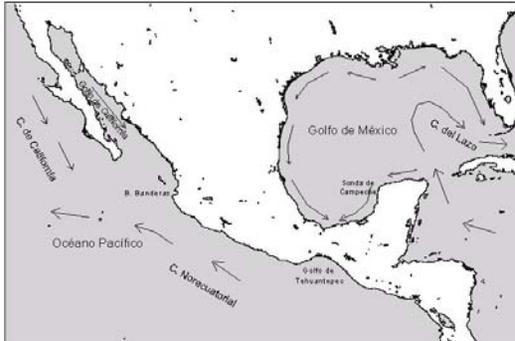


OCEANOGRAFIA SATELITAL DE LOS MARES MEXICANOS (NA VIII)

Raúl Aguirre Gómez¹
Olivia Salmerón García¹

Los datos oceanográficos medidos por los satélites provienen de tres regiones espectrales: la región visible, la región del infrarrojo térmico y la región de las microondas. En el primer caso, es posible derivar datos del intervalo visible para obtener información del contenido de clorofila-a a profundidades variables, no mayores a la primera profundidad óptica, que se traduce en pocos metros. Esta información ha venido de satélites como el *barredor de color de la zona costera (CZCS, por sus siglas en inglés)*, del sensor de campo amplio del mar (*SeaWiFS, por sus siglas en inglés*) y actualmente del MODIS, entre otros. En el segundo caso, es posible obtener información de la temperatura superficial del mar a profundidades de pocos milímetros, pero que permite inferir tanto condiciones térmicas a una mayor profundidad como localidades con diversos contenidos de nutrientes. La mayor parte de esta información proviene del radiómetro avanzado de muy alta resolución (*AVHRR, por sus siglas en inglés*). Las imágenes tienen una resolución temporal de 12 horas, una resolución espacial de 1Km², y son de utilidad en la prospección de recursos pesqueros. En el caso último, es posible inferir varios parámetros como son el oleaje, la altura significativa de las olas, la altura de la superficie del mar, los cuales están referidos a un geode particular. Para el presente Atlas, nos limitaremos a la descripción de los dos primeros casos, toda vez que podemos generar estos parámetros. En enero de 1996, el Instituto de Geografía de la Universidad Nacional Autónoma de México, adquirió, con la participación del Instituto de Ciencias del Mar y Limnología, una antena receptora de imágenes satelitales. Esta antena recibe imágenes procedentes del sensor AVHRR, las cuales son procesadas para obtener productos derivados como la temperatura superficial del mar, entre otros. Desde 1996 a la fecha, se siguen recibiendo imágenes de este sensor. Por otro lado, en la misma antena receptora del Instituto fue posible recibir imágenes procedentes del sensor SeaWiFS a partir de Abril de 1998 y por un periodo de seis años. Las imágenes SeaWiFS son procesadas para obtener la concentración de clorofila-a, entre otros importantes productos.



Antes de proceder a la descripción, mediante imágenes de satélite, de los mares mexicanos en su contenido de clorofila-a y de temperatura superficial del mar, consideramos necesario hacer una breve caracterización de toponimias y corrientes en ambos océanos (figura 1), que sirvan de apoyo para la posterior descripción de los compuestos satelitales.

En forma general se sabe que la circulación de agua en los océanos sigue el patrón de que las aguas cálidas del Ecuador se dirigen hacia los polos Norte o Sur, mientras que las aguas polares frías viajan en dirección al Ecuador terrestre. Con esta idea en mente, observamos en el Océano Pacífico la presencia de la Corriente de California, la cual transporta aguas polares frías con rumbo al Ecuador terrestre; observamos también la presencia de aguas cálidas ecuatoriales en la Corriente nor-ecuatorial dominando la parte del Pacífico Sur Mexicano y modulando las aguas templadas del Golfo de California.

En la región del Pacífico Mexicano existen zonas que se destacan por sus características topográficas y que dan lugar a eventos de surgencias entendidas como el ascenso de aguas frías profundas y ricas al poseer un alto contenido de nutrientes. Se destacan dos regiones: Bahía Banderas y el Golfo de Tehuantepec. En el primer caso, el evento de surgencia se da por la topografía del lugar, mientras que en el segundo caso ocurren surgencias eólicas debidas a la orografía de la zona y a las condiciones meteorológicas imperantes en el periodo invernal.

Del lado del Océano Atlántico, la señalización de las flechas indica la intrusión de las aguas cálidas ecuatoriales, a través del estrecho entre Cuba y Yucatán. La interacción topográfica del estrecho da lugar a la formación de la Corriente del Lazo, que forma parte de la Corriente del Golfo, la cual sale del Golfo de México por el estrecho de la Florida. El Golfo de México, se caracteriza por tener una plataforma extendida y relativamente somera en la Península de Yucatán. Esta plataforma termina en el llamado Cañón de Campeche donde se alcanzan profundidades de más de 3000 metros. Estos aspectos toponímicos y de corrientes nos permitirán ubicar las principales características en la descripción de las imágenes de satélite del color y de la Temperatura Superficial del Mar.

Las imágenes satelitales presentes en el Atlas están divididas en dos periodos: Verano e Invierno y en condiciones de años "normales" y en presencia del fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS). Los compuestos de verano están conformados por el promedio de los meses de junio a septiembre de los años seleccionados mientras que los compuestos de invierno corresponden al promedio del periodo de los meses diciembre a marzo. Las imágenes de temperatura superficial del mar (TSM) provienen del sensor AVHRR e incluyen los años de 1997, 1998 y 2000. Las imágenes de color del mar, estimando la concentración de clorofila-a ([Cla]) provienen de sensor SeaWiFS e incluyen los años de 1998 a 2000. Por consiguiente, la hoja (NA VIII 1) incluye un total de cuatro imágenes de TSM correspondientes a los promedios de verano e invierno en años normales en un caso y en años ENOS en el segundo. De manera similar, en la hoja (NA VIII 2) se hace el mismo proceso para el caso de las imágenes de color del mar del sensor SeaWiFS.

Descripción de la temperatura superficial del mar

Características años normales: Verano 2000 (NA VIII 1 A). La época del verano se caracteriza por el predominio de las condiciones isotérmicas en los mares mexicanos, a excepción de las siguientes regiones: en la región sur del Océano Pacífico predominan las aguas cálidas procedentes del Ecuador, con temperaturas que oscilan entre los 26 y los 29° C, en la costa occidental de la península de Baja California, se observa la presencia de la corriente de California transportando agua fría hacia el sur. Donde confluyen ambos tipos de aguas se denomina zona de transición la cual tiene su frontera norte en la región comprendida entre Los Cabos (BCS) y Bahía Banderas (Jal.). A lo largo del Golfo de California predominan las aguas cálidas, exceptuando la región norte, donde se localizan las islas Ángel de la Guarda y Tiburón que mantienen una temperatura relativamente más fría con relación a su entorno. En el Océano Atlántico, las condiciones isotérmicas caracterizan por completo al Golfo de México y Mar Caribe, con excepción de la corriente costera de Tamaulipas-Veracruz, la descarga del río Usumacinta y la surgencia dinámica de Yucatán. Estas zonas mantienen una temperatura superficial relativamente menor al resto del conjunto.

Invierno 2000 (NA VIII 1 B). La distribución de la temperatura superficial del mar es diferente en la época invernal en los mares de nuestro país. En la región del Pacífico se observa el predominio de las aguas frías de la Corriente de California, las cuales traspasan la región de Los Cabos (BCS). Las aguas cálidas ecuatoriales dominan casi toda la región sur del Pacífico Mexicano. La zona de transición donde confluyen estos dos tipos de agua se ubica más al sur en esta época del año, aproximadamente a los 21° N. Por otro lado, la distribución homogénea de las aguas ecuatoriales en el Pacífico Sur Mexicano se ve interrumpida en la región del Istmo de Tehuantepec, donde tiene lugar una surgencia eólica de gran magnitud. Esta surgencia es producida por una combinación de aspectos meteorológicos con los rasgos topográficos de la zona. En la época invernal es común la presencia de una onda fría polar la cual tiene una trayectoria NW-SE, viajando desde la región de Alaska, cruzando Canadá y EUA, hasta instalarse en el Golfo de México como un centro de alta presión. La presión existente en el Golfo es mayor que la existente en la región del Pacífico Sur Mexicano. Este gradiente de presiones atmosféricas genera vientos, cuya magnitud varía proporcionalmente como función de la diferencia de presiones. Los vientos son detenidos de manera importante por la Sierra Madre Oriental. En la región del Istmo de Tehuantepec, la altitud de las montañas disminuye de un promedio de 2 000 msnm a 250 msnm, ascendiendo después a una altitud mayor en la Sierra de Chiapas. A través de este hueco los vientos hallan salida alcanzando rachas de varios kilómetros por hora. Este efecto es evidente en las imágenes de TSM. En ellas se observa una amplia zona con una diferencia de temperatura de 4 a 5° C menor, con origen en Tehuantepec, que se extiende varios kilómetros mar adentro. En el Golfo de México y el Mar Caribe destacan varios aspectos con mayor claridad que no son evidentes en la época de verano. La intrusión de las aguas cálidas ecuatoriales penetra el Golfo de México desde el Mar Caribe. La batimetría de la zona produce que esta intrusión se bifurque al cruzar el estrecho Cuba-Yucatán. Una parte, la denominada Corriente del Lazo, se dirige con rumbo NE, pasa por el estrecho de la Florida llegando hasta las costas occidentales de Europa. De la misma corriente del Lazo se observa el desprendimiento de giros y remolinos, los cuales son transportados con dirección W hasta las costas de Tamaulipas y Veracruz. La otra parte la constituye la surgencia dinámica de Yucatán, la cual se aprecia por tener una temperatura superficial 3° C menos que su entorno. En la parte norte del Golfo de México se observa la presencia de aguas frías a lo largo de las costas de Florida, Louisiana, Texas, Tamaulipas y norte de Veracruz.

Características años ENOS. Verano 1997 (NA VIII 1 C). En el verano de este año se observó un predominio mayor de las aguas cálidas en los mares de México, con temperaturas superiores a los 35° C. Las principales diferencias en relación con los veranos "normales" son las siguientes: En la región del Pacífico se observa una traslación hacia el norte de la zona de transición, la cual se ubicó en la región de Los Cabos con una orientación SW-NE. La región de las grandes islas en el Golfo de California, mantiene una temperatura relativamente menor a su entorno. En el Golfo de México y Mar Caribe las condiciones isotérmicas durante ENOS se acentuaron, reduciendo la zona de influencia de la surgencia de Yucatán y de la corriente costera de Tamaulipas y Veracruz.

Invierno 1997 (NA VIII 1 D). La época invernal en años ENOS presenta condiciones que afectan de manera importante a la TSM. Uno de los efectos más conspicuos es la inhibición de la surgencia eólica de Tehuantepec. Esta inhibición es causada por la ausencia de la masa de aire polar en el Golfo de México, la cual permanece a altas latitudes. Otra característica es el aumento en la TSM en ambos Océanos. Esto provoca la generación de huracanes de gran intensidad en la región del Pacífico. Sin embargo, en la región del Atlántico, se observó una disminución de huracanes, a consecuencia del debilitamiento de los vientos alisios, característica del ENOS. Los efectos climáticos de ENOS son evidentes en la imagen correspondiente al invierno de 1997. En comparación con la imagen del invierno 2000, se observa un aumento general en la TSM de, aproximadamente 3° C, en promedio, en ambos océanos. El debilitamiento de la surgencia de Tehuantepec se percibe como un continuo de las aguas cálidas ecuatoriales. La zona de transición es más ancha, gradual y menos definida. El Mar Caribe y el Golfo de México presentan condiciones más cálidas en comparación con años normales. La surgencia de Yucatán se confunde con la intrusión de aguas con temperatura relativamente más baja, las cuales abarcan la plataforma de Yucatán, la zona frente a Campeche y el sur de Veracruz. La corriente del Lazo cubre un área mayor con desprendimiento de giros y remolinos.

Color del mar (NA VIII 2)

Características año normal. Verano 2000 (NA VIII 2 A). Las condiciones de la concentración de clorofila a [Cla] en la época de estio son relativamente homogéneas en ambos océanos. En la parte del Océano Pacífico se observan tres regiones con concentraciones de clorofila a relativamente más altas que su entorno. La primera región corresponde al Golfo de California donde se destaca la señal de la descarga del río Colorado, de la zona entre las grandes islas, las costas de Sonora y Sinaloa y la entrada al Golfo de California. En la región del Pacífico Sur Mexicano la [Cla] es homogénea en la parte oceánica pero en las zonas costeras se observa una distribución más alta en la [Cla] principalmente en la desembocadura de los ríos (e. g. Río Balsas). La tercer región corresponde al Golfo de Tehuantepec donde se observan [Cla] relativamente más altas abarcando una parte importante de Centroamérica. En el Golfo de México se observan condiciones oligotróficas en la parte oceánica, a los primeros metros de profundidad. Las zonas costeras de Yucatán y principalmente de Campeche, presentan altas [Cla] las cuales abarcan hasta Tabasco y el sur de Veracruz. Por otro lado, la descarga del Río Mississippi se hace patente a lo largo de la costa de los Estados Unidos de Norteamérica y del Estado de Tamaulipas. La información observada en las zonas costeras no corresponde en su totalidad a [Cla] ya que parte de la señal es debida a la presencia de sedimentos, principalmente en la desembocadura de los ríos en ambos océanos.

Invierno 2000 (NA VIII 2 B). La distribución de la [Cla] en los mares mexicanos durante la época invernal contrasta de manera importante con la de verano. En el lado del Pacífico se observan altas concentraciones de [Cla] en el Golfo de California y una fuerte componente de sedimentos en la descarga del río Colorado. Asimismo, estas altas [Cla] se observan frente a las costas de Nayarit y Jalisco y, en menor proporción, a lo largo de las costas de Michoacán y Guerrero. En la región de Tehuantepec es preponderante la influencia de la surgencia eólica con el aporte de nutrientes de las aguas subsuperficiales que se traduce en florecimientos algales en un área muy extensa. En el Golfo de México es notoria la presencia de altas [Cla] a lo largo de la costa estadounidense y de los estados de Tamaulipas y Veracruz. Por otro lado, son evidentes las altas [Cla] en la plataforma de Campeche, debidas a la surgencia dinámica de Yucatán. Es importante observar valores altos de clorofila y sedimentos en las lagunas costeras de Tamaulipas en Veracruz, la de Términos en Campeche y en la Bahía de Chetumal, Quintana Roo, en el Mar Caribe.

Características año ENOS. Verano 1999 (NA VIII 2 C). La distribución de la [Cla] en el verano varía puntualmente con relación a los años considerados normales. La principal diferencia radica en la magnitud de la señal de la [Cla]. En la región del Golfo de California se observa una mayor [Cla], particularmente en la desembocadura del Río Colorado, mientras que en la región Centro-Norte del Golfo la distribución es más extensa y homogénea. En la región de Bahía de Banderas y Cabo Corrientes se observa un desplazamiento zonal hacia el sur en la [Cla] con relación a años normales. En la región de Tehuantepec se observa una disminución importante en la [Cla]. En el Golfo de México la [Cla] es baja, predominando las condiciones oligotróficas. En la región costera de Tamaulipas-Veracruz la disminución en la [Cla] es evidente, lo mismo que en la Sonda de Campeche. Esta situación probablemente obedece al aumento de la TSM en años ENOS.

Invierno 1997 – 1998 (NA VIII 2 D). En este periodo tuvo lugar uno de los años ENOS más intensos del siglo XX. En la región del Pacífico el efecto más notorio es la inhibición de la surgencia eólica de Tehuantepec, característica de la época invernal. Otro efecto notorio es la disminución de [Cla] en el Golfo de California con relación a años normales. Sin embargo, en la costa occidental de la península de Baja California se evidencia un aumento en la [Cla]. El efecto de disminución en la [Cla] se observa en el Golfo de México y el Mar Caribe. La señal en la desembocadura del Río Mississippi se ve comparativamente reducida. La situación es inversa en la plataforma de Yucatán y la Sonda de Campeche donde se observan altas [Cla] debidas a la surgencia dinámica de Yucatán y al efecto topográfico del Cañón de Campeche, respectivamente.

Los datos cartográficos de las imágenes son: Proyección: Mercator; Datum: WGS84; Esferoide: Clarke 1866.

¹ Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.