). Mediante este mecanismo estos vórtices transfieren movimiento angular a la masa de agua circundante, al norte y sur de las zonas de colisión, formando de esta manera giros ciclónicos, como se muestra en la figura 4, y nuevas masas de agua, como es el caso del Agua Común del Golfo, derivadas de la mezcla convectiva inducida por estas colisiones (Vidal *et al.*, 1988, 1992, 1994b, c). Las colisiones de estos giros explican el mecanismo mediante el cual  $30 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  de Agua Subtropical Subyacente, proveniente del Mar Caribe, se transforman en Agua Común del Golfo (Vidal *et al.*, 1992, 1994c).

La presencia y distribución de pares ciclones-anticiclones constituye un fenómeno oceanográfico vital en la hidrodinámica del Golfo de México. Esto está claramente ejemplificado en las figuras 2 y 4. La circulación inducida por la interacción acoplada de estos giros de vorticidad opuesta determina la distribución de las propiedades fisicoquímicas de las masas de agua del Golfo, desde la superficie hasta la capa profunda (Vidal *et al.*, 1990 y 1994d). El estudio de este fenómeno circulatorio es básico para poder determinar, entre otras cosas, la productividad del Golfo, su potencial pesquero y la dispersión de sus contaminantes.

Investigaciones recientes (Vidal *et al.*, 1990 y 1994b) demuestran, por ejemplo, que el efecto resultante de la interacción de remolinos ciclónicos con anticiclónicos es el surgimiento de la masa de agua en los centros de giro ciclónico y el hundimiento de ésta en los centros de giro anticiclónico. La coexistencia de este surgimiento y hundimiento de la masa de agua origina que las propiedades fisicoquímicas de la masa de agua del Golfo se distribuyan de una manera ondulatoria, como se muestra en las figuras 5 y 6. La ubicación y magnitud de las cimas y valles de esta "onda" coinciden con la posición e intensidad de la componente vertical de las vorticidades ciclónica y anticiclónica. La longitud de la "onda" ( $\sim 400 \text{ km}$ ) depende de la posición relativa de los centros de giro, dictada ésta por la translación acoplada de los pares ciclones-anticlones en el espacio acuático del Golfo de México (Vidal *et al.*, 1990, 1994b y d).

La vorticidad de estos giros y su interacción acoplada constituyen un sistema natural de bombeo dentro del Golfo, pues transfieren movimiento vertical ascendente y descendente a las masas de agua que se ubican dentro de sus zonas de influencia. Si comparamos los valores de transporte vertical ascendentes ( $0.38 \text{ a } 0.60 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) y descendentes ( $0.38 \text{ a } 0.73 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ) de estos remolinos con el transporte, o descarga, promedio al mar del Río Amazonas ( $0.175 \times 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ; Gibbs, 1970), es evidente que los volúmenes de agua que suben y bajan dentro de cualquiera de estos giros son considerables y mayores al volumen que aporta el Río Amazonas al Océano Atlántico (Vidal *et al.*, 1990, 1994b y d).

Este sistema natural de bombeo controla los mecanismos de mezcla dentro del Golfo y diluye, en las capas superior, intermedia y profunda, los

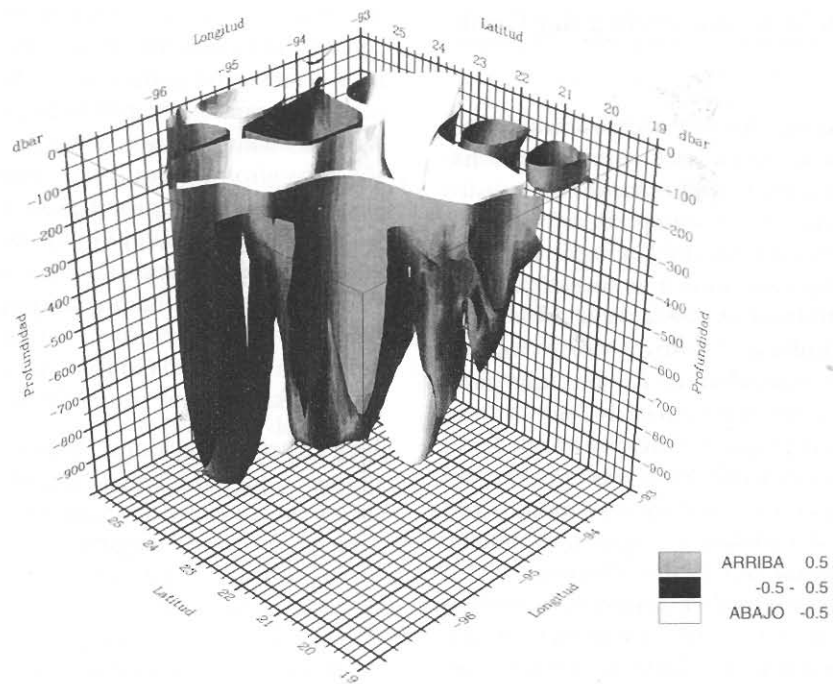


Figura 3. Superficie volumétrica de los vórtices ciclónicos ( $1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ) y anticiclónicos ( $1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ) durante marzo de 1985 correspondiente al estrato 0 a 1000 dbar. Proyección vista cerca de  $19^{\circ} 00' \text{ N}$ ,  $97^{\circ} 00' \text{ W}$  hacia el noreste.

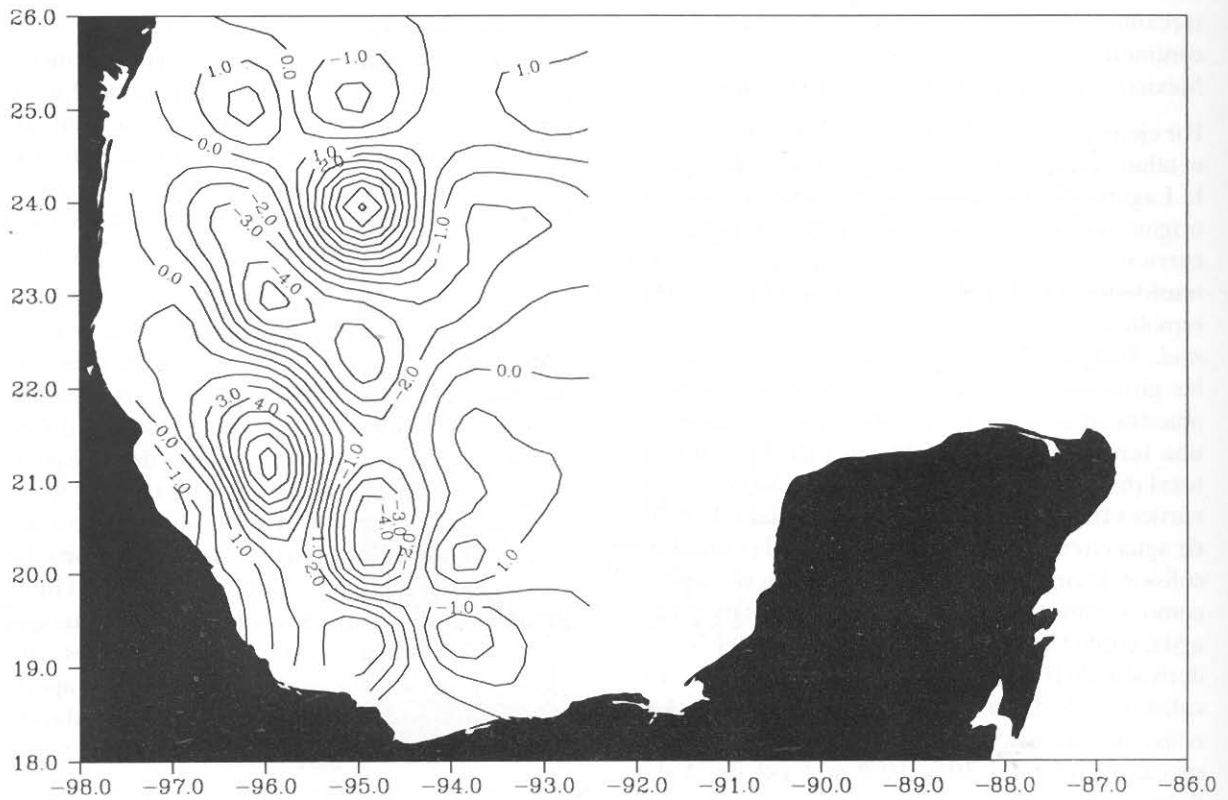


Figura 4. Campo de vorticidad relativa ( $1 \times 10^{-6} \text{s}^{-1}$ ) de la superficie del mar referido a un nivel de 500 dbar durante marzo de 1985.

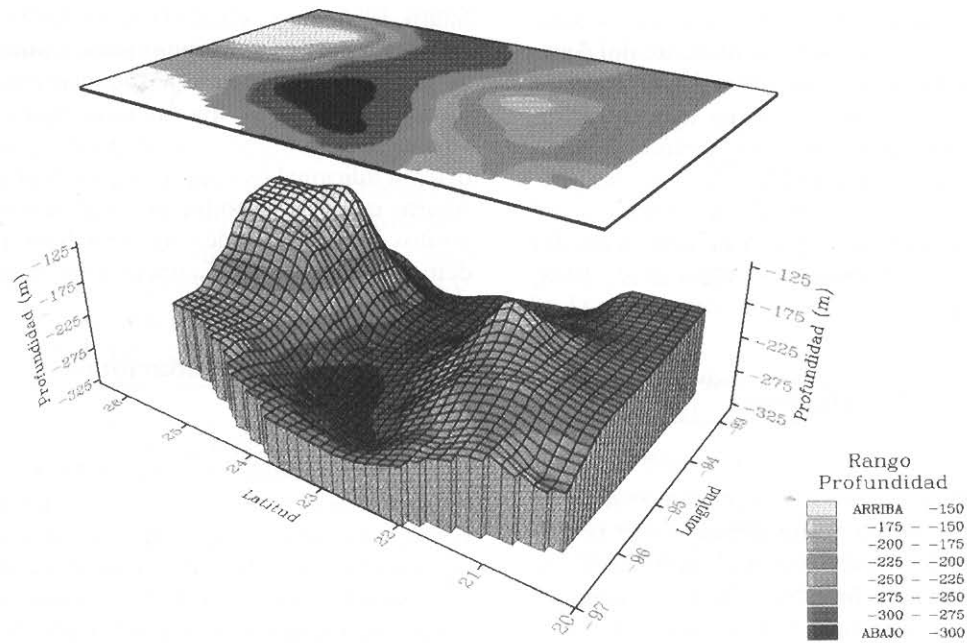


Figura 5. Distribución topográfica de la isoterma de 15°C dentro de una triada ciclónica- anticiclónica en el Golfo de México, durante octubre-noviembre de 1986 (Vidal *et al.*, 1994, 1994a) La migración vertical de la isoterma es de ~210 m, su longitud de onda es de ~400 km.

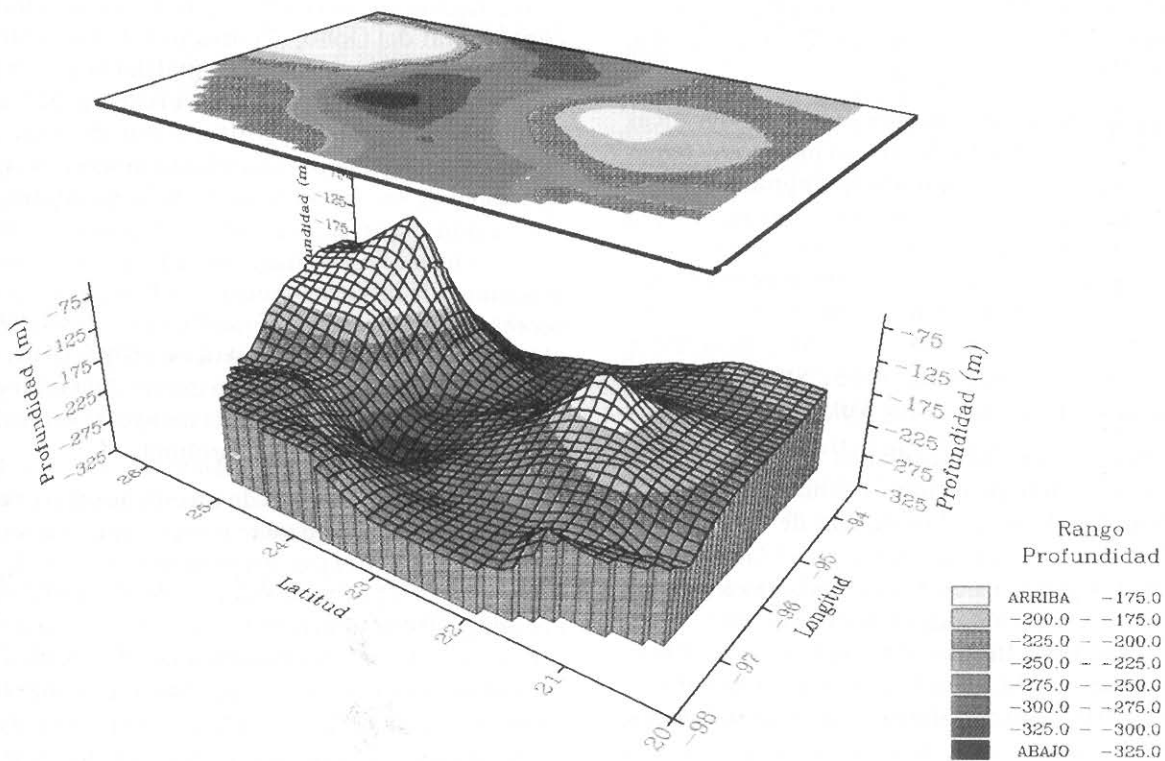


Figura 6. Distribución topográfica de la isopleta de 6.0 µg-at Si(OH)<sub>4</sub> L<sup>-1</sup> dentro de una triada ciclónica - anticiclónica-ciclónica en el Golfo de México, durante octubre-noviembre de 1986. La migración vertical de la isopleta es de ~270 m, su longitud de onda es de ~400km.

núcleos de masas de agua, como es el caso del Agua Subtropical Subyacente y del remanente del Agua Antártica Intermedia, entre otros. La dilución de los núcleos de máxima y mínima concentración conlleva a la formación de nuevas masas de agua con características intermedias a la de sus progenitores, como es el caso de la formación del Agua Común del Golfo a partir de la dilución del Agua Subtropical Subyacente (Vidal *et al.*, 1988, 1992 y 1994c).

---

### Conclusiones

---

Dada su localización geográfica, el acceso al Golfo de México, por oceanógrafos mexicanos, es prácticamente ilimitado. Esto ha conducido al desarrollo de algunos programas de investigación independientes, interdisciplinarios e interinstitucionales (Vidal *et al.*, 1989). El resultado de estos estudios ha arrojado contribuciones importantes sobre los procesos físico-oceanográficos que controlan la circulación general y el intercambio de masas de agua dentro del Golfo de México, como lo ejemplifican las figuras 2 a la 6 y los trabajos de Vidal *et al.*, 1988, 1990, 1992, 1994 a, b, c y d.

Las principales investigaciones oceanográficas realizadas en el Golfo de México incorporan temas de estudios diversos y multidisciplinarios. Estos incluyen a los procesos costeros, las mareas, la Corriente del Lazo y vórtices asociados a ésta, y la incidencia y evolución de tormentas tropicales, entre muchos otros (Capurro y Reid, 1972; Sturges y Blaha, 1976; Blaha y Sturges, 1981; Elliott, 1979, 1982; Lewis y Kirwan, 1985; Sturges, 1993; Vukovich y Crissman, 1986; Vukovich, 1995.)

Mediciones in-situ acopladas a observaciones satelitarias han proveído información valiosa e indispensable para el modelado de los procesos hidrodinámicos que dominan en el Golfo, tales como los procesos costeros, las tormentas tropicales, y los remolinos oceánicos (Brooks y Legeckis, 1982; Brooks, 1984; Kirwan *et al.*, 1984a y b; Lewis *et al.*, 1989; Leben *et al.*, 1990; Biggs, 1992, 1994 y 1996). No obstante que las modelaciones hidrodinámicas sobre la circulación general del Golfo de México han alcanzado buenos resultados todavía existe mucho por hacer (Hurlburt y Thompson, 1980; 1982; Smith y O'Brien, 1983;

Smith, 1986; Shi y Nof, 1993, 1994; Dietrich y Lin, 1994). En particular es importante evaluar el tipo de información que habría que incorporar en los modelos numéricos, que metodología es la más adecuada para lograr este propósito, y que información adicional es requerida para lograr que los futuros modelos hidrodinámicos alcancen los propósitos de predicción de corto y mediano plazo que demanda la oceanografía operacional moderna.

---

### Recomendaciones

---

Dentro de los estudios regionales que se requieren realizar tenemos: (1) distribución espacial y temporal de la hidrografía y corrientes en el Estrecho de Yucatán, (2) factores que determinan la intrusión hacia el norte de la Corriente del Lazo, (3) periodicidad del desprendimiento de vórtices de la Corriente del Lazo, (4) translación de giros y distribución de la vorticidad relativa dentro del Golfo, (5) interacciones de vórtices contra el talud y de vórtices con vórtices, (6) colisiones de giros y la formación de corrientes paralelas al talud continental del Golfo, (7) origen de la corriente de frontera en la margen occidental del Golfo, (8) subdivisión de vórtices y conservación de su momentum angular, proliferación de pares ciclónicos-anticiclónicos y su influencia sobre el intercambio de las masas de agua de la plataforma y la región oceánica del Golfo, (9) procesos de mezcla y formación de masas de agua en el Golfo; determinar la influencia relativa del viento vs. los procesos asociados a la interacción de vórtices con el talud y de vórtices con vórtices, (10) la distribución de la vorticidad relativa dentro del Golfo y su influencia sobre el balance del transporte vertical y la circulación intermedia y profunda.

No obstante que los temas de investigación arriba mencionados se centran sobre procesos que ocurren en el Golfo de México, estos también son relevantes para el entendimiento de fenómenos oceanográficos ocurrentes en otras regiones oceánicas, v.gr., el desprendimiento de vórtices, remoción de bióxido de carbono y el cambio climático, origen y evolución de corrientes de frontera oeste, circulación y efectos climáticos, elevación del nivel del mar, entre otros (Vidal *et al.*, 1990, 1992, 1994a, b, c y d). Evidentemente, el Golfo de México representa un laboratorio natural



dentro del cual se pueden medir, estudiar, modelar y verificar numerosos fenómenos oceanográficos. Debido a la ubicación estratégica del Golfo y a la soberanía que México tiene sobre gran parte de este cuerpo de agua, la nación tiene una impostergable responsabilidad sobre su jurisdicción y, en consecuencia, la obligación de conducir programas de investigación y de desarrollo que conlleven al avance del conocimiento científico y tecnológico de las ciencias oceanográficas para el beneficio del país.

---

### Literatura Citada

---

- Blaha, J., and W. Sturges, 1981.** Evidence for wind-forced circulation in the Gulf of Mexico. *J. Mar. Res.*, 9(4): 711-734.
- Biggs, D.C., 1992.** Nutrients, plankton, and productivity in a warm-core ring in the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97(C2): 2143-2154.
- Biggs, D.C., and F.E. Muller-Karger, 1994.** Ship and satellite observations of chlorophyll stocks in interacting cyclone-anticyclone eddy pairs in the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 99(C4): 7371-7384.
- Biggs, D. C., G. S. Fargion, P. Hamilton, and R. R. Leben, 1996.** Cleavage of a Gulf of Mexico Loop Current eddy by a deep water cyclone. *J. Geophys. Res.*, 101(C9): 20629-20641.
- Botello, A. V., G. Ponce V., A. Toledo, G. Díaz G., y S. Villanueva, 1992.** Ecología recursos costeros y contaminación en el Golfo de México. *Ciencia y Desarrollo*, 17 (102): 28-48.
- Brooks, D. A., 1984.** Current and hydrographic variability in the northwestern Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 89(C5): 8022-8032.
- Brooks, D. A., and R. V. Legeckis, 1982.** A ship and satellite view of hydrographic features in the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 87(C6): 4195-4206.
- Capurro, L. R. A. y J. L. Reid, (Eds.), 1972.** *Contributions on the Physical Oceanography of the Gulf of Mexico*. Texas A&M University Oceanographic Studies. Gulf, Houston, Texas., Vol. 2, 288 p.
- Contreras, F., 1988.** *Las lagunas costeras mexicanas*, Centro de Ecodesarrollo, Secretaría de Pesca, 263 p.
- Dietrich, D.E., and C.A. Lin, 1994.** Numerical studies of eddy shedding in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 99(C4): 7599-7615.
- Elliott, B. A., 1979.** *Anticyclonic rings and the energetics of the circulation of the Gulf of Mexico*. Ph.D. dissertation, Tex. A&M Univ., College Station, 188 pp.
- Elliott, B. A., 1982.** Anticyclonic rings in the Gulf of Mexico. *J. Phys. Oceanogr.*, 12: 1292-1309.
- Flores-Verdugo, J. E., 1989.** Algunos aspectos sobre la ecología, uso e importancia de los ecosistemas de manglar, Capítulo 2: 21-56. *En: J. F. Rosa-Vélez y F. González-Farías (Eds.). Temas de oceanografía Biológica en México*. Universidad Autónoma de Baja California, Ensenada, 337p.
- Gibbs, R. J., 1970.** Circulation in the Amazon River estuary and adjacent Atlantic Ocean. *J. Mar. Res.*, 28(2): 113-123.
- Hurlburt, E. H., and J. D. Thompson, 1980.** A numerical study of Loop Current intrusions and eddy shedding. *J. Phys. Oceanogr.*, 10: 1611-1651.
- Hurlburt, E. H., and J. D. Thompson, 1982.** The dynamics of the Loop Current and shed eddies in a numerical model of the Gulf of Mexico, p. 243-298. *In: J. C. J. Nihoul (Ed.). Hydrodynamics of Semi-enclosed Seas*. Elsevier Science, New York.
- Jiménez-Morales, G., 1991.** Tribuna Pesquera, análisis y opinión: Entrevista al Lic. Guillermo Jiménez-Morales, Secretario de Pesca. *Panorama Pesquero*, 1, No. 3, 16-19.
- Kirwan, A. D., Jr., W. J. Merrell, Jr., J. K. Lewis, and R. E. Whitaker, 1984a.** Lagrangian observations of an anticyclonic ring in the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 89(C3): 3417-3424.
- Kirwan, A. D., Jr., W. J. Merrell, Jr., J. K. Lewis, R. E. Whitaker, and R. Legeckis, 1984b.** A model for the analysis of drifter data with an application to a warm core ring in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 89(C3): 3425-3438.
- Leben, R. R., G. H. Born, J. D. Thompson, and C. A. Fox, 1990.** Mean sea surface variability of the Gulf of Mexico using Geosat altimetry data. *J. Geophys. Res.*, 95(C3): 3025-3032.

- Lewis, J. K., and A. D. Kirwan, 1985.** Some observations of ring topography and ring-ring interactions in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 90(C5): 9017-9028.
- Lewis, J. K., A. D. Kirwan, and G. Z. Forristall, 1989.** Evolution of a warm core ring in the Gulf of Mexico: Lagrangian observations. *J. Geophys. Res.*, 94(C6): 8163-8178.
- Sepesca (Secretaría de Pesca), 1988.** Programa Nacional Pesquero, 1984-1988.
- Shi, C., and D. Nof, 1993.** The splitting of eddies along boundaries. *J. Mar. Res.*, 51: 771-795.
- Shi, C., and D. Nof, 1994.** The destruction of lenses and generation of vortices. *J. Phys. Oceanogr.*, 24(4): 1120-1136.
- Smith, D. C., IV, 1986.** A numerical study of Loop Current eddy interaction with topography in the western Gulf of Mexico. *J. Phys. Oceanogr.*, 16: 1260-1272.
- Smith, D. C., IV, and J. J. O'Brien, 1983.** The interaction of a two layer isolated mesoscale eddy with bottom topography. *J. Phys. Oceanogr.*, 13: 1681-1697.
- Sturges, W., 1993.** The annual cycle of the western boundary current in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 98 (C10): 18,053-18,068.
- Sturges, W., and J. P. Blaha, 1976.** A western boundary current in the Gulf of Mexico. *Science*, 192: 367-369.
- Thayer, G. W., y Ustach, 1980.** *Gulf of Mexico Wetlands: values, state of knowledge and research needs.* National Marine Fisheries Service, Southeast Fisheries Center, Beaufort, North Carolina, 25pp.
- Valderrama, J.** *Megacuena petrolera del Golfo de México: Pemex.* EXCELSIOR, página 3, 18 de abril de 1997.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, and J. M. Pérez-Molero, 1988.** *Atlas Oceanográfico del Golfo de México*, Vol. 1, 415 p. Inst. de Invest. Electr., Cuernavaca, Morelos, México.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, J. M. Pérez-Molero, A. Hernández, R. A. Morales, E. Suárez and E. Meza, 1989.** *Informe Final de las Campañas Oceanográficas ARGOS realizadas en el Golfo de México 1984-1988*, Rep. IIE/13/1926/I 14/F, 280 p. Inst. de Invest. Electr., Cuernavaca, Morelos, México.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, and A. Hernández, 1990.** *Atlas Oceanográfico del Golfo de México*, Vol. 2, 707 p. Inst. de Invest. Electr., Cuernavaca, Morelos, México.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal and J. M. Pérez-Molero, 1992.** Collision of a Loop Current anticyclonic ring against the continental shelf slope of the western Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 97(C2): 2155-2172.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, E. Meza, A. Hernández, L. Zambrano, D. C. Biggs, and K. J. Shaudt, 1994a.** Formation of a western boundary current in the Gulf of Mexico from decay of Loop Current anticyclonic rings (abstract). *Eos Trans., AGU*, 75(3): 223.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, and A. Hernández, E. Meza, and J. M. Pérez-Molero, 1994b.** Baroclinic flows, transports, and kinematic properties in a cyclonic-anticyclonic-cyclonic ring triad in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 99(C4): 7571-7597.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, E. Meza, A. Hernández, L. Zambrano, 1994c.** Winter water mass distributions in the western Gulf of Mexico affected by a colliding anticyclonic ring. *J. Oceanogr.*, 50(5): 559-588.
- Vidal, V. M. V., F. V. Vidal, and A. Hernández, E. Meza, and L. Zambrano, 1994d.** *Atlas Oceanográfico del Golfo de México*, Vol. 3, 586 p. Inst. de Invest. Electr., Cuernavaca, Morelos, México.
- Vukovich, F. M., 1995.** An updated evaluation of the Loop Current's eddy shedding frequency. *J. Geophys. Res.*, 100(C5): 8655-8659.
- Vukovich, F. M., and B. W. Crissman, 1986.** Aspects of warm rings in the Gulf of Mexico. *J. Geophys. Res.*, 91(C2): 2645-2660.
- Yañez-Arancibia, A., 1986.** *Ecología de la zona costera. Análisis de siete tópicos.* AGT Editor, S.A., México, 189p.