

OCEANOGRAFIA QUÍMICA (NA IX)

Guadalupe de la Lanza¹
Salvador Hernández Pulido¹
Juan Carlos Gómez Rojas¹

La distribución de los parámetros en los presentes mapas a través de isolíneas continuas o colores de fondo, es una representación gráfica extrapolada de diversos autores en diferentes lugares y tiempos, situación que lleva a que en estudios posteriores, inclusive en la misma época y espacio, pudieran ser distintos, dada la variabilidad de cada parámetro. Como representación general no toma en cuenta detalles de cambio a pequeña escala en mar abierto e incluso en la zona costera. Las descripciones de los fisicoquímicos tanto en mar abierto como en zona costera, son referidas a nivel superficial, cuyo grosor puede ir de decenas a centenas de metros dependiendo de la localidad; desde el punto de vista oceanográfico se estima que la capa superficial es aquella hasta donde se deja sentir el efecto del viento que mezcla un estrato o masa de agua.

Salinidad (NA IX 1)

La distribución de la salinidad en las cuatro vertientes de México es distinta, resultado del clima, la geomorfología, la dinámica de circulación y la influencia fluvial terrestre, fundamentalmente, y actualmente de las descargas antropogénicas. La salinidad es un parámetro denominado "conservativo" (no reactivo química ni biológicamente). Su unidad es gramos por litro, partes por mil o/oo, unidades prácticas de salinidad UPS o número convencional sin unidad.

En el Golfo de México, en la zona costera, se registran gradientes de menos a más salinidad por la influencia de los grandes ríos. Una de las características más importantes es el efecto de los giros resultado de la dinámica de la Corriente del Lazo: los ciclónicos donde asciende agua con menos salinidad en el centro o anticiclónicos donde se hunde el agua más salada en el centro. La Corriente del Lazo forma unas lengüetas de mayor salinidad. En la costa occidental de Baja California, la salinidad se asocia a la Corriente de California. En el Golfo de California debido al exceso de la evaporación sobre la precipitación y el escurrimiento, existe un flujo neto de sal de norte a sur; al mismo tiempo en el sureste hay mayor aporte de los ríos y el contenido salino es menor. El Golfo ha sido dividido en cuatro regiones que influyen en la salinidad. En el Alto Golfo, se registran las mayores salinidades y en la entrada del Golfo es compleja resultado de distintas masas de agua que ahí inciden. En el Pacífico Tropical Mexicano, en mar abierto se registran distintas salinidades pero en un intervalo escaso; en la zona costera la variación es más amplia asociada a las descargas de los grandes ríos.

Oxígeno disuelto (NA IX 1)

Es de los gases no conservativos (reactivo química y biológicamente); en consecuencia su concentración varía ampliamente en forma espacial y en periodos cortos de tiempo, influenciada por aspectos biológicos (producción y respiración) y físicos (temperatura y salinidad, turbulencia). En el perfil vertical (profundidad) se registra la capa mínima de oxígeno de anóxica, de características regionales. Su unidad es ml L⁻¹ (mililitros por litro). En mar abierto del Golfo de México la concentración depende tanto de su dinámica como la influencia de los giros ciclónicos y anticiclónicos, con contenidos bajos y altos en el centro, respectivamente; como se puede ver en el recuadro superior derecho, el efecto de los giros se hace más ostensible a partir de los 200-500 m de profundidad. Se ha detectado un giro ciclónico en el Banco de Campeche. En la zona costera por la mayor fotosíntesis, las descargas de los ríos y las actividades antropogénicas, la variación es amplia. En el Caribe Mexicano, la distribución de oxígeno señala un gradiente de la costa hacia mar afuera (de más a menos) que manifiesta la ascensión de agua profunda. En la costa occidental de Baja California los contenidos se asocian a la Corriente de California y/o al fenómeno de surgencias edáficas (ascensión de aguas profundas ricas en nutrientes que promueven mayores fotosíntesis); son locales, estacionales e intermitentes. En el Alto Golfo de California existe una influencia por los cambios en la temperatura, fundamentalmente, con una disminución con la profundidad hasta llegar a la hipoxia (< 2.0 ml L⁻¹); en la Boca del Golfo esta última condición se hace más superficial. En la costa oriental del golfo existen disminuciones marcadas o incrementos frente a las descargas de los ríos o lagunas. En el Pacífico Tropical Mexicano los niveles más conspicuos se observan con la profundidad; por ejemplo frente a Manzanillo, Col., en superficie se registran 5.0 ml L⁻¹ y a 150 m alcanzan tan sólo 0.25 ml L⁻¹ (anoxia).

Nitratos (NA IX 2)

Están considerados como nutriente no conservativo (reactivo química y biológicamente), con una amplia variabilidad temporal y espacial en la zona costera por influencia de la zona terrestre y de las actividades antropogénicas. Sus concentraciones oscilan entre indetectable y 20 µM (microgramo/peso molecular del nitrógeno por litro). En el Golfo de México, a nivel superficial, pueden ser indetectables, pero incrementan con la profundidad por influencia de los ríos (recuadro superior derecho a—b, c—d). En la zona costera las descargas fluviales elevan los niveles, aunque no se descartan escurrimientos agrícolas. En la costa occidental de Baja California, aumenta el contenido por las surgencias de abril a julio. El Alto Golfo de California, es el que tiene los contenidos más elevados de nitratos por la intensa mezcla de agua superficial y profunda. En la zona costera destacan contenidos elevados asociados con descargas estuarino-

lagunares y actividades antropogénicas, fundamentalmente en la costa oriental del golfo. En el Pacífico Tropical Mexicano, son frecuentes concentraciones bajas o indetectables en superficie, incluso se considera a este nutriente como limitante para el fitoplancton, y se incrementa con la profundidad y las actividades antropogénicas.

Amonio (NA IX 2)

La presencia de este nutriente, considerado también como no conservativo, se encuentra asociada a procesos naturales de descomposición de la materia orgánica autóctona (por ejemplo la de vegetación superior y planctónica o restos de animales marinos) y con baja dinámica de circulación, o alóctona (por ejemplo de origen antropogénico). Su unidad es µM (microgramos/peso molecular del nitrógeno por litro). En la zona costera del Golfo de México, por las descargas fluvio-lagunares y antropogénicas, alcanza niveles mayores que en mar abierto. En la costa occidental de Baja California, en mar abierto no se han hecho estudios suficientes sobre el contenido de amonio, cuantificándose fundamentalmente en la zona costera, razón por la cual la concentración que aparece en el mapa es igual a la del Pacífico Tropical Mexicano y a la de la entrada del Golfo de California. En el Golfo de California, los registros son más costeros y puntuales que en mar abierto, asociados al monitoreo de la calidad del agua. En el Pacífico Tropical Mexicano, la concentración incrementa por las descargas, al igual que en el Golfo de Tehuantepec sin aumento definido con la profundidad.

Ortofosfatos (NA IX 3)

Este es un nutriente no conservativo (reactivo química y biológicamente) con una amplia variabilidad espacial y temporal, particularmente en la zona costera. Su unidad es µM (microgramos/peso molecular del fósforo por litro). En el Golfo de México su concentración superficial es baja y hay un incremento en la profundidad por la influencia de los giros. En el recuadro superior derecho se ejemplifican: el anticiclónico-ciclónico en un transecto paralelo a la costa entre la Laguna Madre y Tuxpan donde descienden y ascienden los contenidos. En la zona costera los aportes fluviales son importantes. En el Caribe Mexicano se observa el incremento de este nutriente en la costa, no sólo por el efecto de la ascensión de las aguas profundas (surgencia dinámica), sino también por el aumento en actividades turísticas y portuarias. En la costa occidental de Baja California de abril a julio (meses de surgencias edáficas) aumenta el contenido localmente. En la zona costera del Golfo de California, en el lado oriental, existen mayor número de ríos y asentamientos humanos con actividades agrícolas que incrementan los niveles. En el Pacífico Tropical Mexicano, en la zona costera, por influencia antropogénica y sistemas fluvio-lagunares las concentraciones aumentan significativamente. En el Golfo de Tehuantepec existe una surgencia edáfica rica en ortofosfatos provocada por los vientos tehuantepecanos de invierno; por otro lado pueden proceder de las descargas industriales.

Silicatos (NA IX 3)

Son considerados también no conservativos; sin embargo su asimilación por el fitoplancton es selectiva (diatomeas). Su principal fuente es la fluvial y en segundo lugar de la remineralización de los esqueletos de las diatomeas y radiolarios después de su muerte. Su unidad es µM (microgramo/peso molecular del Silicio por litro). En el Golfo de México, a pesar del alto número de ríos y su flujo permanente, el contenido de silicatos es bajo. Los giros influyen en la concentración. En el Canal de Yucatán se incrementan por la ascensión de aguas profundas (surgencia dinámica). En la costa occidental de Baja California, la concentración se asocia a las surgencias con aumentos locales. El Golfo de California, presenta mayor variabilidad y concentración de silicatos, por su mayor población de diatomeas. Destaca el mayor contenido en el Alto Golfo y Canal de Ballenas; dicho contenido aumenta con la profundidad. El Golfo pierde grandes cantidades de silicatos en los exoesqueletos de diatomeas y radiolarios que se sedimentan y que son compensados con el agua del Pacífico y por las descargas de los ríos. En el Pacífico Tropical Mexicano, cabe señalar que son escasos los trabajos sobre este nutriente en zona costera. En el Golfo de Tehuantepec se ha registrado un amplio intervalo de concentración coincidente los altos niveles con las épocas de lluvias y de surgencias.

Descargas portuarias y actividades costeras susceptibles de incrementar nutrientes (NA IX 4)

Las cuatro vertientes de México (Golfo de México-Caribe, Pacífico Tropical Mexicano, Golfo de Baja California, y costa Occidental de la Península de Baja California) tienen asentamientos humanos con diversas actividades económicas; destaca la mayor densidad y número en el Golfo de México y el Golfo de California, predominando la actividad petrolera en el primero y la agropecuaria en el segundo; en el Pacífico Tropical la más importante es la de servicios.

En las diversas actividades portuarias destaca que el Golfo de México tiene el mayor número de puertos y el mayor número de embarcaciones en general: en buques tanque es seis veces más que el Golfo de California, 4.6 veces más que el Pacífico Tropical Mexicano y 89 veces más que la Costa Occidental de la Península de Baja California; en carga general 4.9 veces más que el Golfo de California, 4.3 veces más que el Pacífico Tropical Mexicano y 16 veces más que la Costa Occidental de la Península de Baja California; y en embarcaciones porta contenedores el Golfo de México es 126 veces más que el Golfo de California, 1.6 veces más que el Pacífico Tropical Mexicano y 20 veces más la Costa Occidental de la Península de Baja California.

En cuanto al tipo y número de descargas destaca Veracruz en el Golfo de México por su diversidad con un ligero predominio de la de servicios, y Altamira por sus descargas procedentes de la industria química, así como Ciudad del Carmen por las de origen petrolero. En el Golfo de California sobresalen las agropecuarias especialmente de Huatabampo. En el Pacífico destaca Puerto Vallarta con servicios y Salina Cruz con petróleo. En la costa occidental de la Península de California sobresale Rosarito con servicios también.

Por volumen total (no referido en los mapas) por vertiente (desglosada por estados costeros); resalta que en el Golfo de California se descargan poco más de 11.5 millones de metros cúbicos por día comparados con los 10.7 millones de metros cúbicos por día del Golfo de México, seguidos del Pacífico Tropical con > 1.2 millones de metros cúbicos por día y la Costa Occidental de la Península de Baja California con escasamente más de 10 303 metros cúbicos por día. En el Golfo de California aproximadamente el 70 % del volumen descargado procede de energía eléctrica seguida de la agricultura con 22 % que es la que utiliza fertilizantes que posteriormente son descargados vía fluvial o escurrimientos periféricos al mar enriqueciendo con nutrientes la zona costera; el resto corresponde (8 %) a otro tipo de descargas. En el Golfo de México las descargas costeras más importantes por volumen son de la generación de energía eléctrica con un 98 %, dentro del 2 % restante está la química de Tamaulipas con el 0.8 % y 0.3 % de actividades petroleras, el resto (0.9 %) corresponde a otro tipo de descargas. En el Pacífico Tropical Mexicano el volumen de las descargas de la generación de electricidad representan un 54.9 %, las actividades agropecuarias 22.9 %, la química el 21.5 %, el 0.7 % restante lo descargan diversas fuentes como servicios, alimentos y bebidas, petróleo y otras. Cabe destacar que las cifras anteriores son informes de la CNA (2003) y que con un crecimiento poblacional del 2 %, a partir de ese año, las descargas podrán haberse incrementado en cada rubro.

Tanto por el volumen descargado por las diversas actividades antropogénicas, por el número y tipo de embarcaciones, como por su morfología (mar semicerrado), en el Golfo de México el riesgo de impacto ambiental es mayor en magnitud y duración que las otras vertientes del país; sin embargo, el Golfo de California también por su geomorfología y por las máximas descargas resultado de la generación de energía eléctrica y el de origen agropecuario, es susceptible a impactos ambientales de diferente magnitud, que pueden, dentro de otros aportes, incrementar nutrientes nitrogenados y fosforados.

Con base en la información recabada en Internet, se tienen 2064 embarcaciones pesqueras en el Pacífico y 1563 en el Golfo de México-Caribe; destacando Sinaloa y Sonora con 74% del total de la vertiente pacífica y Campeche-Yucatán con el 63% del total para el Golfo de México. Todas las actividades de desembarque pesquero representan un riesgo de incremento de nutrientes nitrogenados y fosforados así como de materia orgánica.

Según información de la Dirección de Hoteles de México, el número total de hoteles en los estados costeros en el año 2006 fue de 1767, destacando Quintana Roo con 28.7 %, seguido de Guerrero con 12.2 %. En cuanto al número de cuartos, estos mismos estados son los que destacan con 43.4 % y 13.3 %, respectivamente, de un total cercano de 161129 habitaciones. Es importante señalar que tanto por el número de hoteles como de cuartos se encuentran en el Pacífico Tropical, después del Caribe Mexicano. Dichas actividades pueden ser aportadoras de nutrientes a la zona costera.

Referencias bibliográficas:

Álvarez- Borrego S.L.; B.P. Flores-Baez y L.A. Galindo Bect (1975), "Hidrología del Alto Golfo de California 2. Condiciones durante invierno, primavera y verano", *Ciencias Marinas* 2(1).

Álvarez-Borrego S.L.; J.A. Rivera; M.J. Gaxiola-Castro; J. Acosta-Ruiz y R.A. Schwartzlose (1978), "Nutrientes en el Golfo de California", *Ciencias Marinas* 5(2).

California Cooperative Oceanic Fisheries Investigations (CalCOFI) (1974), *Atlas No. 20*, Distribution of Nitrate, Nitrite, Phosphate and Silicate in the California Current Region.

Comisión Nacional del Agua (2003), *Inventario Nacional de Descargas de Aguas Residuales. Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua*. México.

De la Lanza-Espino G.; M.A. Rodríguez-Medina; J. Estrada y S. Guevara (1976), "Hidrología de la Bahía de Campeche y Norte de Yucatán", *Memorias de la I Reunión Latinoamericana de Ciencia y Tecnología Oceanográfica*, Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía y Señalamiento Marítimo, México.

Dirección de Navegación de la Dirección General de Marina Mercante, 2003. http://e-mar.sct.qob.mx/D/ANUARIO_2003.pdf.

Dirección de Hoteles de México: <http://www.hotelesmexico.com>.

Goering J.J.; O.D. Wallen y R.M. Nauman (1970), "Nitrogen uptake by phytoplankton in the discontinuity layer of the eastern subtropical Pacific Ocean". *Limnology and Oceanography* 15.



¹ Instituto de Geofísica, Universidad Nacional Autónoma de México.

- Gómez-Vélez, J. (1980), "Estructura hidrológica promedio frente a Baja California", *Ciencias Marinas* 9(2).
- Ladah L.B. (2003), "The shoaling of nutrient-enriched subsurface waters as a mechanism to sustain primary productivity off Central Baja California during El Niño winters", *Journal of Marine Systems* 42.
- Lavin, M.F.; G. Gaxiola-Castro y J.M. Robles (1995), "Winter water masses and nutrients in the northern Gulf of California", *Journal of Geophysical Research* 100(C5).
- Merino-Ibarra M. (1993), *Afloramiento en la Plataforma de Yucatán; Estructura y Fertilización*. Tesis Doctoral, UACP Y P-CCH, UNAM, México.
- Morrison M.J.; W.D. Nowlin (1977), "Repeated nutrients, oxygen and density sections through the Loop Current", *Journal Marine Research* 35 (1).
- Moulin R.J. (1980), *Observaciones Hidrológicas Frente al Litoral de Tamaulipas en el Golfo de México*, Secretaría de Marina, Dirección General de Oceanografía.
- Roden G.E.; I. Emilsson (1980), *Oceanografía física del Golfo de California*, Centro de Ciencias del Mar y Limnología, UNAM, México. Contribución No. 290.
- SAGARPA (2002), *Inventario Nacional de Embarcaciones 1997*, Comisión Intersecretarial de Seguridad y Vigilancia Marítima y Portuaria. www.siea.sagarpa.gob.mx.ar/compesq.html.
- Schwing F.B. et al. (2002), *The California Current, 2001-2002*. CalCOFI Vol. 43.
- Secretaría de Marina (1980), *Contribución al Conocimiento de las Características fisicoquímicas de las aguas del Caribe Mexicano*. Química del Océano, México.
- Secretaría de Marina (1990), *Distribución de Parámetros Físicoquímicos 1920-1984. Atlas Nacional*. Dirección General de Oceanografía Naval (Disco flexible 5 ¼), México.
- Secretaría de Marina (2002), *Atlas de Contaminación Marina en el Mar Territorial y Zonas Costeras de la República Mexicana*, México.
- Secretaría de Marina (2002), *Atlas de Dinámica Costera de la República Mexicana*, México.
- Trasviña A.; E.D. Barton (1997), "Los Nortes del Golfo de Tehuantepec: la circulación costera inducida por el viento", en: Lavin M.F. (ed.) *Contribuciones a la Oceanografía Física en México*, Monografía No. 3 Unión Geofísica Mexicana, 25-46.
- U.S. Department of Commerce 1972, EASTROPAC ATLAS, Circular 330 Vol. I Love C. M. (ed.) National Marine Fisheries Services, Washington D. C.
- Vázquez-Gutiérrez F.; G. Salvador-López; A. Ramírez-Álvarez; M. Turner-Garcés; A. Frausto-Castillo y H. Alexander-Valdéz (1998), "La química del agua", en Tapia García M. (ed.), *El Golfo de Tehuantepec, el Ecosistema y sus Recursos*, Universidad Autónoma Metropolitana- Unidad Iztapalapa. México.
- Vidal V.; F. V. Vidal y A.F. Hernández (1990), *Atlas Oceanográfico del Golfo de México*, Vol. II, Grupo de Estudios Oceanográficos, Instituto de Investigaciones Eléctricas, México.
- Wyrtki, K. (1966), "Oceanography of the Eastern Equatorial Pacific Ocean", *Oceanography Marine Biological Annual Rev.*