

5 Las Pesquerías y El Niño

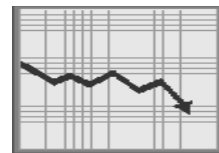
D. Lluch-Cota⁷, D. Lluch-Belda^{14, 7}, S. Lluch-Cota⁷, J. López-Martínez¹², M. Nevárez-Martínez¹³, G. Ponce-Díaz⁷, G. Salinas-Zavala⁷, A. Vega-Velazquez¹⁴, J.R. Lara Lara⁶, G. Hammann⁶ y J. Morales⁸.

El sector pesquero

Si bien el tema de la variabilidad climática ha llamado la atención del público en el mundo durante algún tiempo, El Niño 1997-98 ha sido el evento que más interés ha recibido en diversos sectores de la sociedad mexicana. A ello contribuyó la amplia cobertura que los medios de comunicación brindaron al tema. Sequías, incendios forestales, precipitaciones excesivas, la presencia de ciclones o tormentas fueron repetidamente señalados como catástrofes asociadas al Niño 97-98 que fue particularmente intenso. En algunos casos la relación entre El Niño y algunos de estos desastres naturales es inexistente o cuando menos discutible. Sin embargo, es claro que este evento hizo manifiesta la vulnerabilidad de algunos sectores y actividades ante la variabilidad climática.

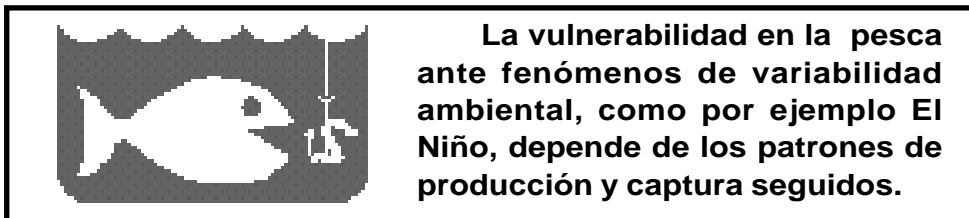
Entre las actividades económicas que resienten el impacto de El Niño, una de las más afectadas es sin duda la pesca. A nivel mundial las estimaciones preliminares de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) muestran que la producción mundial de alimentos registró un retroceso del 2 al 4% en 1997, esperándose un aumento para 1998. En realidad, fue en 1998 cuando se registraron las alteraciones biológicas más severas, tales como incrementos de la mortalidad natural, fallas de reclutamiento y crecimientos somáticos disminuidos.

Algunas estimaciones de la FAO indicaban que la pesca a nivel mundial sufriría una disminución en 1997 por causa de El Niño. Tal efecto negativo ocurrió y perduró durante 1998.



Aunque en cifras globales las pérdidas parecen grandes, para cada sector pesquero del mundo existe una gran cantidad de variables que influyen en los volúmenes totales de capturas. Además, debe reconocerse que los impactos de estos eventos son diferentes para cada rubro de la actividad. En el caso del fenómeno del Niño, las pesquerías del Pacífico este son impactadas significativamente por encontrarse en la zona de influencia directa. Así, para Perú el decremento en 1997 alcanzó casi el 60%, con cifras similares en 1998 (Duffy y Bryant 1998). Para el caso de México, aún no existen cifras oficiales, aunque se sabe que los impactos fueron severos, principalmente en el Pacífico, pues poco se sabe de cómo El Niño afecta al Golfo de México o al mar Caribe. Los cambios en el Pacífico significan graves pérdidas para nuestro país, por ser estos litorales los que aportan la mayor parte de la producción nacional en términos de volumen y de valor de producción. En 1996, la proporción de la producción total fue de alrededor del 70% (Zavala 1997).

El origen de la vulnerabilidad en la actividad pesquera ante fenómenos de variabilidad ambiental depende directamente de los patrones de producción y captura. Como en la pesca de organismos libres los recursos utilizados realizan permanentes desplazamientos horizontales y verticales, relativos a la ubicación de sus recursos de vida, las técnicas de captura son difíciles, a diferencia de la acuicultura, donde los recursos se tienen disponibles en ambientes controlados. La influencia de factores ambientales en la pesca, específicamente en la captura de organismos, hace necesario integrar en los esquemas de extracción y manejo, límites en tipos y periodos de captura, que no excedan la capacidad de recuperación o reproducción del recurso, la cual se define por el crecimiento poblacional.



El problema se agrava debido a que la mayoría de los modelos pesqueros utilizados asumen que las poblaciones de organismos, crecen en función directa a su tamaño, y no consideran las múltiples variables que determinan el tamaño y tipo de los cardúmenes. Esta falta de modelos descriptivos de las poblaciones resulta en un manejo de los recursos con base en esquemas muchas veces inadecuados, ante variaciones ambientales como las que El Niño ocasiona en el Pacífico mexicano (Lluch-Cota et al. 1995, Lluch-Belda et al. 1998).

La administración pesquera en ambientes variables

El objetivo de la administración pesquera es la explotación de los recursos, obteniendo un rendimiento sostenido de los mismos es decir, la captura de organismos sin rebasar la tasa de crecimiento de la población, para así asegurar la permanencia de los mismos. De esta forma, se busca obtener una cantidad adecuada del recurso año tras año y en consecuencia, tener una actividad económica sustentable. Para alcanzar este objetivo, la biología pesquera recurre al conocimiento ecológico básico en la forma en la que crece una población, incorporando dicho conocimiento a modelos matemáticos que, bajo premisas correctas, permiten establecer la mejor forma de explotar el recurso.

El enunciado biológico más importante para la administración pesquera es el que define los esquemas básicos del crecimiento poblacional. En el universo de información existente se plantean 2 patrones: el primero, asume que la población crece en forma exponencial; mientras que el segundo establece que las poblaciones crecen dependiendo de los recursos disponibles, llamando a estos: factores limitantes. Con la presencia de agentes que condicionan el crecimiento, las poblaciones sólo pueden sostener un determinado número de organismos, siendo el máximo posible la capacidad de carga o capacidad portadora del medio (Odum 1953).

Si la capacidad de carga se considera constante, el crecimiento poblacional obedecerá reglas muy simples: en ausencia de explotación, la población crecerá hasta un nivel máximo que es constante, a una velocidad (tasa instantánea) que depende de su tamaño. Cuando una población se desarrolla bajo los parámetros descritos, se dice que ésta tiene un crecimiento sigmoideo, de acuerdo a la curva de crecimiento que muestre (Fig. 5.1). Si un recurso pesquero creciera con estos parámetros, la población llegaría a su nivel máximo constante y la captura de organismos se realizaría con toda la producción que se genere por arriba de dicho nivel. Sobre esta base se han desarrollado modelos donde se establece que el crecimiento poblacional es aproximadamente sigmoideo. En sus primeras versiones, investigadores como Graham (1935), Schaefer (1954) y Fox (1970), supusieron condiciones de equilibrio estático o permanente en donde, si la pesca extrae el volumen exedente del nivel máximo constante, la población se mantiene en un tamaño constante.

En investigaciones actuales, se trabaja con modelos dinámicos como el de biomasa de Hilborn (Hilborn y Walters 1992), donde se supone que la población no tiene un equilibrio estático. Este modelo considera al crecimiento anual como una función del tamaño de la población del año inmediato anterior y de las remociones o extracciones por pesca; se denomina a esta premisa condiciones de equilibrio dinámico.

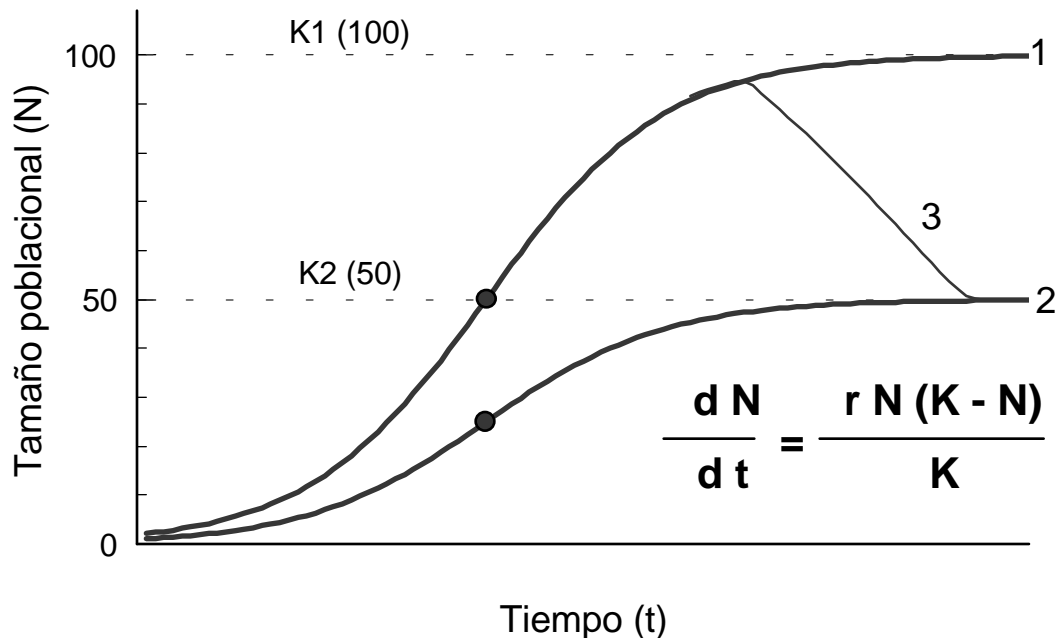


Fig. 5.1. Modelo sigmoideo de crecimiento poblacional

A pesar de que estos trabajos aportan información importante para el trabajo de los administradores, la pesca continúa su desarrollo bajo criterios de crecimiento sigmoideo, donde el único factor que determina el crecimiento es el tamaño mismo de la población, en otras palabras, el crecimiento es densodependiente.

En general, en pesca se continúa pensando que el único factor que determina el crecimiento de la población es su tamaño.



La Ecología reconoce que no todas las poblaciones crecen en forma densodependiente, aunque la tendencia general ha sido considerar a este crecimiento como el caso más general. Los trabajos en poblaciones de plantas (Harper *et al* 1965), invertebrados (Carpenter 1940) y aun en vertebrados superiores (Elton 1942), han sido la pauta para describir una forma de crecimiento diferente. En este crecimiento se describe el efecto limitante de los factores ambientales a los que está expuesta la población y que de manera repentina actúan sobre los organismos. Esta situación se ha observado ante variaciones repentinas y significativas de la capacidad de carga. A este crecimiento, ajeno a la densidad de población, se le llama *densoindependiente*, y hasta ahora se había reservado a casos particulares como el de las plagas o los florecimientos algales masivos.

El asumir un crecimiento densodependiente como válido, obedece a que para muchas poblaciones existe evidencia de que la tasa de crecimiento suele ser una función decreciente de la densidad (Tanner, 1966). Al respecto, Lluch-Belda *et al.* (1998) sugieren que con las evidencias resultantes de periodos de observación, más bien cortos, el sistema puede mantenerse relativamente constante. Así, un recurso pesquero podría crecer en forma aproximadamente sigmoidea durante un cierto tiempo. No obstante, una variación repentina y significativa de la capacidad de carga podría dar como resultado un crecimiento que tienda a ser densoindependiente.

La modificación en los patrones de crecimiento, ha permitido observar e inferir la estrecha relación que existe entre la medida de las desviaciones o variaciones de los factores ambientales y el tipo de crecimiento densoindependiente, haciéndose más evidente conforme aumentan los valores de las variaciones. Este cambio en los esquemas de crecimiento muestra las deficiencias de las estrategias de captura que no consideran al crecimiento densoindependiente como real. Existen razones para considerar que la capacidad de carga de la generalidad de los recursos marinos se modifica significativamente ante los efectos de El Niño, básicamente porque el ambiente físico sufre drásticas modificaciones que repercuten en la generalidad del ecosistema marino.

Efectos regionales: el ambiente físico

Las características generales de El Niño han sido previamente descritas. Basta señalar que, aunque El Niño se origina en el Pacífico tropical, existen mecanismos que transmiten sus efectos físicos y biológicos fuera de los trópicos, como en el Pacífico mexicano (Wooster y Fluharty 1985).

Uno de estos mecanismos es de naturaleza oceánica, y consiste en la generación de ondas costeras durante El Niño (ver Cap. 3). Por su naturaleza física, relacionada con la elevación del nivel del mar, la onda Kelvin costera genera divergencia en su extremo ecuatorial y convergencia en su extremo boreal, mientras se propaga hacia los polos (Bakun, 1996). Estas ondas viajan desde el Ecuador a los polos a lo largo de la costa, de manera que unos tres meses después de iniciado el evento podemos experimentar sus efectos en la región mexicana.

El medio de propagación de estas ondas costeras es la capa superficial del mar, cuyas características son determinadas por la acción combinada de la radiación solar, y las interacciones del mar y los vientos. Muchos de los procesos involucrados en la dinámica de la capa superficial del Pacífico mexicano son motivo de estudio (Trasviña 1991).

De manera general se puede pensar en la capa de mezcla como una capa homogénea, cálida y normalmente poco densa. El agua por debajo de esta capa es más fría y por lo general más densa. Entre la capa superior e inferior existe una interface denominada termoclina, en donde la temperatura cambia bruscamente de cálida a fría.

El contenido de nutrientes como fosfatos, nitratos o silicatos, esenciales para la producción de fotosíntesis en el fitoplancton, es bajo en la capa superficial en comparación con la capa más profunda. Por ello, los nutrientes tienden a acumularse en las capas más profundas, donde la luz no penetra o llega muy debilitada (Figura 5.2).

Por otro lado la actividad fotosintética es más activa en la capa de mezcla, debido a la penetración de la luz, lo que produce el agotamiento de los nutrientes en la columna de agua. Así, cuando la capa de mezcla es gruesa, y sin intercambios por efectos de viento entre niveles, la producción biológica queda severamente limitada (Mann y Lazier 1996).

En una capa del mar superficial, sin intercambios de agua por falta de mezclado vertical por el viento, la producción biológica es limitada.



La onda costera que caracteriza a El Niño se propaga en la capa mezclada, produciendo incrementos en el espesor de la capa al propagarse la onda hacia latitudes altas. Tal incremento se manifiesta a través de aumentos, tanto de temperatura como de espesor, ya que el agua se expande térmicamente.

Los efectos regionales de la onda costera se observan a partir de cambios en tres variables y consisten en:

- i) El aumento de varios centímetros en el nivel medio del mar.
- ii) Los incrementos de hasta 4 o 5 °C en la temperatura superficial.
- iii) Los descensos de decenas de metros en la profundidad de la termoclina.

La Figura 5.3 muestra las series regionales de temperatura superficial durante años recientes, donde puede apreciarse que el año de 1997-98 fue el que registro cambios extremos para varias localidades del Pacífico mexicano, .

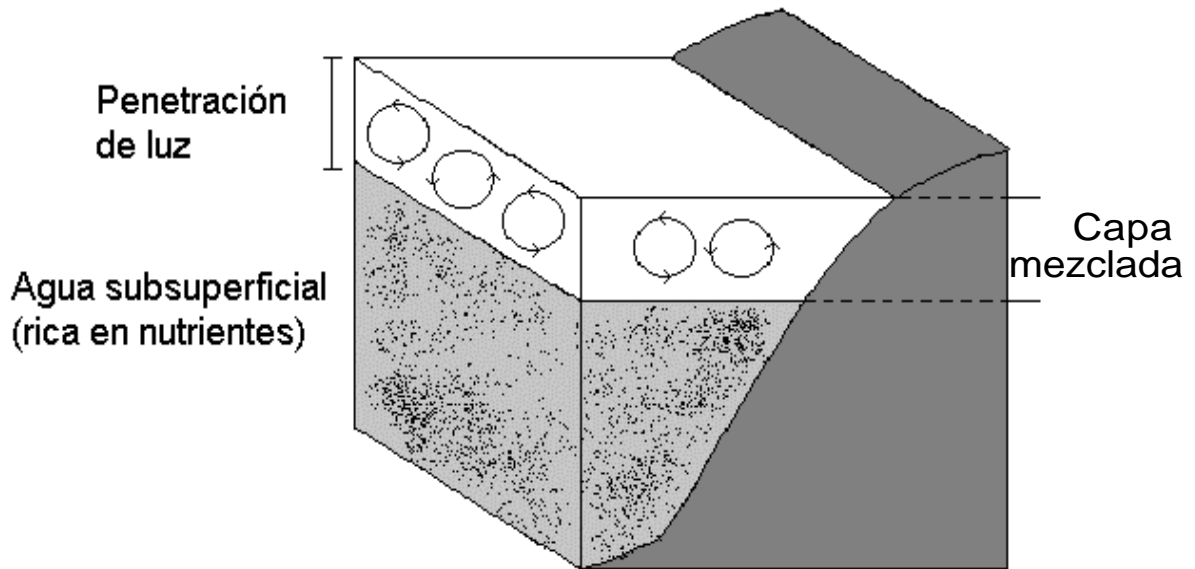


Fig. 5.2. Situación en la que el espesor de la capa mezclada es comparable al de la capa fótica (i.e. la capa hasta donde penetra la luz). Al no existir mezcla con el agua sub-superficial, los nutrientes no pueden ser utilizados. (Compárese esta situación con el esquema de la Figura 5.6)

La propagación de la señal El Niño a latitudes subtropicales se produce por efectos oceánicos, pero también a través de la atmósfera, mediante las llamadas teleconexiones. Las teleconexiones se definen como un fenómeno de propagación de una señal de un punto a otro por procesos de tipo ondulatorio que se identifican como patrones espaciales persistentes en variables como la presión atmosférica. En la Figura 5.4 se describe la naturaleza de estas teleconexiones, como un patrón de presiones altas y bajas, en la superficie de un fluido en movimiento generado a partir de una «fuente» (Wallace, 1985). Las zonas de alta presión corresponden a las altas en superficie y lo mismo para las bajas, lo que indica que el fenómeno ocurre en todo el fluido y no sólo en su superficie.

Otra característica de un patrón de ondas de una teleconexión es su carácter estacionario en relación a un obstáculo presente, porque sin éste, el patrón no se presentara y al cambiar de posición el tren de ondas desaparecería la relación entre los puntos teleconectados.

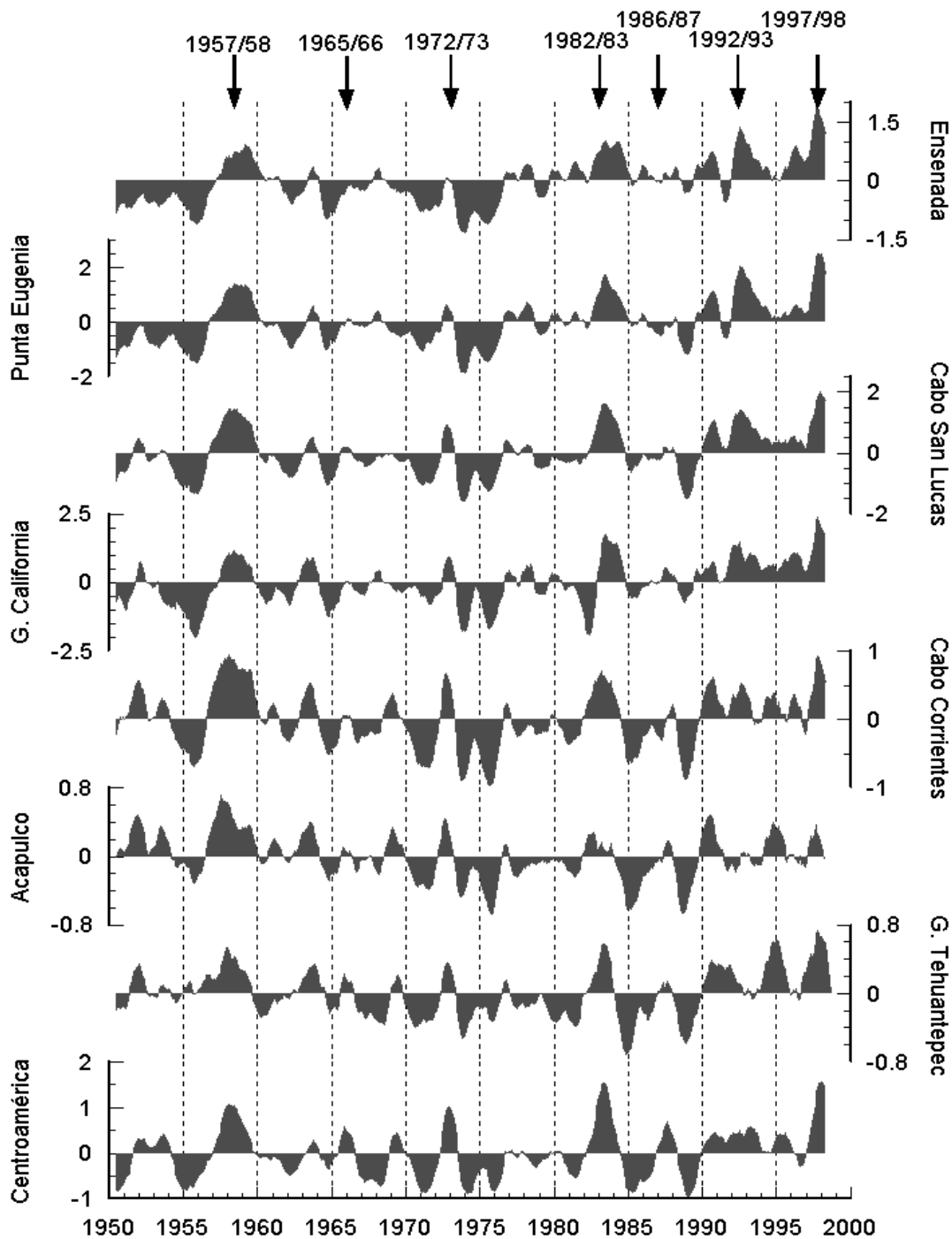


Fig. 5.3.- Series de anomalías de la temperatura superficial del mar para cuadrantes costeros aledaños a varias localidades. Las flechas indican los principales eventos El Niño registrados desde 1950. Nótese la intensidad de El Niño 1997-98, comparable a los eventos de 1957-58 y 1982-83. Fuente de datos: Reynolds y Smith (1994) y IRI-IGOSS (1998).

La atmósfera, es el fluido que tiende a desplazarse horizontalmente bajos los efectos de la rotación y contrastes térmicos. La fuente de la onda está asociado a la masa de agua cálida del Pacífico tropical, que a su vez fuerza convección anómalamente intensa, con movimientos verticales que originan ondas estacionarias presentes en varios niveles de la atmósfera (Wallace y Gutzler 1981).

Durante El Niño, el desplazamiento de una masa cálida de agua en el Pacífico tropical resulta en desplazamientos de la zona de convección tropical, lo que introduce cambios en los patrones de presión y circulación en la atmósfera de casi todo el planeta. Uno de los más claros es el que se presenta como onda de Rossby estacionaria denominada patrón del Pacífico Norte América (ver Cap. 2).

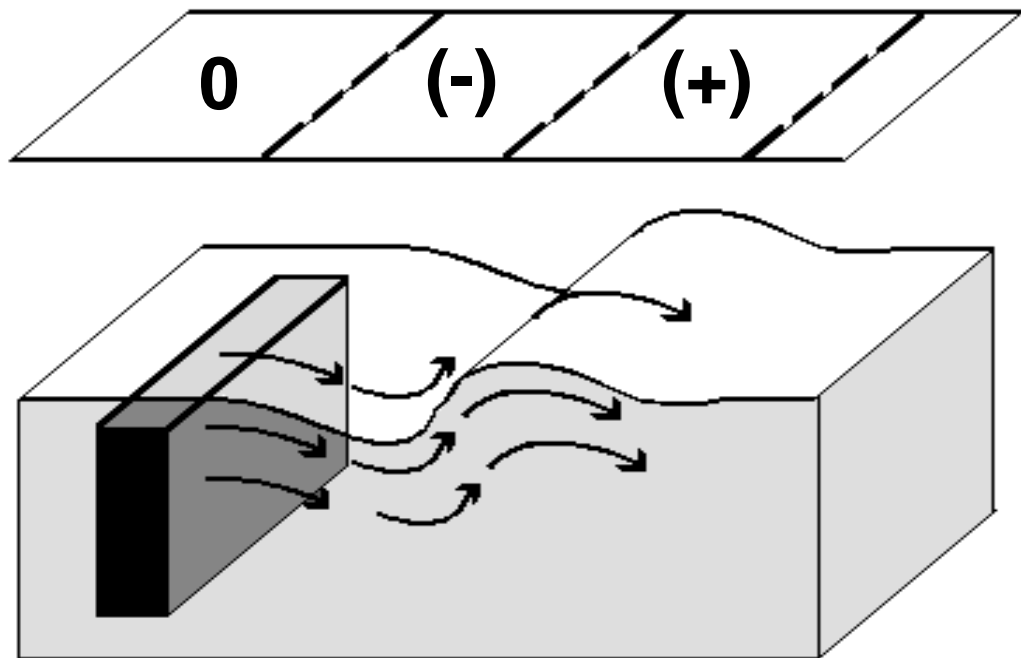


Fig. 5. 4. Esquema del modelo "intuitivo" de Wallace (1985), que representa un tren de ondas estacionarias generadas por un obstáculo o fuente de forzamiento en un fluido en movimiento. La proyección en la parte superior indica los cambios de presión en el seno del fluido correspondientes al patrón de altas y bajas observado en la superficie.

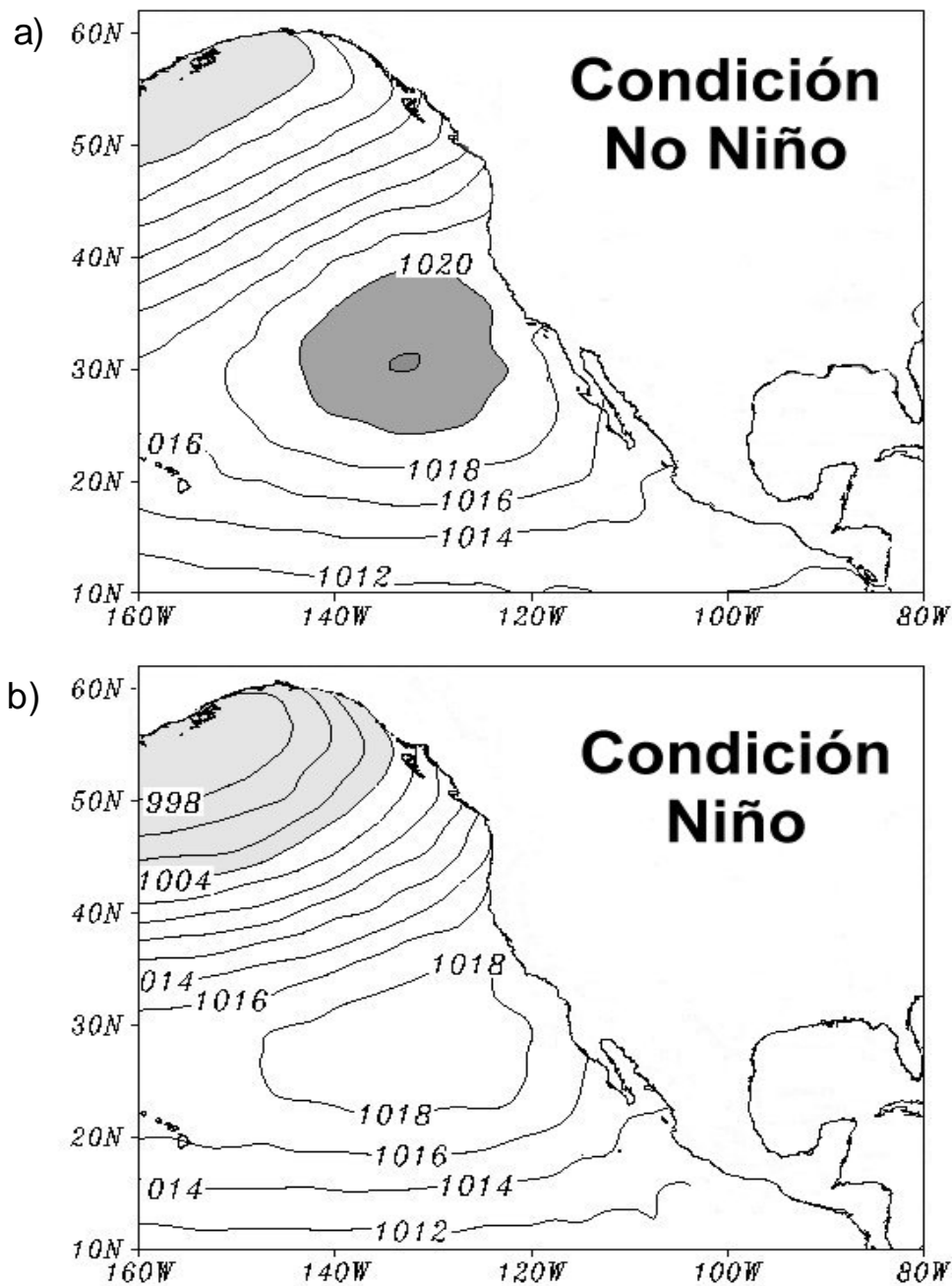


Fig. 5.5. Isobaras de presión superficial para el invierno del hemisferio norte en a) años normales y b) El Niño (1965, 1972, 1982, 1986, 1991, 1997).

Las áreas gris oscuro corresponden a alta presión del Pacífico norte (>1020 mb) y la gris claro a la baja de las Aleutianas (<1004).

Durante años de El Niño la señal del patrón PNA es clara (Wallace y Gutzler 1981). La aparición de esta onda modifica la circulación atmosférica media con cambios en la actividad convectiva y de vientos de bajos y altos niveles (ver Cap.2). Aunque existe variabilidad en la fase y amplitud de las teleconexiones, éstas tienen un aspecto aproximadamente regular, que las hace aparecer durante los inviernos de Niño en el hemisferio norte (Tribbia 1991). Los principales efectos de teleconexiones sobre México, como los del patrón PNA, aparecen en cambios en la corriente en chorro subtropical durante el invierno, con lo cual se vuelve más frecuente la incursión de sistemas de latitudes medias sobre la República Mexicana (Fig. 2.4). Los efectos del patrón PNA son identificables también en la distribución de la presión en superficie, principalmente frente a las costas de la península de Baja California (Fig. 5.5).

Existe variabilidad en las características de las teleconexiones de un evento de Niño a otro, que tiene que ver básicamente con la intensidad y fase de la onda estacionaria asociada a la teleconexión.



Uno de los efectos de las teleconexiones durante años Niño está relacionado con la zona de alta presión del Pacífico norte, que durante El Niño tiende a debilitarse por la aparición de la anomalía ciclónica del patrón PNA. La modificación de esta circulación tiene efectos en los patrones de vientos, reflejándose en un debilitamiento de los del noroeste. Estos vientos confieren características muy particulares al ambiente marino del noroeste mexicano, ya que por efectos de transporte de Ekman y surgencias costeras, se producen zonas de alta productividad marina. La situación típica de estos sistemas se esquematiza en la Figura 5.6, donde se describe la disposición característica del viento que sopla paralelo a una costa ubicada a la izquierda respecto del sentido del flujo.

Los vientos del norte, asociados a la alta semipermanente del Pacífico, producen surgencias costeras en las costas de Baja California y consecuentemente, alta productividad marina.



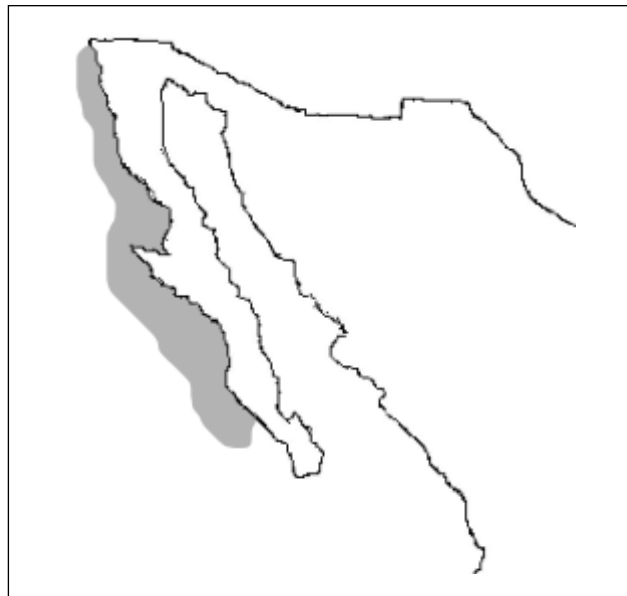
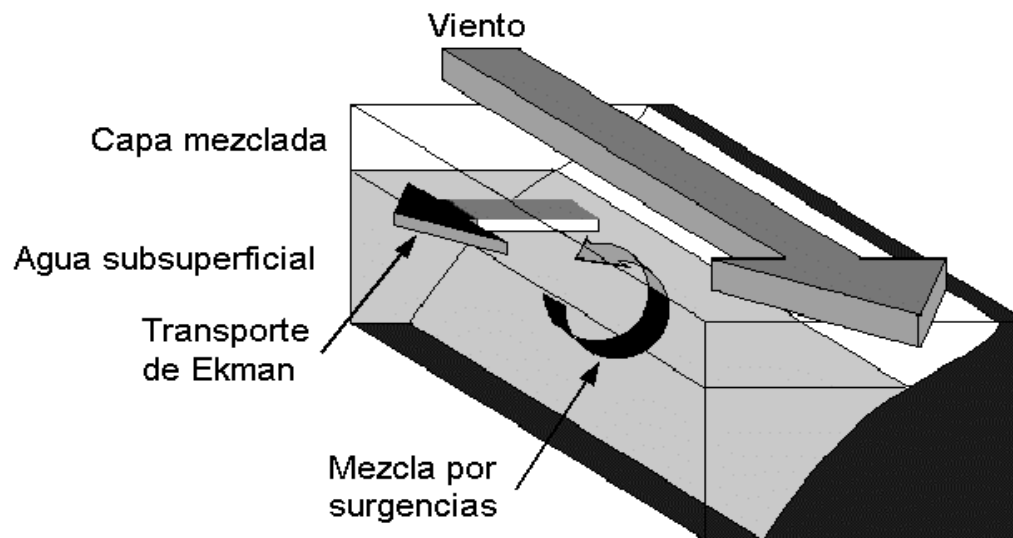


Fig. 5.6. Esquema general de un sistema de surgencias costeras y su localización aproximada en el noroeste mexicano. El remplazamiento del agua arrastrada por el transporte de Ekman permite el ascenso del agua sub-superficial hacia la zona fótica (mezcla por surgencias); compárese esta situación con la de la Figura 5. 2.

La capa superficial del océano tiende a desplazarse debido a los efectos del viento en la superficie del mar y al efecto de Coriolis. Este efecto produce que el movimiento de la capa superficial de agua sea hacia la derecha de la dirección de movimiento de los vientos en el hemisferio norte (Peixoto y Oort 1992). El desplazamiento de la capa superficial o capa de Ekman da lugar a que la capa superficial del mar sea transportada hacia fuera de la costa, con lo que las aguas transportadas son o serán remplazadas por el surgimiento de las capas inferiores. El resultado de este transporte es la zona de surgencia costera, con elevados niveles de productividad primaria y secundaria y que constituye el sostén de muchas de las principales pesquerías en el Pacífico mexicano.

La zona de surgencia costera frente a Baja California, tiene elevados niveles de productividad primaria y secundaria, lo que la hace una de las zonas de gran riqueza pesquera.



Durante El Niño, tanto el engrosamiento de la capa mezclada vía las ondas costeras, como el debilitamiento de los vientos noroestes, vía las teleconexiones del tipo patrón PNA, tienen repercusiones importantes sobre los sistemas de surgencias. En ambos casos, parecen producirse reducciones en el aporte de nutrientes hacia la superficie, y por lo tanto una disminución en la producción biológica en general, como se muestra en la Figura 5.7.

En las costas de Perú, se han observado reducciones de la concentración de pigmentos fotosintéticos del orden del 50% durante eventos El Niño, como el de 1982-83 (Feldman *et al.* 1984), mientras que en California la reducción llegó al 75% (Fiedler 1984). Para el caso del Pacífico mexicano no existen evaluaciones equivalentes, aunque la información disponible a partir de imágenes de satélite de color del mar, donde se relacionan los colores con la presencia de fitoplancton, sugiere que la disminución puede ser significativa frente a Baja California (Figura 5.8).



El debilitamiento del transporte de Ekman en años Niño, produce una disminución en la producción primaria frente a Baja California.

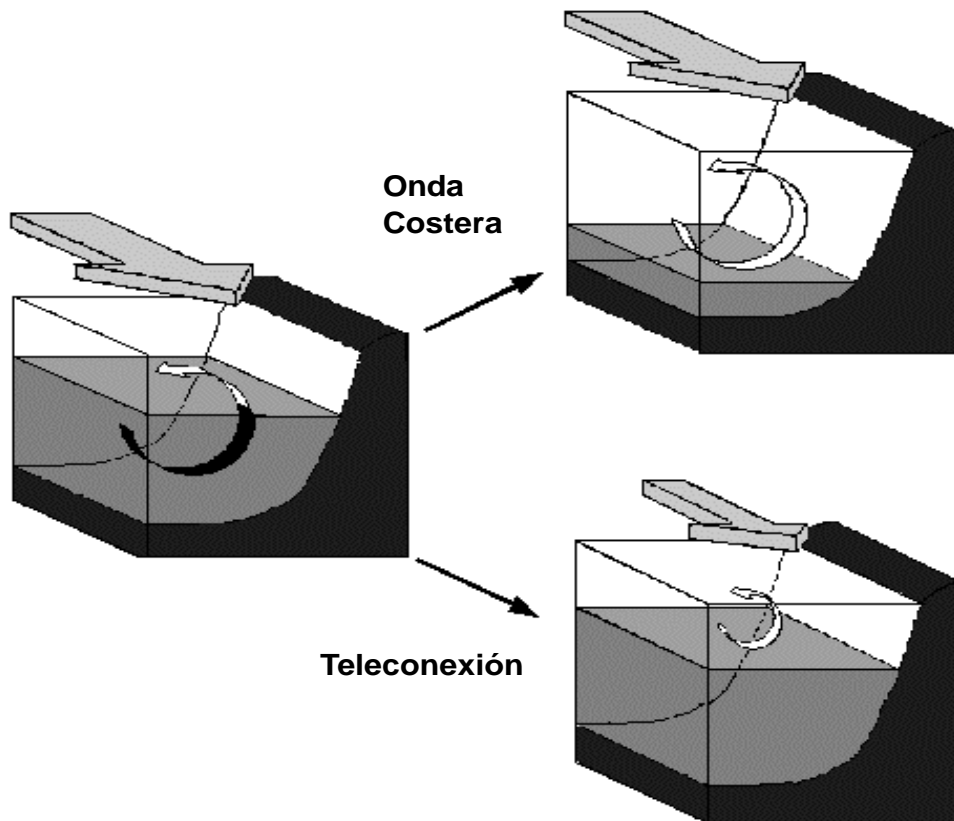


Fig. 5.7. Efectos de El Niño sobre los sistemas de surgencia por transporte de Ekman. Nótese como ambos mecanismos (onda costera y teleconexión) reducen el ascenso del agua sub-superficial hacia la zona fótica.

Imágenes por satélite de los pigmentos del Fitoplancton en el Pacífico mexicano

El fitoplancton es responsable de más del 95% de la fotosíntesis marina por lo que se convierte en el elemento esencial en la productividad ecológica de los océanos. Este incide significativamente en los procesos de producción alimenticia marina y en la regulación del dióxido de carbono en el mar. Actualmente, con los grandes avances en el entendimiento de los procesos oceánicos en escala global, se ha llegado a la conclusión que los ciclos biogeoquímicos están fuertemente ligados a los procesos de variabilidad y cambio climático. Pero a pesar de reconocer la importancia de estos ciclos, hasta ahora la magnitud y la variabilidad de la fertilidad oceánica permanece pobremente determinada. Salvo pequeñas excepciones, casi nada se conoce acerca de la variabilidad interanual de la productividad primaria y la biomasa del fitoplancton para los 332 millones de km² del océano abierto.

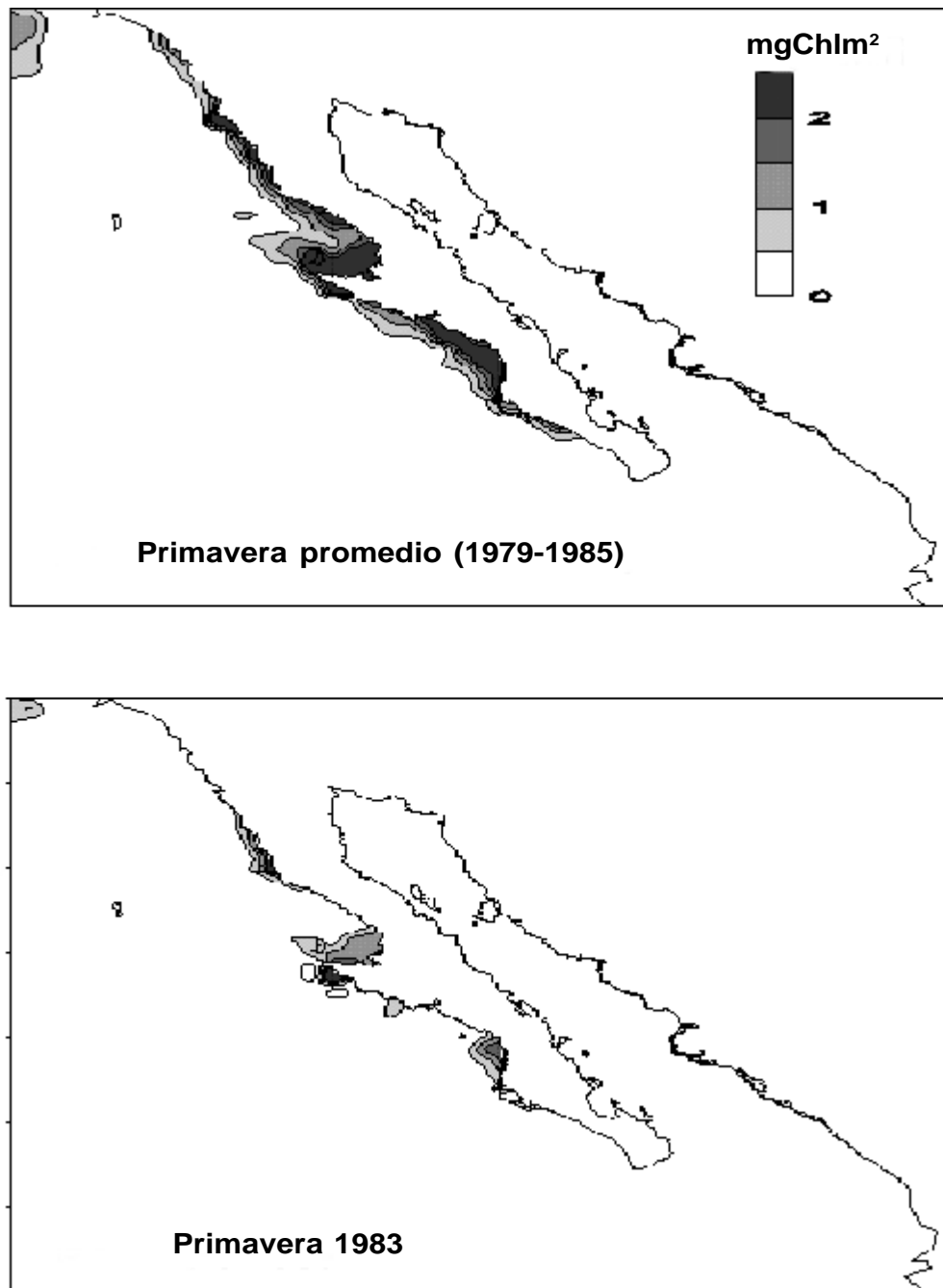


Fig. 5.8 Isolíneas de concentración de pigmentos fotosintéticos en la costa occidental de la península durante la primavera, promedio y durante El Niño 1982-83. La reducción de la biomasa fitoplanctónica media entre ambos casos es del 60%. Fuente de datos: Tran et. al (1993).

El uso de la información generada a través de sensores remotos (satélites) del color del océano, ha abierto las puertas para estudiar la variabilidad en la biomasa de los pigmentos fotosintéticos y aumentando el potencial para estimar la producción marina en escala global. Es también hoy en día, la única herramienta que ofrece a los oceanógrafos la capacidad de evaluar de manera sinóptica las distribuciones y variaciones del fitoplancton en regiones de alta variabilidad espacial y temporal (Gaxiola y Nájera 1996).

La información del océano generada por sensores remotos, ha permitido estudiar la variabilidad del mar y los pigmentos fotosintéticos que determinan la producción marina en escala global



El sensor *Coastal Zone Color Scanner* (CZCS, por sus siglas en inglés) voló a bordo del satélite *Nimbus-7* de la NASA, generando datos de pigmentos totales fotosintéticos del océano entre 1978 y 1986. Esta base de datos ha servido para desarrollar aplicaciones oceanográficas, como la cuantificación de la variabilidad biológica espacio-temporal, el análisis de la productividad oceánica y su papel en el ciclo global del carbono (Martín y Perry, 1994). En agosto de 1997 se puso en órbita un nuevo sensor: *SeaWiFS*, (*Sea-viewing Wide Field Scanner*) a bordo del satélite *OrbView-2* de *Orbital Imaging Corporation*, el cual fue diseñado con mejores características espectrales para determinar diversas formas bio-ópticas del océano.

Las áreas adyacentes a México que han sido estudiadas utilizando datos del CZCS son:

- i) El sistema de la Corriente de California (Peláez y McGowan, 1986);
- ii) El Golfo de México (Müller-Karger *et al.*, 1991; Biggs y Müller-Karger, 1994);
- iii) El Golfo de California (Santamaría del Angel, *et al.* 1994 a, b);
- iv) La zona del Pacífico adyacente a Baja California Sur,
- v) Cabo Corrientes y
- vi) El Golfo de Tehuantepec (Lluch *et al.*, 1997).

Con la información generada por el *SeaWiFS*, se abre toda una diversidad de oportunidades para avanzar el conocimiento sobre la magnitud de la variabilidad espacio-temporal de producción primaria y su relación con la fertilidad de las aguas patrimoniales mexicanas.

Con el propósito de conocer los impactos de El Niño 1997-1998 en la distribución espacio-temporal de los pigmentos totales fotosintéticos del fitoplancton marino en el Pacífico mexicano, se han descrito y comparado los impactos de la variabilidad climática, en la distribución de pigmentos fotosintéticos totales del fitoplancton como son la *Clorofila* y los *Feopigmentos*.

Para entender la relación Niño-productividad primaria se establecen las condiciones normales, a partir de una serie de imágenes estacionales promedio de pigmentos totales generadas con el sensor CZCS durante el periodo de 1978-1986, esta serie se compara con imágenes estacionales promedio, también de pigmentos generadas por el sensor *SeaWiFS*, que representan el ciclo estacional de pigmentos durante 1997-1998.

Aunque el sensor *SeaWiFS* provee datos que permiten la determinación de la concentración de *clorofila a*, los datos se procesan con un algoritmo de pigmentos tipo CZCS para facilitar la comparación. Tomándose en consideración la información generada por Gordon y Morel (1983), se dispone de referencias generales sobre la interpretación de imágenes por satélite para estudiar el color del océano.

Las imágenes de pigmentos totales tanto del CZCS como de *SeaWiFS*, fueron obtenidas de la NASA, específicamente del programa *Distributed Active Archive Center* (DAAC, por sus siglas en inglés). En el caso de CZCS se manejaron imágenes compuestas estacionales de los periodos comprendidos entre 1978 y 1986. Las imágenes del *SeaWiFS*, fueron esquemas compuestos mensuales entre octubre 1997 y octubre 1998, con las cuales se determinaron las imágenes compuestas de los promedios estacionales de los periodos otoño 1997, invierno 1998, primavera 1998, verano 1998, y finalmente otoño 1998. A pesar de realizarse validación de los datos, la comparación cuantitativa de estas series de imágenes debe tomarse con cierta cautela debido a las diferencias entre los sensores y el escalamiento de los mismos datos. Aun bajo tal consideración, se hacen evidentes las diferencias entre los patrones espaciales de distribución de biomasa del fitoplancton, durante periodos normales y años de Niño.

El área de estudio comprende las aguas entre 0-35° N de latitud y 85-130° W de longitud, la cual incluye al Pacífico mexicano (Fig. 5.9). En condiciones normales, esta región se encuentra influenciada por la Corriente de California, la corriente costera de Costa Rica, y el efecto de los vientos que producen surgencias costeras (ver Cap. 3).

Distribución espacial promedio (1978-1986) de los pigmentos totales (CZCS)

En general, la variabilidad espacial de los pigmentos totales de las aguas del Pacífico mexicano, se puede separar en grandes regiones:

- i) La región del Golfo de California, que se encuentra entre 24-32° N, donde generalmente se presentan los valores máximos de pigmentos totales ($> 0.6 \text{ mg m}^{-3}$) de todo el Pacífico mexicano.
- ii) La costa adyacente al norte de Cabo Corriente a 20°N, es otra región de alta fertilidad, la cual es un área reducida en comparación con el Golfo de California.



Fig. 5.9 Área donde se estudiaron los pigmentos fotosintéticos del Pacífico mexicano.

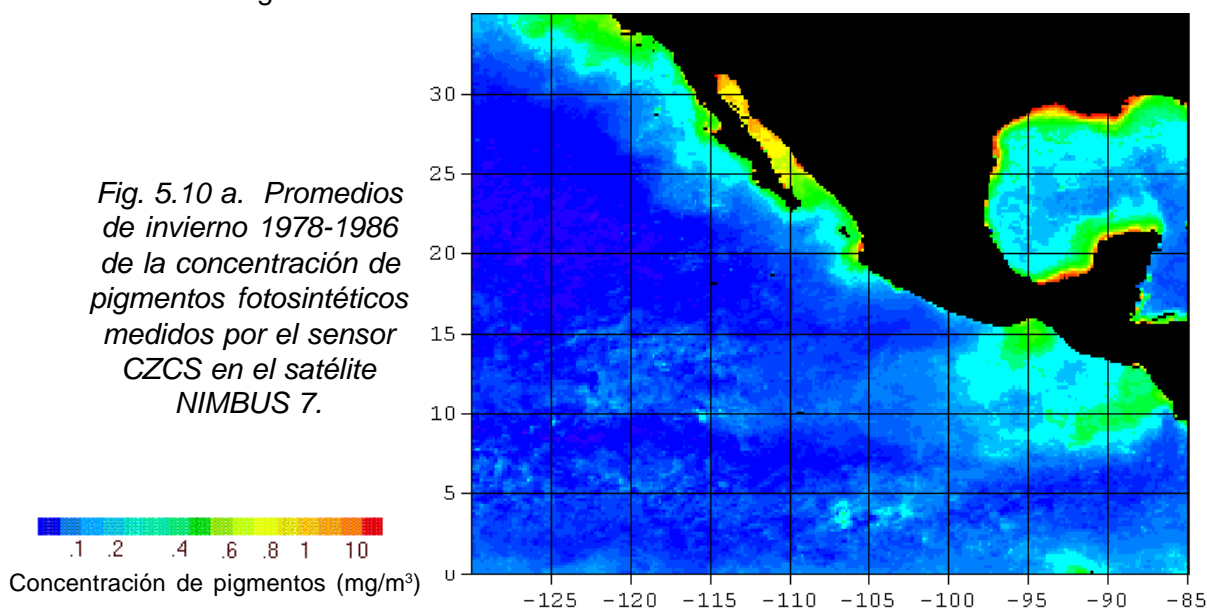
- iii) La región frente a las aguas adyacentes a la Península de Baja California, ubicada a los 23–32° N, la región del Golfo de Tehuantepec en los 15° N, que presentan concentraciones entre 0.3-0.6 mg m⁻³.
- iv) Existe entre las regiones de menor biomasa fitoplanctónica, una franja entre la región costera y la oceánica con valores entre 0.05-0.3 mg m⁻³.
- v) Finalmente la zona de mar adentro tiene una muy baja concentración de biomasa fitoplanctónica < 0.05 mg m⁻³ en las aguas propiamente oceánicas frente a México (Fig. 5.10 a-d).

Ciclo estacional (1978-1986) de los pigmentos totales (datos CZCS)

El ciclo estacional de concentración de pigmentos en el Pacífico mexicano (Fig. 5.10) muestra que en invierno los máximos de pigmentos totales son mayores a 0.6 mg m⁻³ y ocurren en casi toda la región del Golfo de California. Otra región de altas concentraciones la Bahía de Banderas, al norte de Cabo Corrientes y al sur de una región de concentraciones medianas frente a la costa de Nayarit. La alta concentración en Bahía Banderas se encuentra todo el año. Próxima a esta área se presentan altas concentraciones en las principales bahías adyacentes a la Península como son: Bahía de Todos los Santos, Bahía de San Quintín, Bahía de Sebastián Vizcaíno y Bahía Magdalena.

En la región del Golfo de Tehuantepec se observan concentraciones intermedias, entre 0.2 a 0.6 mg m^{-3} . Le sigue, al norte una franja relativamente ancha en la región adyacente a la Península de Baja California, adelgazándose entre Cabo San Lucas y Cabo Corrientes. En esta misma línea se encuentra un estrecho filamento a lo largo de las costas de Jalisco, Colima, Guerrero, que se ensancha en las aguas oceánicas frente al Golfo de Tehuantepec. Las aguas más pobres tienen concentración $<0.05 \text{ mg m}^{-3}$, y se localizan en la región oceánica frente a Michoacán. Esta última es casi igual durante todo el año.

En primavera (Fig. 5.10b), a diferencia del invierno, la región de alta concentración tiene más de 0.6 mg m^{-3} en el Golfo de California, y se encuentra comprendida en la región al norte de las grandes islas, es decir al norte de la latitud 28° N. Existe un nivel intermedio en el resto del Golfo, hasta llegar a la boca, con una región de menor fertilidad. Comparada con la estación de invierno, la península de Baja California presenta una franja de intensa concentración de pigmentos cerca de la costa, que disminuye rápidamente mar adentro. En el Golfo de Tehuantepec la concentración es menor en comparación con el invierno en la extensión mar abierto del golfo.



El verano (Fig. 5.10c), en comparación con el resto de las estaciones, presenta las concentraciones más bajas de los pigmentos. El Golfo de California tiene una concentración de entre 0.4 mg m^{-3} a más de 0.05 mg m^{-3} desde el sur hasta cerca de la Bahía de Guaymas. Frente a la Península de Baja California existe una franja de mediana concentración en pigmentos, desde Ensenada hasta Bahía Vizcaíno. Después se encuentra una región más ancha de concentraciones medianas, frente a Punta Baja, que se reducen hacia el final de la Península en Cabo San Lucas. En verano, el Golfo de Tehuantepec presenta una distribución de pigmentos en parches, que se encuentra puntualmente localizado al sur del Golfo.

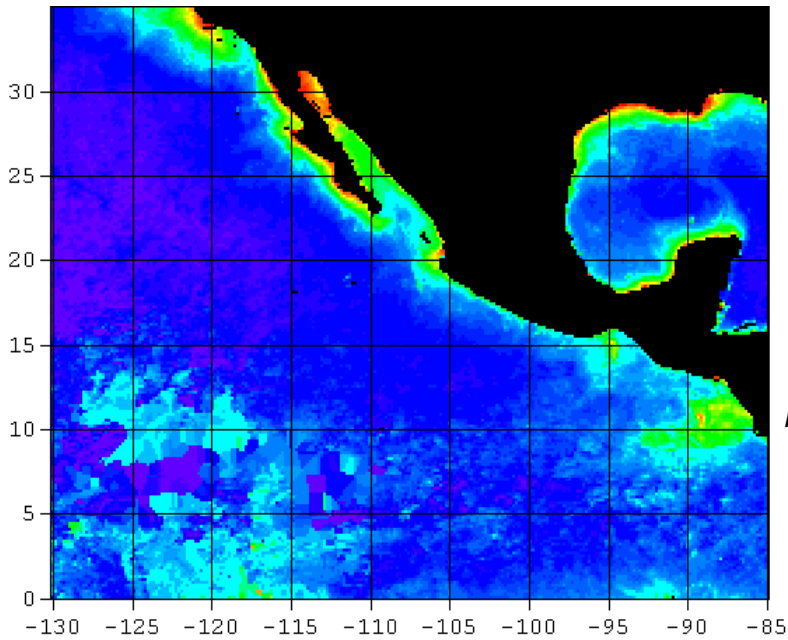


Fig. 5.10b. Promedios de primavera 1978-1986 de la concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por el sensor CZCS en el satélite NIMBUS 7.

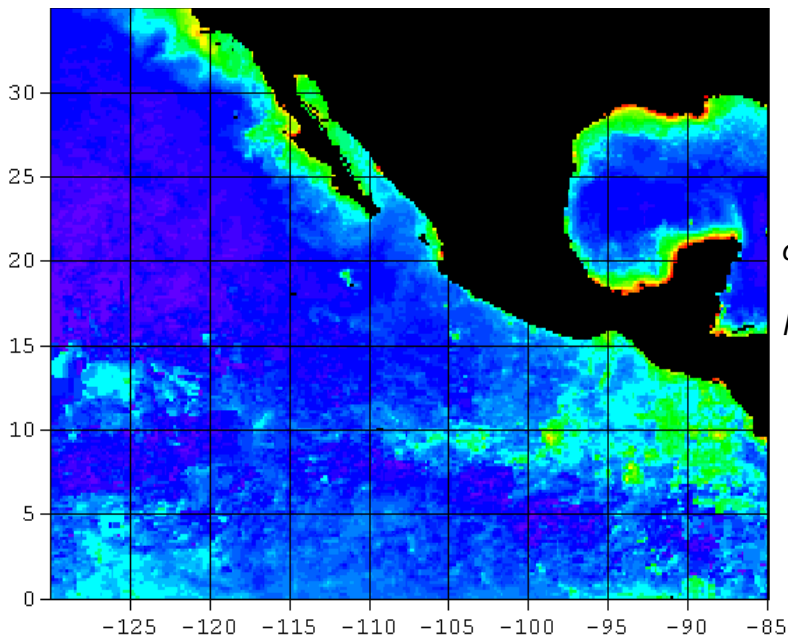
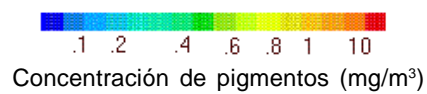
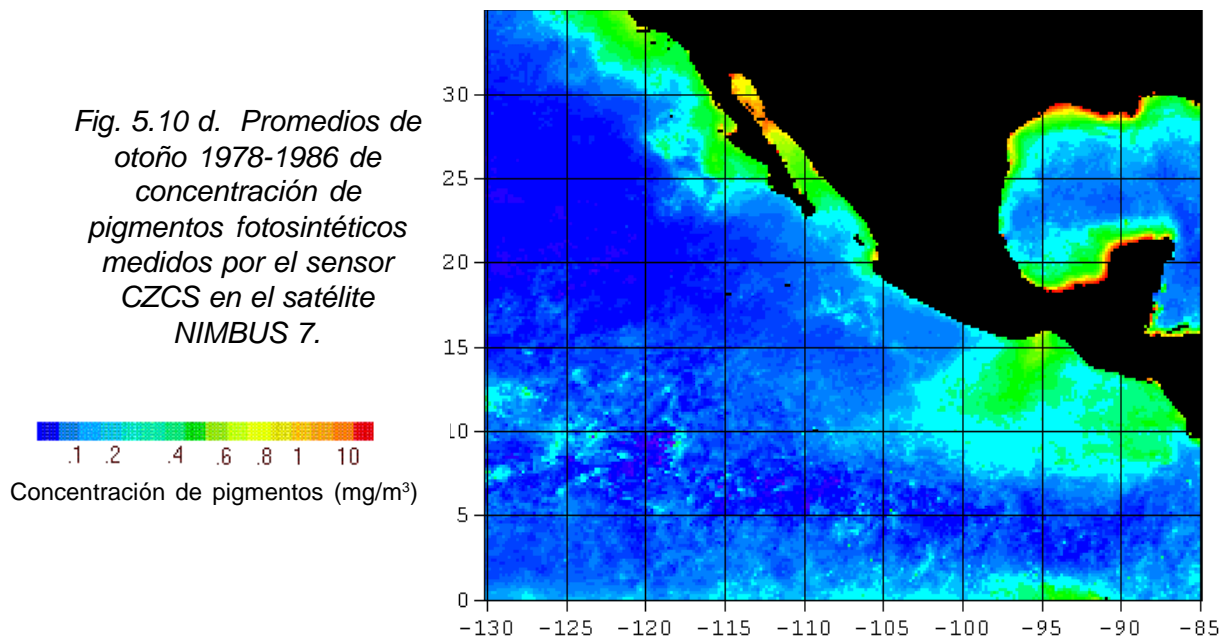


Fig. 5.10c. Promedios de verano 1978-1986 de concentración de pigmentos fotosintéticos medidos por el sensor CZCS en el satélite NIMBUS 7.



Durante el otoño (Fig. 5.10d), se observa un incremento en áreas con concentraciones medias de pigmentos entre 0.3 y 0.8 mg m⁻³. La alta concentración de biomasa del Golfo de California, se encuentran desde Alto Golfo hasta la zona central, al norte del paralelo 28° N. Existe una banda muy estrecha de baja concentración que une al Golfo de California con el de Tehuantepec, donde se localiza la más amplia distribución de pigmentos en concentraciones medianas durante todo el año. En este periodo se define una gran región, que incluye el Golfo de Papagayo y el Domo de Costa Rica. Las aguas adyacentes a la Península, presentan nuevamente regiones con gran cantidad de pigmentos cercanos a la costa, desde Ensenada hasta Bahía Vizcaíno, y una gran región de concentración media, desde la frontera con Estados Unidos hasta Bahía Magdalena. Por último, las aguas pobres del océano se ubican lejos de la región costera. Es así como se cierra el ciclo anual, observándose la máxima fertilidad del año durante el otoño, en función de la cantidad de áreas y las mínimas concentraciones durante el verano.



Distribución de pigmentos durante El Niño 1997-1998 (datos de SeaWiFS)

Al comparar el ciclo estacional de la distribución de pigmentos totales desde invierno 1997-1998 hasta otoño 1998, durante la máxima influencia del evento El Niño 1997-1998, con la referencia anteriormente descrita (1978-1986), se encuentra una fuerte disminución de los pigmentos en todas las regiones descritas, a lo largo del Pacífico mexicano (Fig. 5.11 a-e).

En el otoño de 1997 (Fig. 5.11a) se aprecia un frente de pigmentos extendiéndose al suroeste de la región de Ensenada. La región de Isla Socorro, cuenta con una concentración baja de pigmentos, y en casi todo el Golfo de California se detecta una mediana concentración. Finalmente, la zona de 10°N hacia el Golfo de Tehuantepec presenta una franja de pigmentos muy reducida.

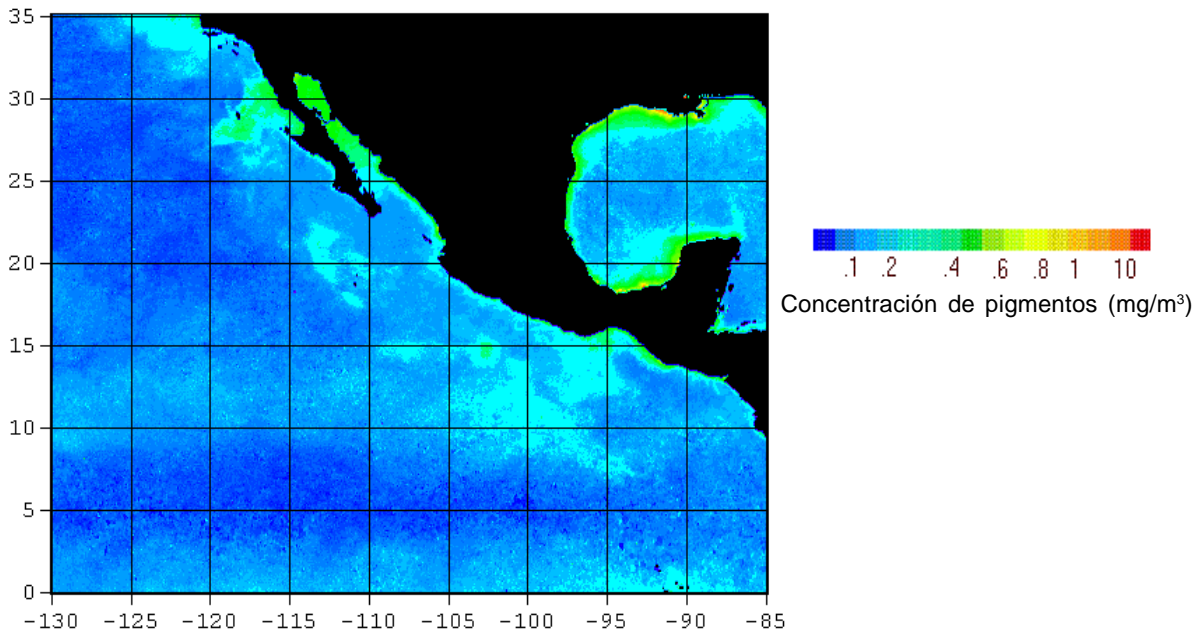


Fig. 5.11a . Promedio de otoño 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

En invierno de 1997-98 (Fig. 5.11b), los valores medianos de pigmentos se presentaron en la costa adyacente a la Península, en una extensión mayor a la del otoño promedio. El Golfo de California, tuvo una lengüeta de pigmentos angosta que se extendió al sur hasta Bahía Banderas. El Golfo de Tehuantepec tuvo una reducida concentración de pigmentos, aunque persistió la presencia de dos franjas bajas, sobre 10° N y el Ecuador. La distribución de pigmentos en el invierno fue muy similar a la observada con CZCS, pero con concentraciones menores y frentes menos marcados.

Las condiciones de primavera durante 1998 (Fig. 5.11c) fueron similares a las de invierno. En particular, en el Golfo de California se mantuvieron los niveles de concentración de pigmentos. La presencia de estas concentraciones en las aguas costeras adyacentes a la Península, sufrieron una retracción hacia la costa en contraste con el invierno. La alta concentración en la banda costera entre la boca del Golfo y el sur de Cabo Corrientes, también se incrementó ligeramente. Finalmente el Golfo de Tehuantepec presentó una región de mayor concentración en comparación con las condiciones de invierno.

Fig. 5.11 b . Promedio de invierno 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

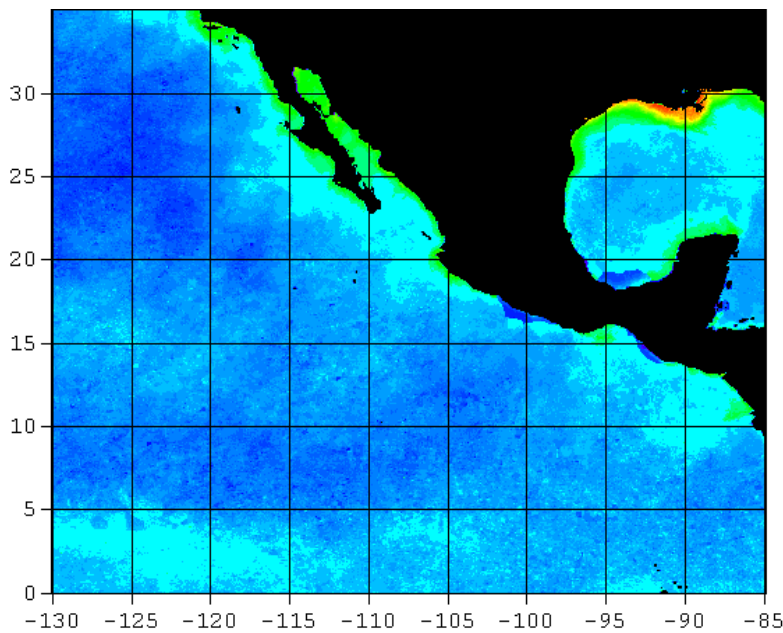
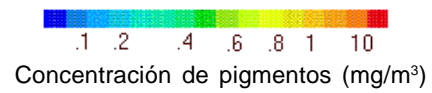
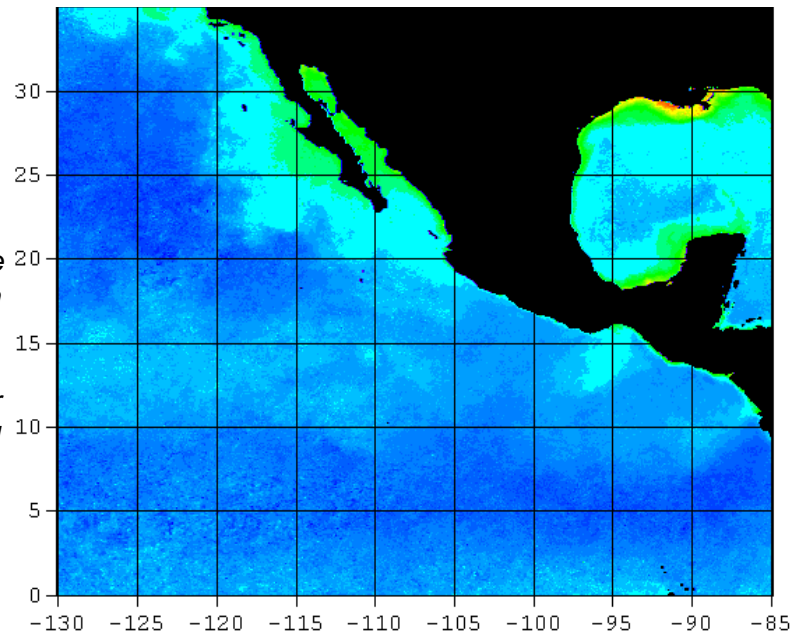
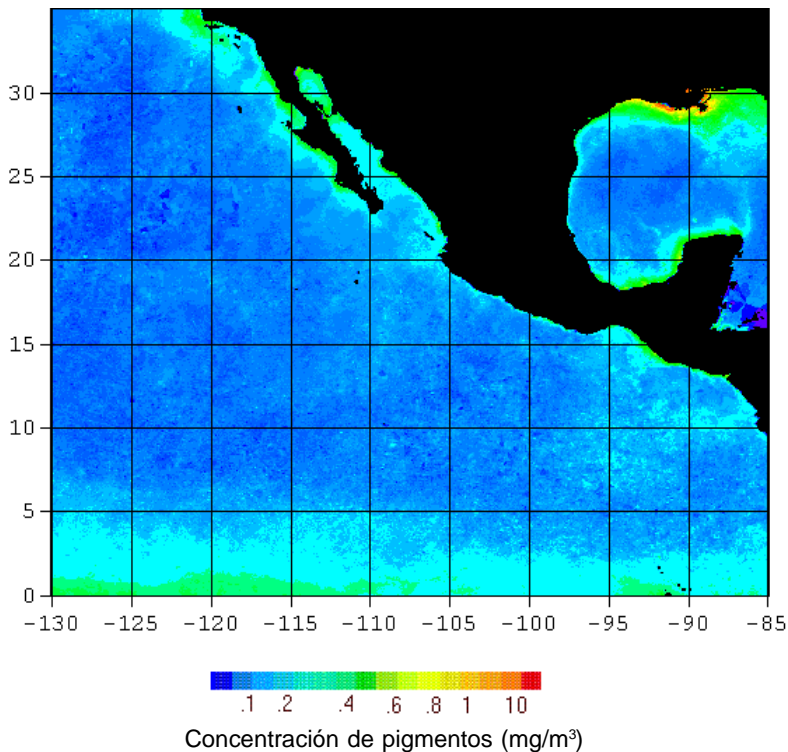


Fig. 5.11 c . Promedio de primavera 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

Durante el verano de 1998 (Fig. 5.11d) se observaron las mínimas concentraciones a lo largo de todo el Pacífico mexicano. Sólo la parte al norte de las grandes islas en el interior del Golfo de California, presentó una franja costera a lo largo de toda la península y una angosta que se extendió desde Mazatlán hasta Cabo Corrientes, con una concentración de alrededor de 0.4 mg m^{-3} . La formación de la franja angosta de concentración total de 0.2 mg m^{-3} o menos, se vió a lo largo de toda la península y en el interior del Golfo, al sur de las Grandes Islas hacia Cabo Corrientes, asociada a un filamento costero que conectó al Golfo de Tehuantepec. Las aguas pobres en pigmentos, con menos de 0.05 mg m^{-3} , se encontraron en toda la región costera del Pacífico mexicano.



Durante otoño de 1998 (Fig. 5.11e), la región al norte de 28° N mostró un aumento en los pigmentos en contraste con las condiciones de verano. Asimismo, se observó una franja de mayor concentración de pigmentos que en la región costera de la latitud 26° N en el Golfo de Tehuantepec. El Golfo mostró las mayores concentraciones de pigmentos durante todo este ciclo anual, indicando probablemente una recuperación hacia las condiciones normales. Sin embargo, no se pudieron apreciar las dos grandes extensiones de altas concentraciones que se observaron en las imágenes del CZCS. Finalmente, las aguas costeras adyacentes a la Península de Baja California, tuvieron una disminución en la concentración de pigmentos.

En general, se reconoce que los eventos El Niño reducen significativamente los pigmentos fotosintéticos totales en la mayor parte de las regiones costeras del Pacífico Oriental, desde Perú hasta Alaska (Barber y Chávez, 1983; Gaxiola Castro y Nájera Martínez, 1996), disminuyendo por consiguiente la fertilidad de los ecosistemas marinos. Esta reducción de fertilidad se presenta principalmente, por el debilitamien-

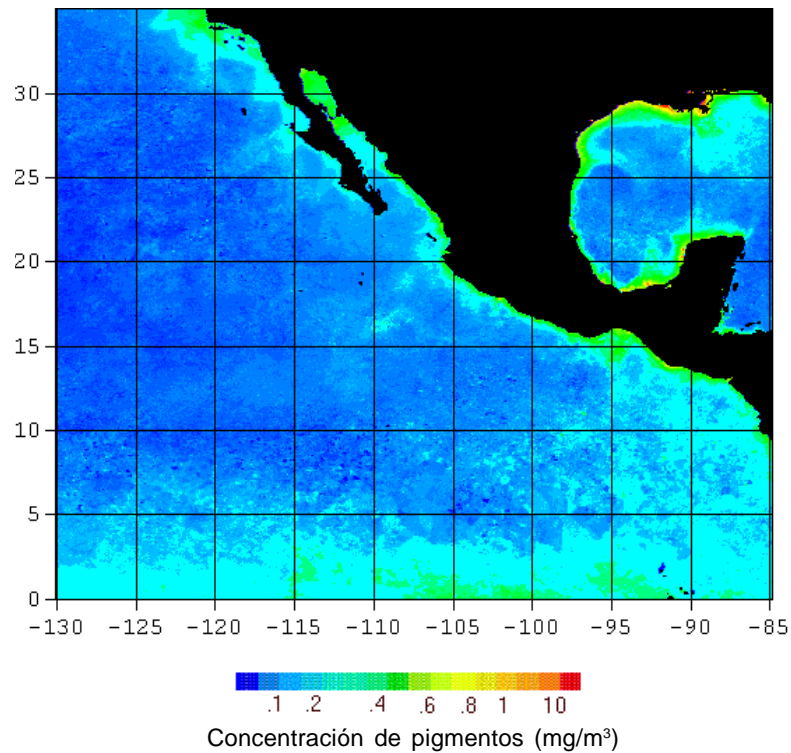


Fig. 5.11 e. Promedios de otoño 1997-1998 de la concentración de pigmentos fotosintéticos (tipo CZCS) medidos por el sensor SeaWiFS en el satélite OrbView-2.

to de los sistemas de surgencias y el hundimiento de la termoclina; situaciones que reducen el aporte de nutrientes a la zona eufótica, causando una disminución en la productividad biológica del océano (Barber *et al.*, 1985).

Durante años de Niño disminuye la productividad primaria del Pacífico oriental. McGowan (1983) indicó que la producción primaria y secundaria en la Corriente de California es alta cuando el transporte de agua fría de baja salinidad es del norte, y baja cuando el transporte es débil; así los períodos de calentamiento y baja producción en la Corriente de California tienden a coincidir con los eventos de El Niño en el Pacífico Ecuatorial Tropical.

Los eventos El Niño tienen efectos marcados en el Golfo de California. Se ha documentado una fuerte invasión al Golfo de las masas de agua del Pacífico Tropical Oriental y del agua subtropical subsuperficial durante el evento El Niño de 1957, en comparación con 1974, un año normal. Durante 1985 se concluyó, con base a muestras discretas, que los eventos de El Niño reducen la biomasa del fitoplancton al sur del Golfo de California, donde las condiciones hidrográficas son similares a las de las aguas oceánicas del Pacífico. Valdéz Holguín y Lara Lara (1987) reportaron los efectos de El Niño 1982-1983 en productividad primaria del Golfo de California, confirmando que la zona mas afectada fue el sur.

Por el contrario, la productividad en la región central y el alto golfo no fue afectada, ya que el proceso de afloramiento y surgencia en la mezcla vertical y el efecto de las mareas, continuaron aportando los nutrientes requeridos para el proceso de fotosíntesis.

Durante el evento de El Niño 1982-1983, las especies tropicales marinas se desplazaron hacia el norte del Pacífico mexicano.



Los análisis con imágenes mensuales de los pigmentos totales generadas por el CZCS, mostraron que durante 1978-1986, la variabilidad de la biomasa de fitoplancton en el Golfo de California no estuvo dominada por la presencia de El Niño. El intenso proceso de afloramiento y la surgencia en el interior del golfo enmascararon los efectos del evento 1982-1983, el cual en otras regiones del Pacífico provocó impactos en la fertilidad de ecosistemas costeros.

El Pacífico Oriental Tropical, en comparación con el resto del Océano Pacífico presenta una intensa actividad biológica, debido a: una termoclina somera, los eventos de surgencia, afloramiento y mezcla vertical, que permiten una aportación significativa de nutrientes de aguas profundas a la zona eufótica (Vinogradov, 1981; Picaut, 1985). En el Golfo de Tehuantepec los vientos se combinan con la dinámica oceanográfica para generar dos condiciones ambientales propicias de alta productividad: la primera, en verano cuando dominan las condiciones tropicales por la corriente costera de Costa Rica, y la segunda en invierno, cuando esta misma corriente se debilita.

**Los vientos
invernales en el Golfo
de Tehuantepec se
combinan con la dinámica del océano para
producir afloramientos
y alta productividad
marina**



El Golfo de Tehuantepec ha sido descrito como una región de alta productividad primaria, principalmente por efecto de los Nortes, los cuales actúan como bombas de nutrientes y de carbono fitoplanctónico, enriqueciendo parte de las aguas oceánicas del Pacífico Oriental Tropical (Robles Jarero y Lara Lara, 1993). Lluch y colaboradores han descrito la variación espacio-temporal de los pigmentos fotosintéticos del Golfo de Tehuantepec y las áreas adyacentes, utilizando la serie de datos del CZCS, reportando que en 1997:

- i) Las surgencias ocurrieron entre octubre y abril.
- ii) En el Domo de Costa Rica la surgencia se presentó en el verano, y
- iii) Los efectos episódicos de la mezcla por tormentas tropicales se dieron de julio a octubre.

En concordancia con estos trabajos, los resultados de estudio de distribución y abundancia de la clorofila durante 1997 y 1998, muestran un decremento completo en las concentraciones de pigmentos, así como un fuerte debilitamiento del ciclo temporal, en comparación con los reportes anteriormente descritos.

Otros de los cambios oceanográficos importantes observados durante un evento de El Niño son: la elevación de la temperatura superficial del océano, la elevación del nivel del mar, la intensificación de las corrientes costeras hacia los polos, la intensificación de los patrones de precipitación o, en caso contrario, de sequía afectando la estabilidad oceanográfica, la invasión de organismos tropicales y la mortalidad masiva de varios organismos locales.



Entre los fenómenos observados en años Niño está el aumento en la mortalidad de organismos locales en el Pacífico Mexicano

Los impactos de El Niño 1997-1998 en la actividad pesquera mexicana comienzan a ser cuantificados (ver Cap. 6). En las costas adyacentes a la Península de Baja California, se reportan reducciones importantes en la pesca del erizo, langosta, abulón, caracol, pepino de mar y el camarón. La producción en los bancos de macroalgas se redujo un 70%. Se estima que la producción pesquera en la región disminuyó alrededor de 30%, debido a las fuertes reducciones en la fertilidad del fitoplancton y por lo tanto en toda la cadena trófica.

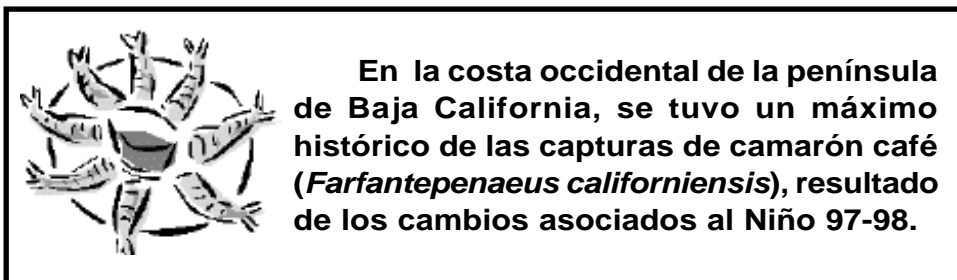
Las reducciones de concentración de pigmentos en los ciclos estacionales se presentan, aun en épocas de no Niño.

Consecuencias inmediatas

Los mecanismos asociados a El Niño resultan directamente en un calentamiento anómalo de la capa superficial a todo lo largo del Pacífico mexicano, por una modificación en los patrones de circulación de los vientos dominantes de la zona. Tales cambios provocaron una disminución de los nutrientes disponibles para la producción primaria en el océano. Estas alteraciones ambientales tienen efectos inmediatos sobre los recursos pesqueros, directos y evidentes en ocasiones, pero en general, complejos y poco entendidos.

Las alteraciones inmediatas, se presentan principalmente por cambios en la distribución de los organismos. La explotación pesquera hasta ahora se ha ejercido sobre especies con capacidad de desplazamiento que, ante condiciones ambientales desfavorables, modifican su distribución vertical y horizontal, abandonando parcial o totalmente las áreas de pesca tradicionales. Algunas veces estos cambios han resultado en incrementos de la disponibilidad de algunos recursos no accesibles en determinadas zonas bajo condiciones normales.

Un caso notable se observó en la costa occidental de la península de Baja California, donde se dio un máximo histórico de las capturas de camarón, que en esta región consisten básicamente de camarón café (*Farfantepenaeus californiensis*). En Baja California Sur se alcanzaron 1,900 toneladas en 1997, en contraste con las 697 toneladas capturadas el año anterior. En tanto la captura en Baja California registró un incremento similar, al pasar de 397 toneladas en 1996 a 547 en 1997 y 900 en 1998. Si bien la costa occidental de la península es una área de pesca tradicional del crustáceo, durante El Niño la captura fue muy superior a la acostumbrada en esta región que constituye el límite boreal de distribución de la especie. Esto permitió que las pesquerías de los estados de la península incrementaran sus ingresos por este concepto, en más de nueve millones de dólares durante 1997 y 1998 (Tabla 5.1).



Otro ejemplo de cambios en la distribución a lo largo de la costa occidental de la península se registró para el caso de la sardina (*Sardinops sagax*). Esta pesquería, en la península había presentado patrones de captura normales durante el año de 1996, situación que se modificó para 1997, en presencia de El Niño, cuando se registró un incremento en la captura para las áreas norteñas de Baja California, al duplicarse la captura media, de poco más de 50 mil toneladas en 1996, al doble en

1998. En contraste, las capturas de Baja California Sur cayeron alrededor del 50% entre los años de 1997 y 1998. En el caso de esta actividad, el balance total resultó positivo en alrededor de 65 mil toneladas que, a precios de playa de 1997, significaron casi dos millones de dólares adicionales durante El Niño 1997-98 (Tabla 5.1)

No siempre los cambios en la distribución de los organismos, resultan positivos. En general, se han registrado pérdidas en los diferentes espacios y rubros de la actividad. Esta situación se debe principalmente al desconocimiento casi total que sobre la ubicación real del recurso, ya que la mayoría de las veces se actúa siguiendo el conocimiento empírico del que se dispone. Este problema se ve acentuado en años de El Niño, cuando se modifican las condiciones de pesca normales.

Una actividad pesquera, que ejemplifica muy bien esta situación es la captura de sardinas del Golfo de California, que es la más importante del país por los volúmenes de extracción. La especie principal es la sardina monterrey (*Sardinops sagax*), que es un organismo de ambientes templados. En años normales, la pesquería de sardina monterrey ocurre con estrategias de captura donde se aprovechaba su migración al sur para la reproducción, desde la región de las Grandes Islas hasta las costas de Sonora y Sinaloa, durante la temporada de surgencias. Pero en presencia de El Niño, este movimiento se reduce significativamente, permaneciendo la mayor parte de la población en la región de las Grandes Islas, donde la temperatura se mantiene comparativamente fría gracias a condiciones topográficas locales (Badán *et al.* 1985, Lavín *et al.* 1997).

En contraste, la sardina crinuda (*Ophistonema spp*), especie de ambiente tropical, extiende su distribución hacia el norte incrementando su presencia en las zonas de pesca, lo que se refleja en las capturas y en los rendimientos (Lluch-Belda *et al.* 1986, Ruiz-Luna 1995). A pesar de su relativa disponibilidad de captura, esta especie ha presentado problemas en su comercialización debido a la dificultad para ser enlatada.

Ante la recurrencia de El Niño, la industria ha venido flexibilizándose a fin de utilizar especies no tan comerciales como la crinuda, con el fin de compensar de esta forma los cambios en la disponibilidad de cualquiera de sus especies objeto o más rentables. Por ello, la captura de sardina crinura en Sinaloa, aumentó de 36 mil toneladas en 1996, a 68 mil en 1997 y a 47 mil en 1998. Estos incrementos son el resultado de una mayor disponibilidad del recurso para la captura y sobre todo, de la aceptación de esta sardina por parte de la industria empacadora. Desafortunadamente estos incrementos no alcanzaron a compensar la importante caída de la producción en Sonora, debido a la baja en las capturas de sardina monterrey, que se cuantificaron en casi 300 mil toneladas en 1996, cayendo en 1997 a 257 mil y a 174 mil para 1998. En el balance global de volúmenes obtenidos en 1996, la pesquería de sardina monterrey del Golfo de California dejó de capturar unas 122 mil toneladas de sardina en 1997 y 1998, equivalentes a unos 5.6 millones de dólares (Tabla 5.1).

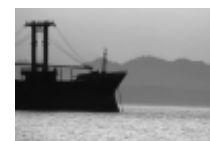
Tabla 5.1 Variaciones de la producción de las principales pesquerías del Pacífico mexicano, 1996-98 (peso vivo)

Especie/zona	1996 Toneladas	1997 Toneladas	1998 Toneladas	Variación Captura (%) 1997-1998	Variación en dólares (US\$) 1997-1998	Variación Captura (%) 1997-1998	Variación en dólares (US\$) 1997-1998
Calamar							
Pacífico	107,966	120,877	26,611	12	\$2,530,556	-75	-\$15,945,580
B.C.	17	7	101	-59	-\$1,960	494	\$16,464
B.C.S.	69,314	82,031	19,781	18	\$2,492,532	-71	-\$9,708,468
Sonora	33,976	31,238	2,268	-8	-\$536,648	-93	-\$6,214,768
Sinaloa	3,029	4,075	2,523	35	\$205,016	-17	-\$99,176
Atún y similares							
Pacífico	145,728	165,233	134,787	13	\$12,912,310	-8	-\$7,242,942
B.C.	47,099	44,462	31,805	-6	-\$1,745,694	-32	-\$10,124,628
B.C.S.	17,975	14,735	11,928	-18	-\$2,144,980	-34	-\$4,003,114
Sinaloa	67,427	79,217	62,138	17	\$7,804,980	-8	-\$3,501,318
Sardina							
Pacífico	429,123	459,273	341,717	7	\$1,386,900	-20	-\$4,020,676
B.C.	50,668	86,214	96,046	70	\$1,635,116	90	\$2,087,388
B.C.S.	44,361	48,445	24,080	9	\$187,864	-46	-\$932,926
Sonora	297,844	256,688	174,129	-14	-\$1,893,176	-42	-\$5,690,890
Sinaloa	36,220	67,916	47,448	88	\$1,458,016	31	\$516,488
Camarón							
Pacífico	57,430	66,505	66,243	16	\$45,302,400	15	\$43,994,496
B.C.	397	547	900	38	\$748,800	127	\$2,510,976
B.C.S.	697	1,904	677	173	\$6,025,344	-3	-\$99,840
Sonora	15,231	19,504	18,560	28	\$21,330,816	22	\$16,618,368
Sinaloa	25,520	30,821	31,924	21	\$26,462,592	25	\$31,968,768
Total Pacífico	740,247	811,888	569,358	10	\$62,132,166	-23	\$16,785,298
(*) : A precios en playa de 1997 y dólares (U.S.\$). Fuente: SEMARNAP, Subsecretaría de Pesca. Indicadores de la producción Pesquera							

Otra pesquería que ha registrado pérdidas a causa de El Niño es la de atún, la segunda en importancia por los volúmenes. La captura de las diferentes especies que integran este recurso se realiza en casi todo el Pacífico mexicano, desde las áreas netamente tropicales del Golfo de Tehuantepec, hasta las costas templadas del occidente de Baja California. Considerando toda la extensión del Pacífico mexicano, El Niño de 1997-98 no parece haber tenido efectos mayores sobre la producción atunera en relación a 1996, cuando se capturaron casi 146 mil toneladas. Fue incluso observado un incremento moderado del 13% en 1997, seguido de un decremento menor al 8% en 1998 en los volúmenes de captura. Con estos datos se infiere que el balance es positivo en más de ocho mil toneladas, equivalentes a 5.7 millones de dólares. No obstante, debe considerarse que estos incrementos globales no significan ganancias para todos los que participan de la actividad. En este caso, el aumento obedeció a incrementos de la disponibilidad del recurso en las zonas de pesca del Pacífico tropical mexicano. En contraste, esta disponibilidad disminuyó notoriamente en algunas regiones, en especial a lo largo de la costa occidental de la península de Baja California. El desplazamiento de los organismos hacia latitudes más norteñas (Karinen et al. 1985) parece ser la explicación de reducciones que llegaron a alcanzar más del 30% de la captura de ambos estados, lo que les significó a la región dejar de ingresar alrededor de 20 millones de dólares.

Los casos del atún y la sardina son los de una flota mayor, con capacidad para movilizarse ante los cambios de distribución de sus recursos objeto. Para las pesquerías artesanales, que se realizan en embarcaciones menores con poca autonomía, los efectos de los cambios de distribución suelen ser más drásticos. En casos extremos, pueden implicar incluso la suspensión temporal de la actividad pesquera, particularmente cuando por cualquier razón no existe capacidad para reubicar el esfuerzo de pesca. Un ejemplo de este problema se tiene para el periodo 1997-98, en los campos tiburoneros de la costa occidental de Baja California Sur, donde el tiburón disminuyó su presencia en la zona hasta el punto de hacer incosteable la actividad, ocasionando el cierre temporal de algunos campos pesqueros.

Para los pescadores con embarcaciones pequeñas, el desplazamiento del recurso pesquero por causa de El Niño, puede significar la paralización total de sus actividades.



Otra especie que experimentó cambios radicales en su distribución fue el calamar (*Dosidiscus gigas*), que desde los setenta es explotado en el Golfo de California aunque con marcadas variaciones en la captura (Klett 1981; Ehrhardt et al. 1982, 1986; Morales-Azpeita et al. 1997). El último periodo de alta producción se observó en los inicios de 1992, con volúmenes que alcanzaron más de

120 mil toneladas, equivalentes a unos 23 millones de dólares en 1997. La elevada disponibilidad en estos años motivó el desarrollo de toda una infraestructura alrededor del recurso, que llegó a significar unos 4,000 empleos directos entre extracción y procesamiento. Pero durante 1998, en presencia de El Niño se dio un cambio radical en la distribución de la población, que resultó en capturas prácticamente nulas dentro del Golfo, ocasionando la pérdida de unos 3,200 empleos directos. En contraste, empezaron a detectarse concentraciones elevadas en la costa occidental de la península de Baja California, donde llegaron a capturarse poco más de 20,000 toneladas. Pese a ello, el balance inmediato arroja una reducción de la producción nacional del orden del 75% durante 1998, lo que supone una pérdida cercana a los 16 millones de dólares (Tabla 5.1).

Finalmente, cabe destacar un caso especial de efectos de El Niño 1997-98 en la distribución de recursos con alta capacidad de desplazamiento, que corresponde a la pesca deportiva en el sur de la península de Baja California y en áreas del Golfo de California, como las aledañas a Mazatlán y Puerto Vallarta, eje de la importante actividad turística. Entre 1997 y 1998 la disponibilidad de las especies de pico (marlines) fue baja en la zona, mientras que se incrementó notablemente en el sur de California. Esta situación se dio a conocer rápidamente en diversos medios de comunicación, por lo que el atractivo de los destinos turísticos mexicanos disminuyó en la medida en la que las expectativas de buena pesca se orientaron hacia destinos en Estados Unidos. Aunque no existen estimados a este respecto, puede afirmarse que la afluencia de visitantes a la región, muchos de ellos residentes en California, disminuyó en forma significativa.



La pesca deportiva en Mazatlán y Puerto Vallarta disminuyó durante El Niño 1997-98, provocando un descenso en la actividad turística interesada en esta actividad.

Por otro lado, son los organismos sésiles o de baja movilidad los que presentan una mayor vulnerabilidad a los cambios físicos que origina la presencia de El Niño. Ante la imposibilidad para modificar su distribución, los organismos pueden verse sometidos a condiciones de temperatura, salinidad y abundancia de alimentos que pongan en riesgo su supervivencia, ya sea por encontrarse en ambientes poco favorables o en los márgenes de sus límites de tolerancia. Los cambios ambientales resultan en estrés fisiológico, que a su vez puede determinar pérdida de peso, mayor susceptibilidad a las enfermedades y en casos extremos, incrementos importantes en la mortalidad natural.

Para el caso de El Niño 1997-98, los organismos de comunidades bentónicas como las algas, fueron especialmente afectados, teniendo el ejemplo de los sargazos gigantes (*Macrocystis pirifera*), en la región central de la costa occidental de la península de Baja California. Esta población es de gran relevancia, no sólo desde el punto de vista ecológico, sino pesquero, ya que alberga especies de muy elevado valor comercial, como la langosta y el abulón, que son la base casi exclusiva del desarrollo de muchas comunidades en la entidad. Los efectos de El Niño fueron evidentes desde mayo de 1997, cuando se inició un rápido calentamiento del mar, ubicando la temperatura 2 a 3°C por arriba de la normalmente observada en esta región.

En 1998, el calentamiento del mar frente a Baja California provocó la disminución de la población de sargazos, que alberga especies de muy elevado valor comercial, como la langosta y el abulón, base del desarrollo económico de la región.



Los cambios en la temperatura tuvieron efectos casi inmediatos en diversos recursos marinos, entre los que destacó la pérdida casi total de las poblaciones de macroalgas: *Gelidium robustum*, *Macrocystis pirifera* y *Eisenia arborea* principalmente. Tal pérdida, se extendió desde el límite sur en Bahía Asunción, B.C.S, hasta las inmediaciones de Ensenada, B.C. Las dos primeras algas son cosechadas y exportadas para la elaboración de diversos productos derivados de los alginatos. En 1998 la producción de estos organismos alcanzó las 5,673 toneladas, representando apenas el 17% de lo cosechado en 1997. Hay que hacer notar que la cosecha inicia en primavera, por lo que la mayor parte de ella se había realizado ya antes de los primeros efectos de El Niño en el área en 1997. El problema resultó en dejar de exportar alrededor de 700 mil dólares en 1998 (Tabla 5.2). Según diversos autores, los daños que presentan los mantos de macroalgas durante El Niño son efecto de factores como: las elevadas temperaturas, la baja concentración de los nutrientes disponibles y el efecto mecánico del oleaje sobre las algas fisiológicamente debilitadas, particularmente durante tormentas y ciclones (Tegner y Dayton, 1987). En todo caso, los efectos de El Niño sobre estas macroalgas son tales, que incluso se les ha señalado como una posible limitante para el aprovechamiento económico de estos organismos (Casas-Valdez *et al.*, 1996).

El principal recurso pesquero asociado a las macroalgas es el abulón (*Haliotis spp.*), el cual depende directamente de la disponibilidad y calidad de las algas, su dieta principal. Por esta razón, los efectos de El Niño sobre dicha comunidad vegetal se han señalado como una causa de deterioro para las poblaciones de abulón, lo que representa una limitante para su aprovechamiento (León-Carballo y Muciño-Díaz, 1995). La escasez de sargazo en 1997-98 tuvo gran impacto sobre los bivalvos. Las observaciones directas evidenciaron animales adelgazados con un músculo reducido, lo que se tradujo en una baja producción, debido a la mala calidad del producto, los bajos precios y las pérdidas económicas para los pescadores. Con la mala salud de la población de abulón, se observó también una alta mortandad natural, debida a una mayor frecuencia de enfermedades como el síndrome de deshidratación (Altstatt *et al.*, 1996). Ante este panorama, podemos observar que aun y cuando no hay estimaciones definidas sobre la reducción en la producción del abulón, se puede afirmar que su baja producción ha contribuido al decremento en las exportaciones nacionales de crustáceos y moluscos enlatados. La producción estimada en más de 22 mil toneladas en 1996, se redujo a menos de 4 mil en 1998, por lo que se dejaron de generar unos 34 millones de dólares durante 1997 y 1998 (Tabla 5.2).

Otro recurso pesquero directamente asociado a los mantos de algas es la langosta (*Panulirus interruptus*). Esta comunidad, registró también un retroceso significativo en su producción, cuantificándose en 2,037 toneladas para 1996 se redujo a 1,184 toneladas en 1998, con una reducción en las exportaciones de más de 24 millones de dólares en 1997 y 1998 (Tabla 5.2). Los problemas que este rubro pesquero ha enfrentado son: las reducciones en la accesibilidad y disponibilidad del recurso, derivadas de una migración hacia el fondo de los organismos. Adicionalmente, la langosta y el abulón en el mismo periodo estuvieron sujetos a una mayor mortandad natural vía predación, al observarse un incremento importante del pulpo en la región, uno de los principales predadores tanto de abulones juveniles como de langostas. Este predador es capturado generalmente en pequeñas cantidades, las cuales se han destinado al consumo doméstico. Esta situación cambió durante El Niño, cuando al aumentar la población de pulpo, algunas cooperativas lo explotaron comercialmente, obteniendo capturas de varias toneladas.

A pesar de que para el mayor número de poblaciones asociadas a los mantos de macroalgas presentaron pérdidas en sus volúmenes poblacionales, existen casos en donde las poblaciones aumentaron. Por ejemplo, las comunidades asociadas a *Macrocystis* parecen encontrar mejores condiciones para su desarrollo durante El Niño, teniendo el caso más importante en el camarón. A nivel mundial, estas pesquerías tropicales suelen registrar incrementos en las capturas y en los rendimientos. Para el caso del Pacífico, esta pesquería es la más importante del país en términos de generación de divisas, por lo que las variaciones que conlleva el evento El Niño tienen un efecto determinante en el valor de la producción pesquera nacional.

La pesquería de camarón se basa en la explotación de dos especies principales: el café (*Farfantepenaeus californiensis*), que aporta alrededor del 65%, y el azul (*Litopenaeus stylirostris*), que genera aproximadamente el 30%. En diversas ocasiones, los efectos de El Niño han resultado en incrementos de la producción sobre la base de un cambio en la proporción de estas especies, con aumentos del camarón azul y disminuciones del café. Ahora se sabe que esta modificación en la captura es debida a que el camarón azul desarrolla sus estadios larvarios en el interior de las lagunas costeras, las cuales durante El Niño se incrementan en extensión y en productividad. El aumento de estas regiones parece estar asociado a la mayor presencia de las aguas dulces, producto de las fuertes lluvias en las costas de Baja California durante años Niño (Lluch-Belda *et al.* 1991) (ver Figs. 2.5 y 2.13). Estos cambios en la disponibilidad del recurso camaronero son entonces resultado de los balances entre aumento en la pesca del camarón azul y reducción en el camarón café.

Los aumentos en la temperatura del mar y en las precipitaciones en Baja California durante años Niño parecen favorecer el desarrollo de algunas especies de camarón.



Aun cuando se vio un incremento en las capturas de dichos crustáceos entre 1997 y 1998, la proporción promedio de ambas especies se mantuvo. Para el caso del camarón café, el incremento en su población parece ser resultado del aumento en la temperatura del océano, ya que puede favorecer la presencia de las etapas poslarvarias y por lo tanto incrementar el porcentaje de sobrevivencia en las etapas tempranas. Este enunciado se basa en el incremento relativo de poslarvas de este camarón en la zona litoral de Sinaloa, presentes a algunos eventos El Niño. Algunos investigadores proponen que el incremento en la temperatura del mar tiene una resonancia mayor en el aumento de espacios habitables por el camarón en la plataforma continental del Pacífico. Cualquiera que sea la razón, a nivel del Pacífico mexicano, El Niño de 1997-98 estuvo acompañado de una buena temporada camaronera, con incrementos en la captura del orden de 15-16% en 1997 y 1998 respecto de 1996. Para las flotas, esto representó ingresos adicionales por casi 90 millones de dólares (Tabla 5.1). A nivel nacional, este hecho permitió que las exportaciones de camarón se incrementaran en 68 millones de dólares en el periodo 1997-1998, lo que afortunadamente contribuyó a compensar las pérdidas observadas en la generalidad de los recursos pesqueros de exportación (Tabla 5.2).

Tabla 5.2. Variaciones en la exportación de productos pesqueros de México, 1996-98

	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Volumen	Valor	Variación 1997-1996		Variación 1998-1996	
	1996	1996	1997	1997	1998	1998	Volumen	Valor	Volumen	Valor
Algas y sargazos	24,386	10490	32,665	12140	5,673	3140	8,279	1650	-18,713	-7350
Atunes y similares /1	65,770	660960	45,905	605680	33,550	567330	-19,865	-55280	-32,220	-93630
Calamar	19,957	184210	24,957	254190	7,780	105600	5,000	69980	-12,177	-78610
Camarón	38,251	4071770	36,898	4456820	38,221	4368110	-1,353	385050	-30	296340
Langosta	2,037	335070	1,697	257060	1,184	172590	-340	-78010	-853	-162480
Crustáceos y moluscos en conserva /2	22,646	737620	18,617	714320	3,774	421680	-4,029	-23300	-18,872	-315940
Total	173,047	6000120	160,739	6300210	90,182	5638450	-12,308	300090	-82,865	-361670
Valores en toneladas y miles de dólares (U.S.).										
Fuente: SEMARNAP, Subsecretaría de Pesca. Anuarios Estadísticos de Pesca 1996, 1997 y 1998.										
Página electrónica www.semarnap.gob.mx/sspesca/										
P/ Cifras preliminares. 1/ Incluye descargas en puertos extranjeros. 2/ Incluye volumen y valor de abulón enlatado.										

Efectos a mediano plazo

Es evidente que además de los efectos directos, los cambios ambientales por causa de El Niño pueden tener consecuencias en la alimentación, crecimiento, sobrevivencia y éxito reproductivo de los organismos. Desafortunadamente, para la generalidad de los recursos pesqueros los efectos a mediano plazo han sido poco evaluados y desde luego, aún no es posible establecer las consecuencias de El Niño 1997-98.

La buena temporada de captura del camarón en 1997 y 1998 compensó en cierta medida, las pérdidas en pesca de otras variedades.



Una razón es que, a diferencia de los efectos inmediatos, los de mediano plazo no son fácilmente relacionados con El Niño, pues la señal de éste puede encontrarse enmascarada en otras fuentes de variación, particularmente en los cambios en las técnicas pesqueras.

Con frecuencia ocurre que las áreas a las que los organismos se desplazan o son desplazados no reúnen las condiciones adecuadas u óptimas requeridas para los procesos biológicos, particularmente cuando los efectos de El Niño desaparecen y los ambientes naturales recuperan sus patrones medios. Esta situación se dio en el caso de la langostilla (*Pleuroncodes planipes*), crustáceo abundante en la costa occidental de la península de Baja California, que durante El Niño desplazó sus fases pelágicas hacia el norte hasta las costas de San Francisco, donde después del evento se observaron muertes masivas una vez que se restablecieron las condiciones frías del área (Lluch-Belda *et al.*, 1998).

Los efectos de estas migraciones sobre el ecosistema, así como las muertes que ocasionan, no han sido evaluadas a profundidad. Sin embargo, con los datos disponibles es posible inferir que la desaparición de estos organismos tiene repercusiones significativas en las cadenas alimenticias, por ser este crustáceo el alimento de muchos consumidores en la corriente de California, incluyendo algunos de interés comercial como la merluza (*Merluccius angustimanus*), para la cual la langostilla representa hasta el 99% de su dieta (Balart y Castro-Aguirre, 1995).

La desaparición de organismos pelágicos de zonas costeras en Baja California, repercute en la cadena alimenticia.



Otros efectos de El Niño a mediano plazo se dan en los ciclos reproductivos de varias especies. Frecuentemente, los desoves pueden registrarse fuera de temporada. Debido a que el éxito reproductivo depende de la sincronización entre el proceso y el ambiente, cualquier alteración de estos factores da lugar a organismos inmaduros o enfermos, que conllevan a mediano plazo a poblaciones con reclutamientos pobres. Para el caso de El Niño 1997-98, tanto el abulón como la langosta registraron este tipo de efectos, presentándose en el primero un retraso en el desarrollo gonádico y para la langosta un adelanto del periodo de desove.



Condiciones inapropiadas para la reproducción de las especies marinas puede resultar en generaciones débiles. El Niño puede tener así, consecuencias a mediano plazo en las pesquerías.

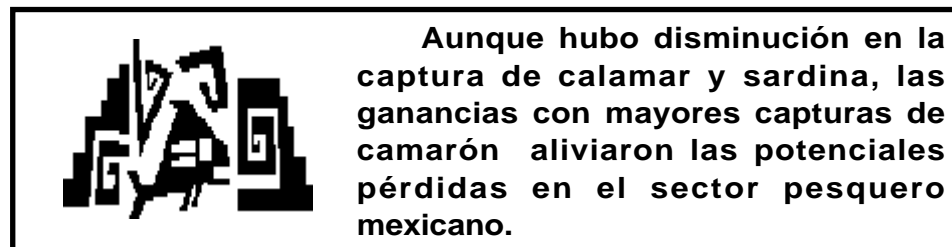
Otro efecto involucra a las fases tempranas planctónicas, comunes a la gran mayoría de las especies, que suelen ser transportadas hacia latitudes más boreales de las que normalmente ocupan. En esta nueva ubicación puede suceder el enfrentamiento a condiciones adversas del medio no necesariamente relacionadas con la temperatura (e.g. Larkin *et al.* 1990; Wooster, 1992). No obstante, para algunas especies como la macarela (*Scomber japonicus*), las modificaciones en los patrones de circulación durante El Niño permiten a sus larvas ser suspendidas en los niveles de condiciones favorables, lo que da como resultado una abundancia en organismos sanos para la población (Sinclair *et al.*, 1985).

Finalmente, debe considerarse que los efectos de la variabilidad ambiental no se restringen a determinadas poblaciones, sino que se extienden a la generalidad de los componentes bióticos del ecosistema marino. Las modificaciones ecológicas en este sentido pueden nuevamente tener efectos a corto y mediano plazo sobre la explotación pesquera, cuyos recursos objeto pueden enfrentar escasez de alimento, mayor competencia inter e intraespecífica, o mayores tasas de predación, especialmente cuando la productividad primaria se ve reducida en forma significativa. Así, son motivo de preocupación las bajas del sargazo gigante en la costa occidental de la península, que hasta agosto de 1998 sólo se habían recuperado en un 50%. Por otro lado, los volúmenes fitoplactónicos en los principales sistemas de surgencias, posiblemente haya disminuido durante el evento El Niño, debido a las anomalías térmicas observadas (Fig. 5.3). Es por tanto de esperarse que dichas reducciones sean comparables a las registradas en el intenso El Niño de 1982-83 (Fig. 5.8). En ambos eventos, los cambios necesariamente tuvieron implicaciones mayores en la capacidad de carga de un gran número de recursos pesqueros, con consecuencias al momento desconocidas, pero que probablemente se registrarán durante las próximas temporadas de pesca.

El Niño 1997-98: Una evaluación preliminar

En las Tablas 5.1 y 5.2 se describe la información hasta ahora recabada, sobre los efectos de El Niño 1997-98 que reportó la actividad pesquera. Dos de las cuatro pesquerías más grandes del Pacífico mexicano, sardina y calamar, experimentaron decrementos muy significativos en sus niveles de producción. El total del volumen de captura para ambas pesquerías en los años 97 y 98 tuvo una reducción de 126 mil toneladas, equivalentes a unos 16 millones de dólares, considerando únicamente el valor de la captura como materia prima (Tabla 5.1). Más significativo aún, entre ambos años se dejaron de exportar alrededor de 74 millones de dólares por disminuciones en la producción de organismos como calamar, algas marinas, atún, langosta y mariscos enlatados, principalmente abulón (Tabla 5.2).

Afortunadamente no todo fueron pérdidas. El incremento en los precios del camarón en el mercado, asociado a la capturas de 18 mil toneladas en 1997 y 1998, permitió compensar sobradamente el valor de la producción regional en más de 89 millones de dólares. Con esta situación, el balance y el valor de la producción a nivel del Pacífico mexicano se incrementó en más de 78 millones de dólares durante 1997 y 1998 (Tabla 5.1). El aumento de los costos del camarón propició un avance en las exportaciones pesqueras nacionales de este crustáceo (Tabla 5.2). Este margen de ganancias se mantuvo a pesar de tener una reducción en el volumen de pesca mayor al 50% del total de 1996, con sólo 95 mil toneladas. Los ingresos en el periodo 97 y 98 descendieron sólo 6 millones de dólares, representando el 1% de los ingresos por este mercado en 1996.



Con el ejemplo anterior, se puede decir que los impactos de El Niño fueron minimizados, porque en algunas pesquerías se tuvieron temporadas afortunadas que compensaron las pérdidas de otras. Es claro que el balance no puede ser tan simple y directo. Los beneficios obtenidos en una pesquería generalmente no compensan las pérdidas de otras, ya que la flota y la industria son diferentes, especialmente respecto de las personas que dependen de estas actividades.

Para el caso del calamar por ejemplo, es difícil considerar que el auge camarero haya compensado la pérdida de unos 3,200 empleos directos, correspondiendo algunos de estos, a personas que vendieron su patrimonio para hacerse de una embarcación ante la expectativa de lograr ganancias atractivas en poco tiempo. Otro tanto puede decirse de las plantas procesadoras que se crearon para la industrialización del calamar, y que después de El Niño registran niveles elevados de subutilización. Lo anterior, sin contar los costos que implica la reubicación de parte de la flota, así como el transporte de la materia prima desde las nuevas zonas de pesca en la costa occidental de Baja California hasta las plantas procesadoras ubicadas en la costa oriental.

Otra de las pesquerías que registró importantes pérdidas socio-económicas derivadas de El Niño 97-98 fue la de captura y procesado de sardina en la región del Golfo de California. En esta actividad el potencial de empleos directos es de unos 3 mil, pero las malas temporadas pueden reducir esta cifra hasta en un 50%. En particular, la sustitución en las capturas de sardina monterrey por crinuda tiene efectos negativos; mientras que la primera suele destinarse al empaque esto es, a la producción de sardina enlatada, la segunda es más utilizada en la producción de harina de pescado. El empaque es una actividad que demanda gran cantidad de mano de obra para el limpiado y eviscerado de los organismos. Por el contrario, la elaboración de harina o "quemado" es un proceso casi totalmente automático. Así, la relación de empleos es de 10:1 a favor del empaque. Adicionalmente, debe considerarse que el empaque ocupa tradicionalmente a las mujeres, que no tienen acceso a la fase extractiva de la actividad.

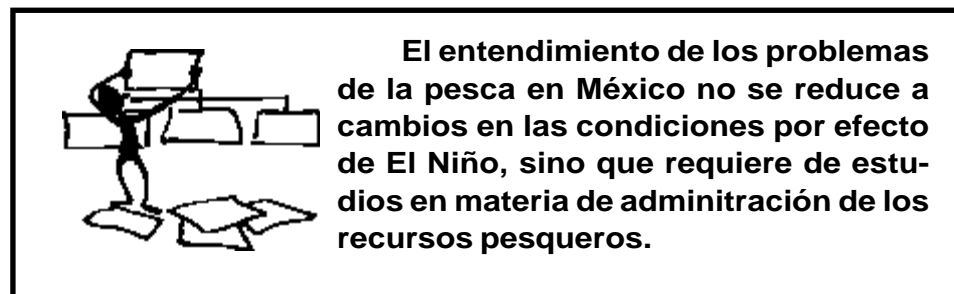
Un ejemplo de los impactos que El Niño 1997-98 tuvo en la sociedad se refleja en la disminución de fuentes de empleo al cambiar la variedad de especie pescada, de sardina para enlatados, a sardina para harina.



En otro rubro, las cooperativas langosteras y abuloneras de la península experimentaron marcados descensos en producción. La inflexibilidad para adaptarse a los cambios en la disponibilidad del recurso pesquero se debe a que las zonas de pesca son muy específicas y bajo condiciones El Niño sufren importantes transformaciones.

El camarón tampoco compensó las pérdidas, aún no cuantificadas pero considerables, que significó para la industria turística la distribución anómala de las especies de pesca deportiva, y menos aún las experimentadas por numerosos pescadores artesanales que, al menos en algunos casos, tuvieron que suspender su actividad.

Falta aun incorporar a estos elementos el problema de la administración pesquera, que va más allá del seguimiento y pronóstico del clima oceánico. Al menos para los principales recursos pesqueros como el camarón, la sardina, la anchoveta, el abulón y la langosta debe pasarse de las hipótesis a la determinación del efecto de El Niño y otros cambios climáticos. Al respecto, la investigación necesariamente tendrá que ser multidisciplinaria, desarrollada por diferentes grupos de trabajo que requerirán acceso oportuno a los resultados y a la información de los demás.



El pronóstico del evento Niño y sus efectos, requieren acciones coordinadas que involucran tanto al sector pesquero como al gubernamental y al académico. Con esta idea, la administración pesquera debe revisar las premisas en las que se basan los esquemas de regulación y manejo. El suponer una capacidad de carga constante, aun en términos de pocos años, puede implicar un riesgo alto en sistemas sujetos a variaciones climáticas. Los esquemas regulatorios tradicionales como las vedas, tallas mínimas de captura, zonas, etc. suelen en ocasiones ser rígidos, al punto de requerir procesos legislativos antes de poder modificarse, lo que deja poco margen de maniobra ante eventos de variabilidad interanual pronunciada.

Problemas y perspectivas

La idea de integrar los estudios del fenómeno El Niño a la planeación pesquera, no es fácil ni inmediata. El manejo adecuado de recursos demanda información veraz en un corto plazo que en la mayoría de las veces, simplemente no existe. El Niño es monitoreado rutinariamente por grupos internacionales, cuyos diagnósticos y pronósticos generalmente están disponibles. Desafortunadamente, es muy poco lo que estos sistemas dicen sobre las condiciones del clima oceánico en México y menos aún, sobre sus efectos en ecosistemas marinos.

Existen condiciones para llevar a cabo programas de formación de recursos humanos, técnicos, científicos, así como de investigación en los diferentes aspectos involucrados en pesca como son la oceanografía, la biología y la meteorología. No parece exagerado pensar que en el futuro cercano puedan implementarse sistemas de pronóstico y alerta, básicos en un principio y mejorados conforme se madure en términos de experiencia. Ello, a condición de que se destinen los recursos económicos, se diseñen las políticas de investigación y se logre la coordinación entre los sectores involucrados en el uso y manejo de los recursos pesqueros.



No es exagerado pensar que en el futuro puedan implementarse métodos científicos de diagnóstico, pronóstico y alerta para el sector pesquero.

